نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۳، ص. ۵۷۵-۵۶۵
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 28, No. 4, Winter 2015, P. 565-575
ISSN: 2008 - 4730

اثر آبیاری یک‌طرفه بر تغییر شاخص‌های تنش خشکی، تغذیه، فعالیت آنتی اکسیدانی و فتوسنتزی گوجه‌فرنگی رقم ' فالکاتو'

مریم حقیقی[1*] - مریم مظفریان[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۶/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۲

چکیده

کاهش میزان آبیاری از طریق آبیاری کاهشی یک‌طرفه یا موضعی (PRD) باعث صرفه‌جویی در آب و هزینه‌های تولید می‌شود. بدین منظور آزمایشی جهت مقایسه آبیاری یک‌طرفه و آبیاری معمولی بر گوجه فرنگی رقم فالکاتو در دانشگاه مسی نیوزلند به اجرا در آمد، تیمارها به صورت شاهد (آبیاری در حد ظرفیت مزرعه در هر بار آبیاری به کل حجم ریشه) و PRD (آبیاری به صورت نصف ظرفیت مزرعه فقط به یک سمت ریشه در هر دور آبیاری) ترتیب داده شد. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسیداز دیسموتاز در تیمار آبیاری یک‌طرفه نسبت به شاهد افزایش داشت. کاهش فتوسنتز، هدایت مزوفیلی و کارآیی مصرف آب فتوسنتزی، وزن تر و خشک ریشه و شاخساره در تیمار آبیاری یک‌طرفه نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. بازده کسب مواد غذایی (NACE) برگ به ترتیب برای عناصر سدیم و روی بالاترین و کم‌ترین میزان بازده کسب مواد غذایی در فسفر زمانی‌که آبیاری موضعی در مقایسه با شاهد اعمال شد مشاهده گردید، شاخص‌های عملکردی از جمله میانگین عملکرد (MP) افزایش معنی‌دار و ۶۳ درصدی نسبت به اولین برداشت میوه داشت، شاخص پایداری عملکرد (YSI) ۴۶ درصد در سومین برداشت میوه نسبت به دومین برداشت کاهش یافت. شاخص مقاومت (TOL) در آخرین برداشت میوه ۸۰ درصد نسبت به اولین برداشت افزایش داشت، هم‌چنین میانگین ژئومتری عملکرد (GMP) در دومین برداشت نسبت به اولین برداشت ۶۲ درصد افزایش مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری یک‌طرفه، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، شاخص حساسیت به تنش، عملکرد، گوجه‌فرنگی

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Lycopersicum esculentum*) یکی از مهم‌ترین سبزی‌های مورد کشت و کار در دنیا و از جمله سبزی‌های مهم گلخانه‌ای است. قابلیت فرآوری و تازه‌خوری گوجه‌فرنگی و غنی بودن آن از آنتی‌اکسیدان‌ها از دلایلی است که موجب گسترش سریع و پذیرش آن به عنوان یک سبزی اصلی در بین جوامع مختلف شده است. سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی در ایران در سال ۱۳۸۹ حدود ۱۴۶ هزار هکتار با متوسط عملکرد ۳۸۹۰۰ کیلوگرم گزارش شده است (۲).

منابع آب در سطح جهانی محدود است، بنابراین گسترش روش‌های نوین آبیاری جهت مدیریت این بحران ضروری است (۲۵). آبیاری زمین های کشاورزی ۸۵ درصد مصرف جهانی آب را در بر می‌گیرد (۳۲). جهت استفاده بهینه از منابع آب، روش‌های مختلف آبیاری گسترش یافته است که رایج ترین آن‌ها در ایران، آبیاری تحت فشار قطره‌ای می‌باشد. یکی دیگر از روش‌های مؤثر روش آبیاری موضعی یک‌طرفه است که در این روش فقط قسمتی از ریزوسفر ریشه با درصدی از آب آبیاری به روش معمول آبیاری می‌شود و به طور متناوب پس از این‌که قسمت باقیمانده ریشه به مقدار مشخصی از رطوبت رسید، تناوب آبیاری عوض می‌شود (۳۷). کاهش میزان آب آبیاری و آبیاری یک‌طرفه نه تنها باعث کاهش هزینه‌های تولید می‌شود بلکه باعث صرفه‌جویی در آب و کاهش آبشویی مواد غذایی به آب زیرزمینی می شود.

افزایش کارآیی مصرف آب در آبیاری یک‌طرفه در گیاهان مختلف از جمله انگور (۲۳) ، سیب زمینی (۲۲)، زیتون (۱۵ و ۳۴)، سورگوم (۲۹)، برنج (۳۰)، لوبیا (۲۸) مشاهده شده است. نتایج تحقیق شرایعی و همکاران (۴) نشان داد که کاهش میزان آبیاری در گوجه‌فرنگی ابتدا کارآیی مصرف آب را افزایش داده ولی کاهش

۱- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*-نویسنده مسئول: Email: mhaghighi@cc.iut.ac.ir)
۲- دانشجوی سابق کارشناسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

بیش‌تر آب باعث کم شدن کارآیی مصرف آب شده است. با کم شدن میزان آب مصرفی تولید محصول کاهش یافته اما این کاهش نسبت به کمبود آب کم‌تر بود. زقبه و بهبودیان (۳۷) نیز با کاربرد این روش در مراحل فنولوژیکی خاصی از رشد گوجه فرنگی علاوه بر صرفه‌جویی آب آبیاری کاهش محصول را فقط در مرحله میوه‌بندی مشاهده کردند اما این اثر در مراحل پایانی رشد و زمان برداشت کم‌تر بود. آن‌ها هم‌چنین افزایش رنگ، مواد جامد محلول و ماده خشک را در بیش‌تر تیمارهای اعمال شده در مراحل مختلف رشد گزارش کردند. کارآیی مصرف آب، تعداد میوه، وزن تر، وزن خشک و شاخص برداشت نیز در تیمار PRD اعمال شده قبل از میوه‌بندی با تیماری که به طور کامل آبیاری شده بود، تفاوتی معنی‌داری نداشت (۳۷)

گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده، دارای سیستم دفاعی با کارآیی بالائی هستند که می‌تواند رادیکال‌های آزاد را از بین برده و یا خنثی کنند. این سیستم دفاعی شامل سوپر اکسید دسموتاز (SOD) ، کاتالاز (CAT)، آسکوربات پر اکسیداز (APX) و گلوتاتیون ردوکتاز (GR) است و سیستم غیر آنزیمی شامل اسکوربات، توکوفرول، کاروتنوئیدها و ترکیبات متفرقه (از جمله فلاونوئیدها، مانیتول‌ها و پلی‌فنل‌ها) می‌باشد (۲۱).

اطلاعات در مورد تغذیه معدنی گیاه تحت تأثیر تیمار آبیاری یک‌طرفه محدود می‌باشد. برای مثال ناکاجیما و همکاران (۲۴) غلظت عناصر پرمصرف را در برگ و میوه تحت تأثیر آبیاری موضعی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها مشاهده کردند که غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، منیزیم و کلسیم برگ تحت تیمار آبیاری موضعی کم‌تر از آبیاری معمولی است. فرانس و همکاران (۱۹) گزارش کردند که غلظت مواد معدنی ریشه نسبت به شاخساره و میوه گوجه فرنگی کم‌تر تحت تأثیر قرار گرفت و غلظت مس و منیزیم ریشه در گیاهان تحت آبیاری یک‌طرفه بیش‌تر گیاهان آبیاری معمولی گزارش شد.

پژوهش حاضر به منظور مقایسه و ارزیابی آبیاری یک‌طرفه به عنوان یکی از روش‌های نوین کم آبیاری در برابر آبیاری معمولی به عنوان شاهد بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، شاخص‌های فتوسنتزی، تنش و تغذیه گوجه فرنگی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تهیه مواد آزمایشی

آزمایش در گلخانه های تحقیقاتی دانشگاه مسی نیوزلند (عرض جغرافیایی ´ ۲ °۴۰ جنوبی و طول جغرافیایی ´۴ °۱۷۵ شرقی) در دمای ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد (کنترل شده توسط دستگاه تهویه و سیستم گرمایش) انجام شد. نشاءهای گوجه فرنگی رقم فالکاتو در مرحله ۴-۵ برگی به جعبه چوبی حاوی پوست درخت، پومیس و پیت با نسبت حجمی ۶:۳:۱ منتقل شدند. برای جلوگیری از حرکت جانبی آب در بخش مرکزی و انتهای جعبه‌ها، قطعه چوبی جهت جداسازی بخش تحتانی جعبه‌ها و هدایت آب فرو رفته از هر سمت ریشه قرار داده شد. تیمارها به صورت شاهد (آبیاری در حد ظرفیت مزرعه در هر بار آبیاری به کل حجم ریشه) و PRD (آبیاری به صورت نصف ظرفیت مزرعه فقط به یک سمت ریشه در هر دور آبیاری) ترتیب داده شد. تیمارها به صورت شاهد در حد ظرفیت زراعی (که تقریباً معادل ۴ لیتر آب در هر بار آبیاری به کل حجم ریشه) و PRD به صورت آبیاری زمانی‌که رطوبت خاک به ۳۰ درصد ظرفیت زراعی می‌رسید، اعمال شد تا رطوبت حجمی خاک به ظرفیت زراعی (اندازه‌گیری شده پس از آبیاری توسط TDR) برسد که تقریباً معادل ۲ لیتر آب فقط به یک سمت ریشه در هر دور آبیاری شد.

اندازه‌گیری فاکتورهای رشد و آنتی‌اکسیدانی در گوجه فرنگی تحت تیمارهای تنش خشکی آبیاری یک طرفه و شاهد

در پایان آزمایش وزن تر و خشک میوه، ساقه و ریشه اندازه‌گیری شد. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها در در دوره رشد رویشی و زایشی گوجه فرنگی اندازه‌گیری شد. به این منظور در مرحله رشد رویشی، گلدهی و زایشی در روزهای ۴، ۳۶، ۳۹، ۴۴، ۵۵ و ۶۴ پس از انتقال نشا دومین برگ کاملاً رشد کرده برای استخراج آنزیم‌ها انتخاب شد و در کیسه پلاستیکی در فلاسک یخ به آزمایشگاه منتقل شد. نیم گرم نمونه برگ بعداز شستن با آب دیونیزه همراه ۵ میلی‌لیتر بافر فسفاته شامل (۵۰ میکرومول فسفات، ۱ درصد (وزنی/حجمی) از BSA، ۰/۰۵درصد (وزنی/حجمی) ازمرکاپتواتانول، ۱ درصد (وزنی/حجمی) از اسکوربات) با غلظت ۰/۵ مول بر لیتر با اسیدیته ۷/۸ در هاون در مجاورت یخ ۴ درجه سانتی‌گراد له شد. مخلوط حاصل با دور ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ گردید. عصاره بالایی لوله آزمایش برای سنجش آنزیم به آرامی جدا شد. سنجش سوپر اکسید دسموتاز طبق روش بیچامپ (۱۰) با تغییراتی انجام شد. سه میلی لیتر محلول سنجش شامل ۵۰ میکرو مول بافر فسفاته با اسیدیته ۷/۸ و ۹/۹ میکرومول از ماده متیونین ،۵/۷ میکرو مول نیترو تترازولیوم بلوکلراید، ۰/۰۰۴۴ (وزنی/حجمی) ازریبوفلاوین و ۰/۰۲۵ (وزنی/حجمی) از Triton X-100 به عصاره اضافه گردید. میزان فعالیت سوپر اکسید دسموتاز بر حسب تغییر NBT در برابر نور توسط اسپکتروفتومتر (مدل ,V-530 JASCO, Japan) در ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. یک واحد فعالیت سوپر اکسید دسموتاز معادل ۵۰ درصد ممانعت از تغییر رنگ NBT در برابر نور بیان می‌شود.

سنجش پرکسیداز بر طبق روش کاندلی و اسکاندالویز (۱۳) با یک‌سری تغییرات انجام شد. محلول واکنش شامل ۵۰ میلی‌مول بافر فسفاته پتاسیم، ۱درصد (وزنی/حجمی) گویکول ،۰/۰۴ (حجمی

/حجمی) پراکسید هیدروژن با اسیدیته۶/۱ تهیه شد. سپس ۱۷۰۰ میکرولیتر محلول واکنش به ۱۰۰ میکرولیتر عصاره گیاهی اضافه شد. جذب نور به علت اکسید شدن گویکول افزایش می‌یابد که میزان جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در ۴۷۰ نانومتر سنجیده می‌شود. میزان آنزیم بر اساس مقدار گویکولی که در دقیقه اکسید می‌شود بیان می‌شود.

اندازه‌گیری فاکتورهای فتوسنتزی در گوجه فرنگی تحت تیمارهای تنش خشکی آبیاری یک طرفه و شاهد

به منظور اندازه‌گیری میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ (میکرومول دی‌اکسیدکربن بر متر مربع بر ثانیه)، هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه) از دستگاه پرتابل سنجش فتوسنتز (LI, 6100 شرکت لای کور، ایالات متحده آمریکا) در پنج نوبت (روز ۴، ۳۶، ۳۹، ۴۴، ۵۰ و ۶۴ پس از اعمال تیمار) مورد استفاده قرار گفت. تمامی اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۱ صبح و در شدت نور معادل ۱۴۰۰–۱۲۰۰ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه انجام شد. در هر تیمار صفات مورد نظر از برگ‌های میانی کاملاً توسعه یافته با ۳ تکرار اندازه‌گیری شد. داده‌ها ۳۰ ثانیه پس از قرار دادن برگ در داخل محفظه دستگاه اعداد ثبت گردید. هدایت مزوفیلی (میلی مول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه) از تقسیم کردن فتوسنتز به غلظت دی‌اکسیدکربن درون روزنه‌ای به دست می‌آید (۱۷). به منظور تعیین کارآیی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول دی‌اکسیدکربن بر مول H_2O) میزان فتوسنتز به هدایت روزنه‌ای تقسیم شده است. کارآیی مصرف آب فتوسنتزی شاخصی است که میزان فتوسنتز به ازاء هر واحد هدایت روزنه‌ای و تعرق را نشان می‌دهد.

اندازه‌گیری فاکتورهای تنش و تغذیه در گوجه فرنگی تحت تیمارهای تنش خشکی آبیاری یک طرفه و شاهد

بازده کسب مواد غذایی[1] (NACE)، بازده استفاده از مواد غذایی[2] (NUTE) با استفاده از روابط زیر در تیمار آبیاری معمولی و آبیاری یک طرفه PRD محاسبه شد (۲۴).

$$NACE = (NC_{PRD}/NC_{CONTROL}) \times 100$$
$$NUTE = (SDW/NC_{PRD}) \times 100$$

NC غلظت عناصر غذایی (در شرایط آبیاری یک‌طرفه و آبیاری معمولی) و SDW (وزن خشک شاخساره) می‌باشند.

برداشت میوه در زمان‌های مختلف انجام شد، شاخص‌های عملکردی بر اساس فرمول‌های زیر در زمان‌های برداشت مختلف محاسبه شد (۱۴) که در تمامی فرمول‌ها Y_p عملکرد گیاه در شرایط تنش (آبیاری یک‌طرفه) و Y_c عملکرد میوه در شرایط آبیاری معمولی می‌باشد.

$$SSI = (1- (Y_p/Y_c) / (1- ((Y_p)/ (Y_c))$$

بر این اساس شاخص حساسیت به تنش[3] (SSI) بالاتر، از یک مقاومت بیش‌تری به شرایط تنش برخوردار است. فیشر و موئر (۱۸) شاخص حساسیت به تنش را برای اندازه‌گیری ثبات عملکرد بیان می‌کنند.

$$STI = (Y_p \times Y_c)/ (Y_c)^2$$

STI[4] شاخص مقاومت به تنش است که بالاترین میزان شاخص مقاومت به تنش، مقاومت بیش‌تری به شرایط تنش خشکی دارد (۱۶).

$$GMP = \sqrt{(Y_p)(Y_c)}$$

GMP[5] میانگین ژئومتری عملکرد است که زمان برداشت با میانگین ژئومتری عملکرد بالاتر، مطلوب‌تر می‌باشد (۱۶).

$$MP () = (Y_p+Y_c)/2$$

MP[6] میانگین تولید بالاتر نسبت به تنش خشکی مقاوم‌تر می‌باشد (۱۶).

$$(TOL) = Y_c-Y_p$$

شاخص تحمل به تنش[7] (TOL) به عنوان تفاوت عملکرد شرایط تنش و شرایط آبیاری معمولی تعریف می‌کند. مقدار بالاتر شاخص تحمل به تنش، حساسیت بیش‌تر به تنش را نشان می‌دهد (۱۴).

$$HM = [2(Y_c)(Y_p)]/(Y_c+ Y_p)]$$

میزان بالای عملکرد همگن[8] (HM) است که مطلوب تر است.

$$YSI\ (Yield\ Stability\ Index) = Y_p/Y_c$$

YSI[9] شاخص پایداری عملکرد در شرایط تنش و معمول را بیان می‌کند و بالا بودن این شاخص مطلوب می‌باشد (۱۲).

$$RDY = 100- (Y_p/Y_c \times 100)$$

RDY[10] کاهش نسبی شاخص عملکرد در شرایط تنش و معمول را نشان می‌دهد.

$$SI = [1-(Y_p/Y_c)]$$

SI[11] شدت تنش را نشان می‌دهد و میزان کم این فاکتور مورد نظر می‌باشد.

آنالیز آماری

آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۶ تکرار و ۴ واحد آزمایشی در هر تکرار پیاده شد. آنالیز داده‌ها با نرم افزار Statistix 8 و مقایسه میانگین‌های فاکتورهای رشد و آنتی اکسیدان مقایسه شده بین آبیاری کامل و یک‌طرفه توسط T-Test و مقایسه شاخص‌های

1- Nutrient Acquisition Efficiency
2- Nutrient Utilization Efficiency

3- Stress Susceptibility Index
4- Stress Tolerance Index
5 -Geometric Mean Productivity
6 -Mean Productivity
7- Tolerance Index
8- Harmonic Mean
9- Yield Stability Index
10- Relative Decrease in Yield Index
11- Stress Intensity

بازده کسب مواد غذایی بین کلیه عناصر و شاخص‌های تنش از آزمون LSD استفاده شد.

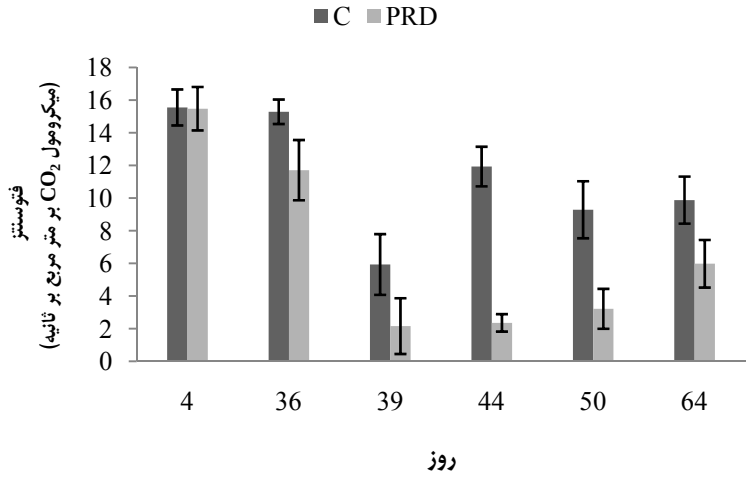
نتایج و بحث

اثر تنش خشکی حاصل از آبیاری یک‌طرفه و آبیاری معمولی بر فاکتورهای فتوسنتزی در گوجه فرنگی

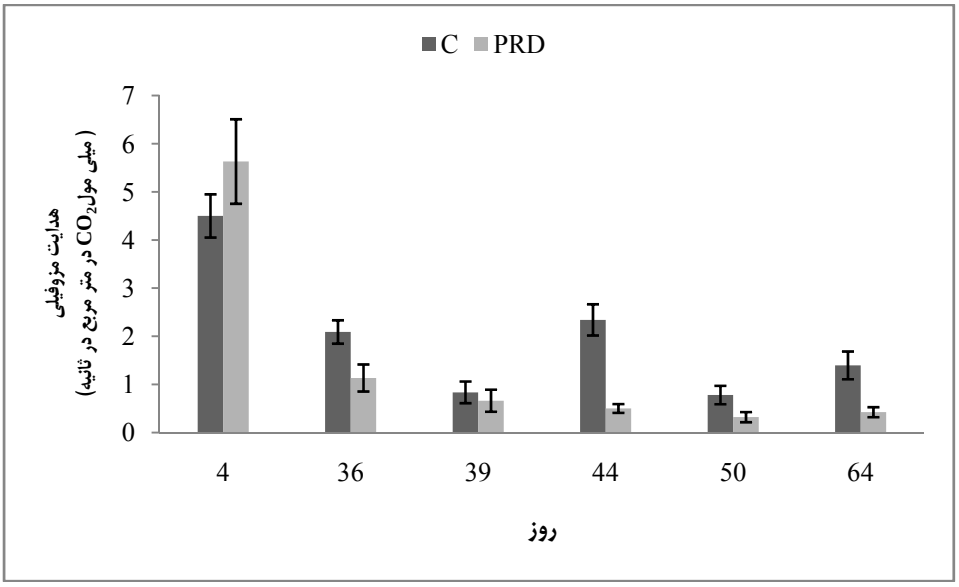
به طور کلی تیمار آبیاری یک‌طرفه باعث کاهش معنی‌دار میزان فتوسنتز نسبت به تیمار شاهد شد، میزان فتوسنتز گیاه در روز چهارم تحت تأثیر تیمار آبیاری یک‌طرفه قرار نگرفت و با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت ولی با گذشت زمان میزان فتوسنتز گیاه تحت تأثیر تیمار آبیاری یک طرفه نسبت به تیمار شاهد کاهش یافته و هم چنین میزان فتوسنتز در روز ۳۹ کم ترین میزان را داشته است، به طور کلی روند منظمی در میزان فتوسنتز در زمان‌های اندازه‌گیری مشاهده نشد (شکل ۱). هدایت مزوفیلی گیاه در روز چهارم در تیمار آبیاری یک‌طرفه بیشتر از تیمار شاهد بود، پس از گذشت زمان، میزان هدایت مزوفیلی کاهش معنی‌دار و در تیمار آبیاری یک‌طرفه نسبت به تیمار شاهد کم‌تر بود. کم‌ترین هدایت مزوفیلی در روز ۵۰ و در تیمار آبیاری یک‌طرفه مشاهده شد (شکل ۲). علت این امر را می‌توان این طور بیان کرد که در تیمار آبیاری کامل تعداد بیش‌تری از روزنه نسبت به تیمار آبیاری یک‌طرفه باز است و باعث افزایش میزان فتوسنتز، تبادل گاز و تعرق بیش‌تر و در نتیجه رشد بیش‌تر گیاه در تیمار شاهد می‌شود (۸). نتایج آزمایش زقبه و بهبودیان (۳۷) نشان داد هدایت روزنه‌ای برگ‌های تحت تیمار آبیاری یک‌طرفه کاهش یافت. در این آزمایش با پیشرفت تنش خشکی هدایت مزوفیلی تحت تأثیر قرار گرفت و از روز ۳۹ به بعد تفاوت بین شاهد و آبیاری یک‌طرفه معنی‌دار بود. کارآیی مصرف آب فتوسنتزی تحت تأثیر تیمار آبیاری یک‌طرفه قرار گرفت و کاهش معنی‌داری را نشان داد، در روز ۳۶ و ۶۴ میزان کارآیی مصرف آب فتوسنتزی گیاهان تحت تیمار آبیاری یک‌طرفه بیش‌تر از تیمار شاهد بود. کم‌ترین میزان کارآیی مصرف آب فتوسنتزی در در روز ۵۰ مشاهده شد که کاهش معنی‌داری نسبت به آبیاری معمولی داشت، روند منظمی در میزان کارآیی مصرف آب فتوسنتزی با گذشت زمان مشاهده نشد (شکل ۳). علت افزایش فتوسنتز و تعرق را در تیمارهای شاهد به علت تعداد روزنه‌های باز در تیمار شاهد بیان کردند. هم‌چنین نورمهناد و همکاران (۸) علت کاهش فتوسنتز در تیمارهای آبیاری یک‌طرفه را کاهش تعداد روزنه‌های باز در اثر افزایش میزان آنزیم آبسزیک اسید بیان کردند و گزارش کردند که افزایش آبسزیک اسید در تیمارهای آبیاری یک‌طرفه با کنترل روزنه‌ها باعث افزایش مقاومت در برابر تنش می‌شود.

اثر تنش خشکی حاصل از آبیاری یک‌طرفه و آبیاری معمولی برفاکتورهای رشد و آنتی اکسیدانی در گوجه فرنگی

وزن خشک میوه در تیمار شاهد افزایش معنی‌داری نسبت به آبیاری یک‌طرفه داشت (جدول ۱). وزن تر و خشک شاخساره در تیمار PRD کاهش معنی‌داری نسبت به آبیاری معمولی (شاهد) داشت. هم‌چنین وزن خشک و تر ریشه و محتوای آب ریشه در تیمار شاهد به طور معنی‌داری بیش‌تر از آبیاری یک‌طرفه بود (جدول ۱).



شکل ۱- اثر تنش خشکی حاصل از آبیاری یک‌طرفه و آبیاری معمولی بر فتوسنتز در گوجه فرنگی (C: شاهد، آبیاری معمولی و PRD: آبیاری یک‌طرفه) (بارها نشان‌دهندهٔ حداقل تفاوت معنی‌دار هستند).



شکل ۲- اثر تنش خشکی حاصل از آبیاری یک‌طرفه و آبیاری معمولی بر هدایت مزوفیلی گوجه فرنگی (C : شاهد، آبیاری معمولی و PRD: آبیاری یکطرفه) (بارها نشان‌دهندهٔ حداقل تفاوت معنی دار هستند).

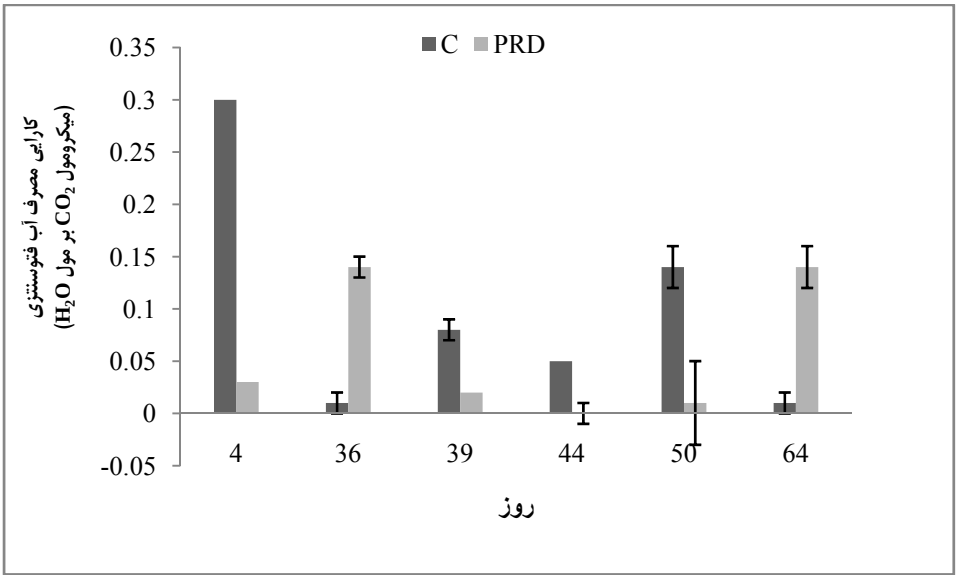
نتایج تحقیق ونگ و همکاران (۳۵) در بررسی آبیاری یک‌طرفه و پخش غیریکنواخت کود نیتروژن نشان داد که بیوماس گیاه با اعمال تنش خشکی کاهش می‌یابد که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. البته نتایج آزمایش ما با آزمایش زقبه و همکاران (۳۶) هم‌خوانی نداشت، آن‌ها دلیل عدم تغییر وزن و درصد توزیع ماده خشک را افزایش ریزش گل‌ها در تیمار آبیاری یک‌طرفه نسبت به تیمار شاهد دانستند. تیمار آبیاری یک‌طرفه با محدود شدن بازشدگی روزنه‌ها و کاهش هدر رفت آب و جذب کربن باعث حفظ رطوبت در بافت گیاهی می‌شود. در آزمایش طاهرخوانی و گلچین (۵) در بررسی PRD در عملکرد و صفات کمی و کیفی انگور نتیجه گرفتند که تیمار PRD بر میزان اسیدیته و مواد جامد محلول معنی‌دار اما بر عملکرد، میزان کشمش تولیدی و سایر صفات کمی تأثیر ندارد و بیان کردند در حالی‌که میزان آبیاری دو طرفه دو برابر میزان آبیاری یک طرفه می‌باشد و می توان با آبیاری یک‌طرفه میزان آبیاری را به نصف کاهش داد در حالی‌که بر عملکرد و میزان تولید تأثیر ندارد (۵).

نتایج تحقیق گلکار و همکاران (۷) در بررسی میزان آب آبیاری بر عملکرد و بازده مصرف آب در گوجه فرنگی نشان دادند که افزایش آب آبیاری به میزان ۲۰ درصد باعث افزایش جزئی تولید در میوه می‌شود و بیان کردند که این افزایش آب باعث کاهش بازده مصرف آب می‌شود.

در دوره رشد رویشی با اعمال تیمار آبیاری موضعی میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیداز دیسموتاز کم‌تر از مرحله رشد زایشی بود، هم‌چنین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیداز دیسموتاز در تیمار آبیاری یک‌طرفه در مرحله رشد زایشی افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار آبیاری معمولی (شاهد) نشان داد (شکل ۴). فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار آبیاری یک‌طرفه دوره رشد رویشی و زایشی نسبت به تیمار شاهد بیش‌تر بود. هم‌چنین میزان فعالیت این آنزیم در دوره رشد رویشی بیش‌تر از مرحله رشد زایشی بود (شکل ۵). تحقیقات مختلف نشان داده است که یک ارتباط قوی بین تحمل به تنش‌های اکسیداتیو که به دلیل تنش‌های محیطی ایجاد می‌شود و افزایش در غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان فتوسنتز کننده وجود دارد (۲۷).

جدول ۱- اثر تنش خشکی حاصل از آبیاری یک‌طرفه و آبیاری معمولی بر فاکتورهای رشدی گوجه فرنگی

تیمارها	وزن تر کل میوه (گرم)	وزن تر شاخساره (گرم)	وزن خشک شاخساره (گرم)	محتوای آب شاخساره (درصد)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	محتوای آب ریشه (درصد)
شاهد	۲۹۴۹/۹۴	۱۵۵۱/۱۶	۱۵۶/۴۷	۸۹/۸۸	۲۰۴/۴۴	۱۴/۲۹	۹۳/۰۵
آبیاری یک‌طرفه	۱۲۶۷/۵۲	۱۰۶۱/۰۰	۱۲۵/۴۳	۸۸/۱۴	۱۷۸/۵۶	۱۳/۵۳	۹۲/۳۰
T-Test سطح معنی‌داری	$۲/۷۱\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۰	۰/۰۰	$۱/۳۴\times۱۰^{-۶}$	۰/۱۴	۰/۵۵	۰/۰۳۸



شکل ۳- اثر تنش خشکی حاصل از آبیاری یک‌طرفه و آبیاری معمولی بر کارآیی آب فتوسنتزی در گوجه فرنگی (C : شاهد، آبیاری معمولی و PRD: آبیاری یک‌طرفه) (بارها نشان‌دهندهٔ حداقل تفاوت معنی‌دار هستند).

جدول۲- تجریه واریانس اثر تنش خشکی حاصل از آبیاری یک‌طرفه و آبیاری معمولی بر بازده کسب مواد غذایی برگ، ریشه و میوه، بازده استفاده از مواد غذایی گوجه فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		NACE برگ	NACE ریشه	NACE میوه	NUTE
آبیاری	۱۱	۳۱۷۳/۶۰*	۲۶۵۱/۴۰*	۱۱۰۳/۳۴*	۷۳۱۰۴/۰*
خطا	۴۸	۸۶۶/۸۷	۷۵۱/۷۸	۳۰۵/۲۲	۶۷۴/۷
ضریب خطا		۲۶/۸۶	۲۴/۹۲	۱۸/۵۹	۲۴/۳۶

*- معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد. NACE: بازده کسب مواد غذایی، NUTE: بازده استفاده از مواد غذایی

نتایج تحقیق امینی و همکاران (۱) نشان دادند که تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه جو می‌شود، هم‌چنین این محققین گزارش کردند که از بین آنزیم‌های مختلف آنزیم پراکسیداز مهم‌ترین آنزیم جهت افزایش مقاومت گیاه جو به تنش خشکی می‌باشد. نتایج مشابهی توسط ظرابی و همکاران (۶)، سادات اسیلان و همکاران (۳) مشاهده شده است. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان یکی از مکانیسم‌های مقاومت گیاهان در برابر تنش‌ها می‌باشد که در این آزمایش افزایش فعالیت پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در گوجه فرنگی مشاهده شد.

به طور کلی آبیاری یک‌طرفه باعث کاهش جزئی وزن تر و خشک ریشه و شاخساره نسبت به تیمار شاهد و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز در تیمار آبیاری یک‌طرفه شد.

اثر تنش خشکی حاصل از آبیاری یک‌طرفه و آبیاری معمولی بر فاکتورهای تنش و تغذیه در گوجه فرنگی

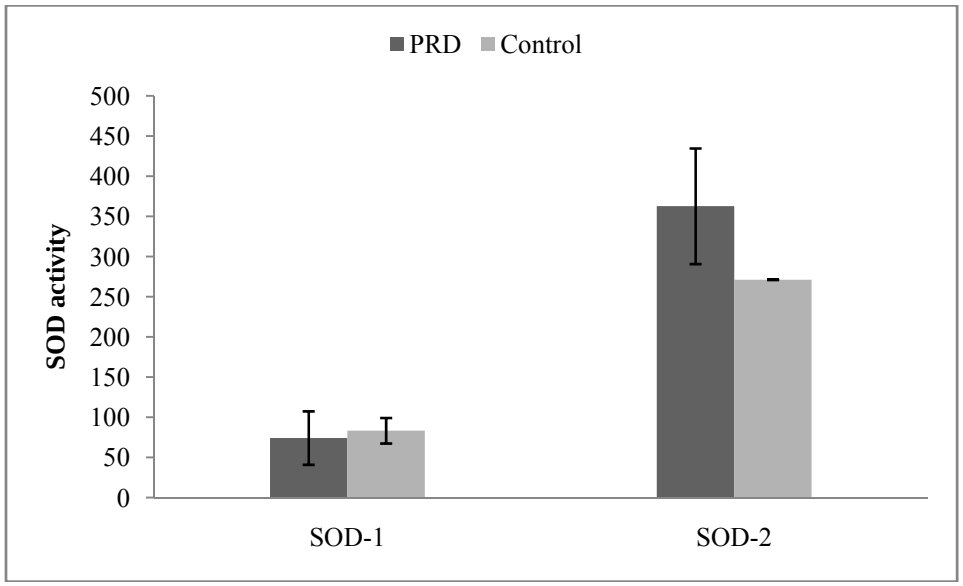
راندمان استفاده از مواد غذایی (NUTE) در بین عناصر مختلف از نظر آماری تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۲ و۳)، به طوری‌که افزایش معنی‌دار راندمان استفاده از مواد غذایی برگ بین عناصر در شرایط تنش حاصل از آبیاری یک‌طرفه در مقایسه با شاهد در عنصر سدیم و کم‌ترین در تیمار منگنز مشاهده شد. افزایش معنی‌دار بازده کسب مواد غذایی برگ به ترتیب در سدیم و روی و کم‌ترین میزان بازده کسب مواد غذایی در فسفر مشاهده شد، بیش‌ترین میزان این فاکتور در ریشه در عنصر آهن بود و بین سایر عناصر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، در میوه به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان بازده کسب مواد غذایی در عنصر نیتروژن و سدیم مشاهده شد که از نظر آماری نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳). یکی از اثرات احتمالی استفاده از روش آبیاری یک‌طرفه کاهش جذب عناصر غذایی است که به کاهش مواد غذایی میوه منجر می‌شود. در این آزمایش به

ترتیب میزان فسفر، آهن، منگنز و نیتروژن نسبت به سایر عناصر در برگ کم‌ترین میزان بازده کسب مواد غذایی در شرایط تنش حاصل از آبیاری یک‌طرفه در مقایسه با شاهد در بین عناصر را داشت و میزان سدیم برگ در بالاترین مقدار بود البته این عنصر در ریشه و میوه تجمع کمی را نشان داد. ناکاجیما و همکاران (۲۴) تغییرات عناصر ضروری در میوه تحت تیمار آبیاری یک‌طرفه را گزارش کردند اما اطلاعات کافی در زمینه اثر آبیاری یک‌طرفه بر عناصر موجود نمی‌باشد. فرانس و همکاران (۱۹) گزارش کردند که غلظت مواد معدنی ریشه نسبت به شاخساره و میوه کمتر تحت تأثیر قرار گرفت و غلظت مس و منیزیم ریشه در گیاهان تحت آبیاری یک‌طرفه بیش‌تر گیاهان آبیاری معمولی گزارش شد. هم‌چنین این محققین کاهش فسفر را در تیمار آبیاری یک‌طرفه نسبت به شاهد مشاهده کردند درحالی‌که نیتروژن در آبیاری یک‌طرفه بیش از آبیاری معمولی بود (۱۹).

جدول۳- اثر تنش خشکی حاصل از آبیاری یک‌طرفه و آبیاری معمولی بر بازده کسب مواد غذایی برگ، ریشه و میوه، بازده استفاده از مواد غذایی گوجه فرنگی

عناصر	NACE برگ	NACE ریشه	NACE میوه	NUTE
نیتروژن	۹۴/۵۹bc	۹۶/۸۳b	۱۲۸/۷۰a	۲۶/۳۸def
فسفر	۸۸/۳۸c	۹۴/۰۰b	۹۷/۴۵bc	۹۲/۹۲c
پتاسیم	۱۱۵/۱۵bc	۹۵/۴۲b	۹۰/۲۵bcd	۲۰/۷۳def
گوگرد	۱۲۵/۴۸bc	۹۷/۶۹b	۹۹/۱۱bc	۴۸/۶۹d
کلسیم	۱۰۴/۰۰bc	۱۱۸/۱۰b	۹۶/۲۹bc	۴۰/۹۲de
منیزیم	۹۰/۲۲bc	۱۱۱/۸۵b	۹۴/۹۵bc	۱۹۹/۶۶b
سدیم	۱۷۷/۹۹a	۹۲/۰۸b	۶۸/۴۰d	۴۱۰/۵۷a
آهن	۸۹/۷۷bc	۱۷۴/۱۱a	۱۰۵/۶۹b	۱/۱۴f
منگنز	۹۵/۷۲bc	۱۰۰/۸۹b	۹۰/۷۱bc	۰/۱۶f
روی	۱۲۶/۲۰b	۱۱۴/۷۹b	۹۴/۳۲bc	۲/۱۸f
مس	۱۰۱/۲۷bc	۱۲۶/۸۷b	۷۷/۴۲cd	۱۵/۲۶ef
بر	۱۰۶/۶۴bc	۹۷/۷۷b	۸۴/۶۴bcd	۱/۴۷f

درهرستون، میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD اختلاف معنی دار ندارند.
NACE: بازده کسب مواد غذایی، NUTE: بازده استفاده از مواد غذایی



شکل٤- اثر تنش خشکی حاصل از آبیاری یک‌طرفه و آبیاری معمولی بر فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز در گوجه فرنگی (C : شاهد، آبیاری معمولی و PRD: آبیاری یک‌طرفه، SOD: فعالیت آنزیم سوپراکسیداز دیسموتاز) (بارها نشان‌دهندهٔ حداقل تفاوت معنی‌دار هستند).

جدول ٤ - تجزیه واریانس اثر تنش خشکی حاصل از آبیاری یک‌طرفه و آبیاری معمولی برMP,YSI,TOL,GMP, SSI, RDY, SI, HM در زمان‌های مختلف برداشت گوجه فرنگی

منابع تغییرات	درجه ازادی	میانگین مربعات							
		MP	YSI	TOL	GMP	SSI	STI	RDY	SI	HM
آبیاری	۳	۳۳۵۱/۱۹*	۰/۳۲۷*	۳۱۶۱/۴۱*	۲/۷۷*	۳/۱۹۰ns	۰/۳۲۷*	۳۷۳/۵۱۶ns	۴/۶۰ns	۳۰۱۱/۰۲*
خطا	۲۰	۱۴۰/۰۱	۰/۰۶۸	۱۴۷/۲۹	۱۸/۷	۳/۸۸	۰/۰۶۸	۳۰۸/۸۰۹	۲/۶۴	۱۶۳/۳۱
ضریب تغییرات		۱۸/۱۳	۲۵/۳۲	۱۹/۱۹	۳۲/۹۱	۲۴/۱۲	۲۳/۹۱	۳۳/۴۹	۲۵/۰۳	۲۰/۶۹

*- معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns- عدم معنی‌داری

جدول۵- اثر تنش خشکی حاصل از آبیاری یکطرفه و آبیاری معمولی برMP,YSI,TOL,GMP, SSI, RDY, SI, HM در زمانهای مختلف برداشت گوجه فرنگی

زمان برداشت	MP	YSI	TOL	GMP	SSI	STI	RDY	SI	HM
۵۸ روز پس از کاشت	۳۳/۱۶c	۰/۹۵ab	۲۷/۳۳ab	۳۲/۹۸c	۳/۸۳ ×۱۰$^{-۳}$a	۰/۹۵ab	۲۳/۵۲a	۲/۷۲a	۶۴/۵۶b
۶۴ روز پس از کاشت	۹۰/۰۲a	۱/۰۳a	۸/۰۰b	۸۸/۷۱a	۹/۳۱×۱۰$^{-۳}$a	۱/۰۳a	۲۸/۵۴a	۰/۲۸a	۸۷/۴۳a
۶۹ روز پس از کاشت	۶۷/۲۸b	۰/۶۴bc	۳۲/۵۰ab	۶۳/۸۹b	۴/۱۲ ×۱۰$^{-۳}$a	۰/۵۴c	۴۵/۰۳a	۰/۴۵a	۶۰/۷۳b
۷۲ روز پس از کاشت	۷۰/۵۶b	۰/۵۴c	۴۰/۰۰a	۶۷/۳۷b	۳/۴۵ ×۱۰$^{-۳}$a	۰/۶۴bc	۳۵/۷۹a	۰/۳۵a	۳۲/۸۱c

درهرستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند.

MP: میانگین عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، TOL: شاخص تحمل به تنش، GMP: میانگین ژئومتری عملکرد،SSI : شاخص حساسیت به تنش، STI : شاخص مقاومت به تنش،RDY : کاهش نسبی شاخص عملکرد، SI : شدت تنش، HM : عملکرد همگن

میانگین عملکرد (MP) بالا در شرایط آبیاری یک‌طرفه مورد نظر می‌باشد، افزایش معنی‌دار میانگین عملکرد در شرایط تنش حاصل از آبیاری یک‌طرفه در مقایسه با شاهد ۶۴ روز پس از کاشت (۹۰/۲۷) و کم‌ترین میانگین عملکرد در ۵۸ روز پس از کاشت (۳۳/۱۶) مشاهده شد (جدول۴ و ۵).

زمان برداشت با شاخص پایداری عملکرد (YSI) بالاتر به عنوان زمان مناسب برداشت محصول در شرایط تنش و بدون تنش در نظر گرفته می شود. بالاترین شاخص عملکرد تنش از نظر آماری در برداشت ۵۸ روز پس از کاشت بود (جدول ۵) و پس از آن کاهش این شاخص در برداشت‌های روز ۶۹ و ۷۲ مشاهده شد. بنابراین در دومین برداشت عملکرد گیاه در برابر تنش پایداری نشان داده است. شاخص تحمل به تنش (TOL) نشان دهنده مقاومت به شرایط تنش در زمان‌های مختلف برداشت می‌باشد، افزایش معنی‌دار این فاکتور در برداشت‌های دوم، سوم و چهارم نسبت به اولین برداشت مشاهده شد. به طوری‌که در برداشت روز ۷۲ بعد از کاشت ۸۰ درصد افزایش نسبت به اولین برداشت داشت که نشان دهنده مقاومت به شرایط تنش می‌باشد. بالاترین میانگین ژئومتری عملکرد (GMP) در بین برداشت‌های مختلف مطلوب می‌باشد که در ۶۴ روز پس از کاشت دارای بالاترین میزان بود، و کم‌ترین میزان این شاخص در اولین برداشت (۵۸ روز پس از کاشت) مشاهده شد. میانگین ژئومتری عملکرد در دومین برداشت نسبت به اولین برداشت ۶۲ درصد افزایش معنی‌داری داشت که نشان دهنده مقاومت گیاه به شرایط تنش در این تاریخ برداشت می باشد.

زمان برداشت با شاخص حساسیت به تنش (SSI) کم‌تر از یک مناسب می‌باشد، که در این آزمایش در تمامی برداشت‌ها کم‌تر از یک بود و بین برداشت‌های مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). بنابراین در تمامی برداشت گیاه حساسیت چندانی به تنش نشان نداده است.

تفاوت معنی‌داری بین زمان‌های مختلف در کاهش نسبی شاخص عملکرد (RDY) مشاهده نشد (جدول۴). این شاخص کاهش نسبی عملکرد را در شرایط تنش و آبیاری معمولی نشان می‌دهد که در این آزمایش بین برداشت‌های مختلف تفاوت معنی‌دار نبود بنابراین در تمامی برداشت‌ها به طور یکسان شاخص عملکرد کاهش یافته است و عملکرد نسبی گیاه تحت تأثیر تیمار آبیاری یک‌طرفه قرار نگرفته است. تفاوت معنی‌داری بین شدت تنش SI در زمان‌های مختلف برداشت مشاهده نشد بنابراین شدت تنش در زمان‌های مختلف برداشت یکسان می‌باشد (جدول ۴ و ۵).

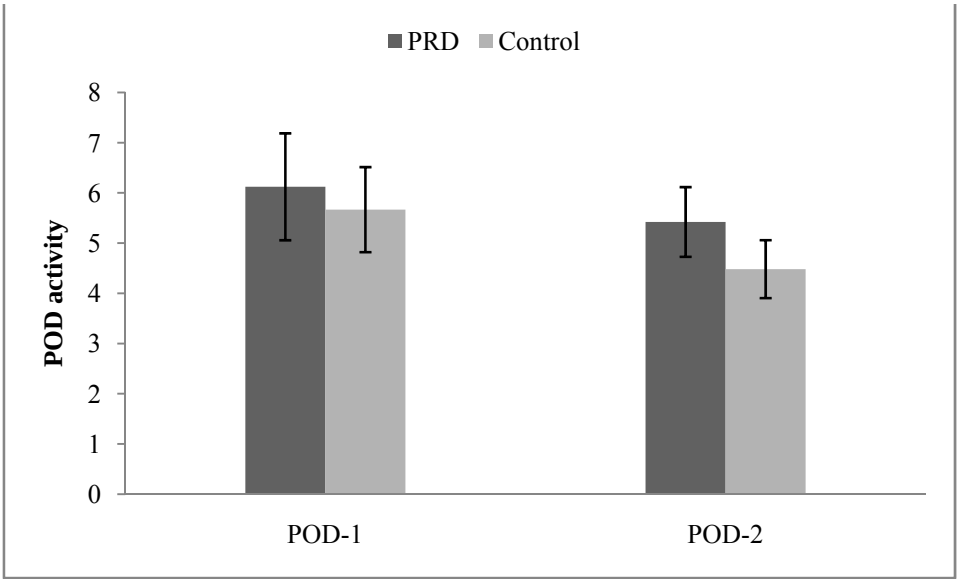
زمان برداشت با عملکرد همگن (HM) بالاتر مطلوب تر می‌باشد، که در این آزمایش در دومین برداشت (روز ۶۴) بالاترین میزان و در برداشت بعدی (روز ۶۹ و ۷۲) این شاخص کاهش یافت به طوری‌که در برداشت چهارم (۷۲ روز پس از کاشت) کم‌ترین میزان این شاخص بود. شاخص‌های عملکردی از جمله میانگین عملکرد (MP) در

برداشت ۶۴ پس از کاشت افزایش معنی‌دار و ۶۳ درصدی نسبت به اولین برداشت میوه داشت، هم‌چنین افزایش ۶۲ درصدی میانگین ژئومتری عملکرد (GMP) در دومین برداشت نسبت به اولین برداشت مشاهده شد. با توجه به نتایج حاصله بهترین شاخص‌های عملکرد در برداشت ۶۴ پس از کاشت و کم‌ترین اثرپذیری گیاه از تنش آبیاری یک‌طرفه (کم‌ترین شاخص تنش یا بیش‌ترین شاخص مقاومت) در روز ۶۴ و ۷۲ پس از کاشت بود.

یحیایی (۹) در بررسی خود مشاهده کرد که آبیاری کامل باعث بیش‌ترین عملکرد و با افزایش تنش آبی از میزان عملکرد سویا کاسته شد. در این آزمایش شاخص‌های برداشت متفاوتی در زمان‌های مختلف بررسی شد و نتایج نشان داد که در دومین برداشت گیاه کم‌تر تحت تأثیر آبیاری یک‌طرفه قرار گرفته است و شاخص‌های برداشت از جمله شاخص تحمل به تنش، میانگین عملکرد، میانگین ژئومتری عملکرد، شاخص حساسیت به تنش در دومین برداشت بالا و در برداشت سوم کاهش یافت. در تحقیق نورمهناد و همکاران (۸) کاهش عملکرد میوه در آبیاری یک‌طرفه و آبیاری سنتی بخش مشاهده شد. محققین متعددی کاهش عمکلرد گوجه فرنگی تحت تنش خشکی را گزارش کرده‌اند، کاهش عملکرد در اثر کم آبیاری را حساس بودن گیاه گوجه فرنگی به کمبود آب و کاهش فتوسنتز و انتقال مواد به سمت میوه بیان کرد (۴) که در این آزمایش کاهش فتوسنتز در اثر آبیاری یک‌طرفه مشاهده که باعث کاهش عملکرد شد، شاخص‌های عملکرد اندازه‌گیری شده در این آزمایش برای اولین بار تحت تأثیر آبیاری یک‌طرفه مورد بررسی قرار گرفته است.

نتیجه گیری کلی

به طور کلی کاهش آنزیم های پراکسیداز و سوپراکسیداز دیسموتاز تحت تأثیر تیماری آبیاری موضعی مشاهده شد. به ترتیب بیش‌ترین بازده استفاده از مواد غذایی در برگ، ریشه و میوه مربوط به عناصر سدیم، آهن و نیتروژن مشاهده شد. بالاترین میانگین عملکرد (MP)، میانگین ژئومتری عملکرد (GMP)، شاخص مقاومت به تنش (STI) و عملکرد همگن (HM) در روز ۶۴ پس از کاشت گیاه مشاهده شد. بیش‌ترین شاخص تحمل به تنش (TOL) در روز ۷۲ پس از کاشت مشاهده شد بدین معنی که گیاه کم‌ترین تحمل به شرایط تنش در روز ۷۲ و بیش‌ترین مقاومت به تنش (کم‌ترین میزان شاخص TOL) در روز ۶۴ مشاهده شد، به طور کلی این روش باعث کاهش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و وزن تر و خشک میوه و شاخساره شد، اما شاخص‌های عملکردی در برداشت‌های اولیه (روز ۶۴ پس از کاشت) کم‌تر تحت تأثیر روش آبیاری موضعی قرار گرفت.



شکل ۵- اثر تنش خشکی حاصل از آبیاری یک‌طرفه و آبیاری معمولی بر فعالیت پر اکسیداز در گوجه فرنگی (C: شاهد، آبیاری معمولی و PRD: آبیاری یکطرفه، POD: فعالیت آنزیم پراکسیداز) (بارها نشان‌دهندهٔ حداقل تفاوت معنی‌دار هستند).

منابع

۱- امینی ز.، حداد ر. و مرادی ف. ۱۳۸۷. بررسی اثر تنش کم آبی بر نحوه فعالیت آنزیم های ضداکسنده در مرحله رشد زایشی گیاه جو. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲(۴۶): ۶۵-۷۴.

۲- بی نام، آمارنامه کشاورزی جلد اول محصولات زراعی سال زراعی. ۱۳۸۹. تهران، معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، دفتر آمار و فناوری اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی

۳- سادات اسیلان ک.، مدرس ثانوی ع م.، و حاجیلویی س. ۱۳۸۹. بررسی اثر تنش خشکی بر سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاهچه‌های برخی از اکوتیپ یونجه چند ساله. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۱(۱): ۶۷-۷۷.

۴- شرایعی پ.، سبحانی ع.، و رحیمیان م ع. ۱۳۸۵. تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کود پتاسیم بر کارآیی مصرف آب و کیفیت میوه گوجه فرنگی رقم پتو ارلی سی اچ. تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۷(۲۷):۲۷ ۷۵-۸۶.

۵- طاهر خوانی آ.، و گلچین آ. ۱۳۹۱. اثر تنش خشکی بر عملکرد و صفات کمی و کیفی انگور رقم بیدانه سفید در منطقه تاکستان. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۲(۲): ۲۲۲-۲۱۵.

۶- ظرابی م.م.، طلایی ع.، سلیمانی ع.، و حداد ر. ۱۳۸۹. نقش فیزیولوژیکی و تغییرات بیوشیمایی شش رقم زیتون در برابر خشکی. نشریه علوم باغبانی (علوم وصنایع کشاورزی) ۲۴(۲): ۲۳۴- ۲۴۴.

۷- گلکار ف.، فرهمند ع.، و فرداد ح. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر میزان آب آبیاری بر عملکرد و بازده مصرف آب گوجه فرنگی. مجله مهندسی آب. ۱: ۱۳-۲۰.

۸- نورمهناد ن.، نوری امامزاده ای م ر.، قربانی ب.، و محمدخانی ع. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر مدیریت کم آبیاری بر راندمان مصرف آب و برخی خصوصیات فیزیولوژیک و فنولوژیک گوجه فرنگی .علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی علوم آب و خاک . ۱۳ (۵): ۱-۱۱.

۹- یحیایی غ. ۱۳۸۶. اثر رژیم‌های آبیاری بر عملکرد دانه ارقام رشد نامحدود و رشد محدود سویا. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی (ویژه نامه زراعت و اصلاح نباتات). ۱۴(۵): ۱۲۴-۱۳۴.

10- Beauchamp I.F. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Analytical Biochemistry, 44:151–155.

11- Blokhina O., Virolainen E., and Fagerstedt K.V. 2003. Antioxidant oxidative damage and oxygen deprivation stress. Annals ofBotany, 91:179-194.

12- Bouslama M., and Schapaugh W.T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part. 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. In: Crop Science, 24: 933-937.

13- Chandlee J.M., and Scandalios J.G. 1984. Analysis of variants affecting the catalase development program in maize scutellum Theoretical and Applied Genetics, 69: 71-77.

14- Farshadfar E., Poursiahbidi M.M., and Safavi S. 2013. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/ tolerance indices. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 1 2: 143-158

15- Fernandez J.E., Diaz-Espejo A., Infante J.M., Duran P., Palomo M.J., Chamorro V., Giron I.F., and Villagarica L. 2006. Water relations and gas exchange in olive trees under regulated deficit irrigation and partial rootzone drying. Plant and Soil, 284: 273-291.

16- Fernández G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the International Symposium on "Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress", Chapter 25, Taiwan, 13-16 August, p. 257-270.

17- Fisher R.A., Rees D., Sayre K.D., Lu Z.M., Candon A.G., and Saavedra A.L. 1998. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. Crop Science, 38: 1467-1475.

18- Fisher R.A., and Maurer R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. l. Grain yield response. In: Australian Journal of Agricultural Research, 29: 897-912. Australian Journal of Agricultural Research

19- France J.B., Haghighi M., Watson M., Mills T., and Behbudian M.H. 2014. Mineral nutrition of petopride processing tomato under partial rootzone drying. Journal of Plant Nutrition, 37 (7):1056-1062.

20- Gambel P.E., and Burke J.J. 1988. Effect of water stress on the chloroplast antioxidant system. I. Alteration in glutathione reductase activity. Plant Physiology, 76:615- 621.

21- Hou W.C., and Lin Y.H. 2003. Activities of superoxide dismutase and glutathione peroxides in leaves of different cultivars of *Liriope spicata*.L. on SDSPAGE gels. Botanical Bulletin of Academia Sinica, 44.37.41.

22- Liu F., Shahnazari A., Andersen M.N., Jacobsen S.E., and Jensen C.R. 2006. Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato. Scientia Horticulturae, 109: 113-117.

23- Loveys B.R., Stoll M., Dry P.R., and McCarthy M.G. 2000. Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops. Acta Horticulturae, 537: 187-197.

24- Nakajima H., Behboudian M.H., Greven M., and Zeghbe J.A. 2004. Mineral content of grape, olive, apple and tomato under reduced irrigation. Journal ofPlant Nutrition and Soil Science, 167:91-92.

25- Pastel S.L. 1998. Water for food production: Will there be enough for 2005? Biosicence 48: 629-637.

26- Rosielle A.A., and Hamblin J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. In: Crop Science, 21: 943-946.
27- Sairam R.K., and Saxena D.C. 2000. Oxidative stress and antioxidant in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. Journal of Agronomy and Crop Science, 184: 55-61.
28- Samadi A., and Sepaskhah A.R. 1984. Effects of alternate furrow irrigation on yield and water use efficiency of dry beans. Iran Agriculture Research, 3: 95-115.
29- Sepaskhah A.R., and Ghasemi M.M. 2008. Every-other furrow irrigation with different irrigation intervals for sorghum. Pakistan Journal of Biological Science, 11: 9. 1234-1239.
30- Sepaskhah A.R., and Hosseini S.N. 2008. Effects of alternate furrow irrigation and nitrogen application rates on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield, water- and nitrogen-use efficiencies. Plant Production Science, 11: 250-259.
31- Skorzynska E., Bednara J., and Baszynski T. 1995. Some aspects of runner bean plant response to cadmium at different stages of the primary leaf growt. Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 64: 165–170.
32- Van Schilfgaarde J. 1994 Irrigation a blessing or a curse. Hortscience, 31: 926-929.
33- Verona C., and Calcagno F. 1991. Study of stomatal parameters for selection of drought resistant varieties in *Triticum durum*. Euphitica, 57: 275-283.
34- Wahbi S., Wakrim R., Aganchich B., Tahi H., and Serraj R. 2005. Effects of partial rootzone drying (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea*) in field conditions under arid climate I. Physiological and agronomic responses. Agriculture, Ecosystems and Environment, 106: 289-301.
35- Wang L., Kroon H.D., and Smits A.J.M. 2007. Combined effects of partial root drying and patchy fertilizer placement on nutrient acquisition and growth of oilseed rape. Plant Soil, 295:207–216.
36- Zeghbe J.A., Behboudian M.H., Lang A., and Clothier B.E. 2003. Water relation, growth and yield of processing tomato under partial rootzoone drying. Journal of Vegtable Crop Production, 9 (2):31-40.
37- Zeghbe J.A., Behboudian M.H., and Clothier B.E. 2007. Reduced irrigation maintains photosynthesis, growth yield and fruit quality in Pacific Rose apple. Journal ofSustainable Agriculture, 30(2): 125-136.