مقاله پژوهشی

اثر ال- سیستئین و لاکتات کلسیم بر عملکرد و کیفیت میوه بادمجان (*Solanum melongena* L.) تحت تنش کم‌آبیاری

ملیحه فرهنگ‌پور[۱]، طاهر برزگر[۱*]، جعفر نیکبخت[۲] و فاطمه نکونام[۱]

[۱] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

[۲] گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۳/۱۷، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۵/۲۵)

چکیده

به‌منظور مطالعه تاثیر محلول‌پاشی سیستئین و لاکتات کلسیم بر عملکرد و کیفیت میوه بادمجان (*Solanum melongena* cv. Greta RZ) تحت شرایط تنش کم‌آبیاری آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه زنجان در سال ۱۴۰۰ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری در سه سطح ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار محلول‌پاشی در پنج سطح شامل دو سطح لاکتات‌کلسیم (یک و دو گرم در لیتر)، دو سطح ال- سیستئین (۰/۱۵ و ۰/۵ درصد) و آب مقطر به‌عنوان شاهد بود. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری عملکرد بوته و کیفیت میوه را تحت تاثیر قرار داد. کمترین تعداد میوه، عملکرد بوته، کلروفیل کاسبرگ، ویتامین ث و بیشترین مقدار فنل، فلاونوئید، درصد نشت یونی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در تنش کم‌آبیاری ۶۰ درصد حاصل شد. کاربرد لاکتات کلسیم و اسیدآمینه سیستئین به‌طور معنی‌داری عملکرد و کیفیت میوه را در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبیاری بهبود بخشید. بیشترین عملکرد بوته (۲/۵ و ۲/۴۶ کیلوگرم)، محتوای ویتامین ث (۴۴/۱ و ۴۱/۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) و محتوای مواد جامد محلول (۴/۴ و ۳/۹ درصد بریکس) به ترتیب با کاربرد لاکتات کلسیم ۲ گرم در لیتر و سیستئین ۰/۵ درصد تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد. کاربرد لاکتات کلسیم و سیستئین با افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیددیسوتاز) و ترکیبات فنلی منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه شد. با توجه به نتایج، کاربرد لاکتات‌کلسیم ۲ گرم در لیتر و یا سیستئین ۰/۵ درصد به‌صورت جداگانه جهت بهبود عملکرد و کیفیت میوه بادمجان در شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبیاری پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: ترکیبات فنلی، تعداد میوه، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، نشت‌یونی

مقدمه

بادمجان با نام علمی (*Solanum melongena* L.) متعلق به خانواده Solanaceae یکی از سبزی‌های میوه‌ای مهم بومی مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری است. تولید بادمجان در ایران و کل جهان به‌ترتیب بالغ بر ۶۶۶۵۳۵ و ۵۱۹۷۷۲۱۹ تن است، که بر این اساس ایران پنجمین کشور تولید کننده بادمجان در سال ۲۰۱۹ شناخته شده است (FAO, 2019). میوه بادمجان منبع مهم و غنی از ویتامین‌ها و ترکیبات

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: tbarzegar@znu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.9.7]

آنتی‌اکسیدانی مانند آنتوسیانین و ترکیبات فنولیک است که برای سلامت انسان بسیار مفید است (Brenes *et al*., 2020).

آب عامل اصلی تعیین کننده عملکرد گیاهان در کشاورزی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است (Sallume *et al*., 2020). تنش کم‌آبی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که رشد و تولید گیاهان را در سراسر دنیا محدود می‌کند. تنش کم‌آبی به غشای سلولی آسیب می‌رساند، حرکت آب و جذب مواد مغذی را کاهش می‌دهد، کارایی فتوسنتز، سرعت تنفس و فعالیت آنزیم‌ها را کاهش می‌دهد و تولید گونه‌های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهد (Maloney *et al*., 2010). این تنش باعث تجمع گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر در گیاهان و درنتیجه پراکسیداسیون لیپید غشایی، کاهش سرعت فتوسنتز و حتی مرگ گیاهان می‌شود. گیاهان مکانیسم‌های انطباق متعددی را در سطوح مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی تکامل داده‌اند تا به سرعت شرایط تنش خشکی را تشخیص داده و با آن سازگار شوند. این پاسخ‌های داخلی از تغییرات در فعالیت فتوسنتزی تا توسعه دفاع آنتی‌اکسیدانی برای افزایش تحمل به خشکی است (Feng *et al*., 2021). مطالعات نشان داد اعمال تنش کم‌آبی بر هندوانه (*Citrullus lanatus L*.) در مرحله گلدهی، عملکرد را کاهش داد درحالی‌که در مرحله تشکیل و رشد میوه، بر عملکرد و کیفیت میوه تأثیر داشت (پرخیده و همکاران، ۱۳۹۷). تنش کم‌آبی در کاهو (*Lactuca sativa* L.) باعث کاهش وزن تر و خشک، سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ و افزایش محتوای پرولین شد (خانی و همکاران، ۱۳۹۸). اعمال تنش کم‌آبیاری در گیاه بامیه (*Abelmoschus esculentus* Moench.)، رشد و عملکرد میوه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (Barzegar *et al*., 2016).

کمبود منابع آب به‌دلیل موقعیت جغرافیایی ایران که در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارد، بیشترین محدودیت برای کشاورزی آبی است. از آنجایی که کشاورزی مصرف‌کننده اصلی منابع آب شیرین است، هرگونه تلاش برای بهبود کارآیی مصرف آب در این بخش ارزشمند خواهد بود (Aldulaimy *et al*., 2019). در سال‌های اخیر، اسید آمینه‌های به‌صورت محلول‌پاشی برگی یا افزودن به خاک به‌عنوان روشی برای بهبود رشد و بهره‌وری گیاه مورد استفاده قرار گرفته است. اسیدهای آمینه نقش مستقیمی در افزایش محتوای پروتئین بافت و فعالیت آنزیمی دارند و می‌توانند بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی در رشد و نمو گیاه تأثیر بگذارند (Sadak *et al*., 2015). اسید آمینه به‌عنوان یک نوع محرک رشد، مواد مغذی گیاه را تامین می‌کند، کیفیت گیاه را نیز بهبود می‌بخشد که در نهایت باعث افزایش عملکرد و بازده تجاری محصولات می‌شود (Khan *et al*., 2019). ال- سیستئین یک اسید آمینه α با زنجیره جانبی تیول است که در واکنش‌های آنزیمی و گلوکوزینولات شرکت می‌کند (Sadak *et al*., 2020).

کلسیم در تنظیم مکانیسم‌های مختلف گیاهان در شرایط محیطی نظیر کم‌آبی، گرما، سرما و شوری نقش دارد. علاوه بر این نشان داده شده است که کلسیم برای کاهش اثرات نامطلوب تنش آب روی گیاهان و افزایش تحمل به کم‌آبی نیاز است (Cousson, 2009). اثر مثبت کلسیم در بهبود تحمل به تنش‌های غیرزیستی به تنظیم روابط آبی، فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی، انباشت اسمولیت‌ها، بهبود محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و تعادل تغذیه‌ای نسبت داده شده است (Kurtyka *et al*., 2008). کلسیم ماده مغذی معدنی است که معمولاً در شرایط کمبود آب جذب آن کاهش می‌یابد، بنابراین افزایش مقدار کلسیم در سبزی‌های برگی می‌تواند غلظت کلسیم را در بافت‌های گیاه بیشتر بهبود بخشد (Khani *et al*., 2020). کمبود کلسیم ممکن است باعث بروز عوارضی همچون سوختگی برگ‌های کاهو و کلم، سوختگی گلگاه در گوجه فرنگی و فلفل، قهوه‌ای شدن درون کلم و سیاه شدن مغز در کرفس شود این اندام‌ها دارای تعرق کمی می‌باشند و کلسیم به‌راحتی نمی‌تواند از طریق آوندهای چوبی به آنها برسد. کلسیم با اتصال به مواد پکتینی در لایه میانی غشاء سلولی ممکن است این نابسامانی‌ها را از راه استحکام ساختار سلول برطرف نموده و از بروز بیماری جلوگیری کند (طباطبایی، ۱۳۹۳). بررسی منابع مختلف کلسیم در گیاه ذرت نشان داد که با افزایش غلظت لاکتات‌کلسیم فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فنل کل افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.9.7]

یافت (Sánchez-Madrigal *et al*., 2015). کاربرد کلسیم در (*Solanum lycopersicon* Mill.)، وزن تک بوته، عملکرد و محتوای ویتامین ث را افزایش داد ولی باعث کاهش محتوای اسیدهای آلی و مواد جامد محلول شد (Dong *et al*., 2004). کاربرد لاکتات کلسیم در گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) مانع افزایش نفوذپذیری غشای سلولی، محتوای مالون دی آلدهید، تخریب کلروفیل و کاهش میزان ویتامین ث شد (Wen-bin *et al*., 2013).

با توجه بـه شرایط بحـرانی آب در ایـران و مصـرف بیش از حد آن در کشـاورزی، مطالعـه در خصوص بهبود تحمل به کم‌آبی سبزی‌ها و مدیریت آب ضروری به‌نظر می‌رسـد. کم‌آبیاری یک راهبرد برای تولید پایدار محصولات کشاورزی در شرایط کمبود آب است. بنابراین، در آینده بیشتر فعالیت‌ها در جهـت مصرف بهینه آب و بهبود کیفیت تولید محصول خواهـد بـود و تحقیق حاضر با هدف مطالعه اثر محلول‌پاشی لاکتات‌کلسیم و ال- سیستئین بر رشد، عملکرد و کیفیت بادمجان تحت تنش کم‌آبی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجان در سال ۱۴۰۰ انجام شد. اواخر اردیبهشت ماه نشاءهای بادمجان (*Solanum melongena* cv. Greta RZ) از گلخانه‌ای در هشتگرد تهیه شد و در مرحله چهار- پنج برگی با فاصله بین ردیفی ۱۰۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ای ۳۵ سانتی‌متر در اواخر اردیبهشت ماه در مزرعه کشت شدند. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار محلول‌پاشی در پنج سطح شامل دو سطح لاکتات‌کلسیم (یک و دو گرم در لیتر)، دو سطح ال- سیستئین (۰/۱۵ و ۰/۵ درصد) و آب مقطر به‌عنوان شاهد بود. پس از استقرار اولیه گیاهان در مرحله شش تا هفت برگی، اولین محلول‌پاشی برگی لاکتات کلسیم و اسید آمینه سیستئین صورت گرفت و محلول‌پاشی‌های بعدی در دو مرحله با فاصله ۱۰ روز یکبار در طول دوره رشد گیاه انجام گرفت. تیمارهای تنش کم‌آبیاری یک هفته پس از اولین محلول‌پاشی اعمال شد. نتایج حاصل از تجزیه خاک در جدول ۱ آورده شده است.

نیازآبی گیاه با استفاده از میانگین بلند مدت داده‌های روزانه و داده‌های سال جاری هواشناسی ثبت شده در ایستگاه هواشناسی زنجان و با استفاده از رابطه ۱ برآورد شد (جدول ۲).

رابطه (۱)

$$ET_C = ET_0 \times K_C$$

در این رابطه ETc، نیازآبی بادمجان (میلی‌متر در روز) ET_0، تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن (میلی‌متر در روز) و K_c ، ضریب گیاهی بادمجان هستند. لازم به توضیح است مقادیر ET_0 بر اساس روش استاندارد فائو- پنمن- مانتیث برآورد شد. جدول دو میانگین بلند مدت پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زنجان در دوره رشد گیاه را که برای محاسبه مقادیر ET_0 و ETc مورد استفاده قرار گرفت نشان می‌دهد. پس از محاسبه مقادیر ETc، مقادیر نیاز خالص و نیاز ناخالص آب آبیاری گیاه بادمجان بر اساس فواصل کشت، نوع سیستم آبیاری (قطره‌ای- نواری) و دور آبیاری (دو روز) برآورد شده و سپس در هر نوبت آبیاری به گیاه داده می‌شد. نیاز آبی سایر تیمارها (تیمارهای تنش آبیاری) بر اساس نیاز آبی تیمار شاهد و درصد تنش آبیاری، برآورد و توزیع شد (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷). در طول فصل رشد وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

صفات مورد ارزیابی: در هر واحد آزمایشی از پنج بوته نمونه‌برداری شد. میوه‌های بادمجان در مرحله بلوغ تجاری برداشت شدند و صفات کمی و کیفی آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. در زمان برداشت، تعداد میوه در هر بوته شمارش و میوه‌ها توزین شدند و عملکرد بوته برحسب کیلوگرم به‌دست آمد. برای ارزیابی وزن خشک، پس از اندازه‌گیری وزن‌تر میوه، نمونه‌ها در داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند و وزن خشک بر حسب درصد بیان شد. مواد جامد محلول با استفاده از رفراکتومتر دستی مدل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.9.7]

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

بافت خاک	رس	سیلت	شن	ماده آلی	نیتروژن	پتاسیم	سدیم	کلسیم	EC	pH
	(٪)					(g.kg^{-1})			(dS.m^{-1})	
لوم رسی	۳۷	۳۸	۲۵	۰/۹۴	۰/۰۷	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۱۲	۱/۴۹	۷/۴

جدول ۲- میانگین بلندمدت پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زنجان در دوره رشد گیاه بادمجان

ماه	بیشترین دما	میانگین دما	کمترین دما	سرعت باد	ساعات آفتابی	رطوبت نسبی	مجموع بارندگی
	(°C)			(m.s^{-1})		(٪)	(mm)
خرداد	۳۲/۶	۱۳	۲۲/۸	۲/۲	۱۱/۷	۲۸	۱۲/۴
تیر	۳۴/۵	۱۶/۲	۲۵/۳	۲	۱۱/۴	۳۱	۷/۹
مرداد	۳۳/۱	۱۶/۳	۲۴/۷	۱/۹	۹/۸	۴۱	۸/۸
شهریور	۳۲/۸	۱۶/۷	۲۲/۷	۱/۹	۱۰/۹	۳۱	۰
مهر	۲۴/۳	۶/۷	۱۵/۵	۱/۸	۹/۸	۴۳	۰/۵

(ATAGO Brixo-32%) بر حسب درصد بریکس اندازه‌گیری شد (مستوفی و نجفی، ۱۳۸۴). میزان ویتامین ث با روش تیتراسیون یدومتری بر حسب میلی‌گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد (راحمی، ۱۳۸۴).

برای سنجش میزان آسیب به غشا، میزان نشت یونی به روش بن حامد و همکاران اندازه‌گیری شد (Ben Hamed *et al.*, 2007). یک گرم از بافت سالم و تازه برگ گیاه را بعد از شستشو با آب مقطر برای شستشوی یون‌های احتمالی از سطح گیاه، درون لوله آزمایش با در پیچ‌دار قرار داده و ۱۰ میلی‌لیتر آب یون‌گیری شده به آن اضافه شد. سپس لوله‌های آزمایش را به مدت ۲ ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده و میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_1) با استفاده از EC متر مدل Metrhom (ساخت سوئیس) اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آبگرم دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد از خنک شدن لوله‌ها تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_2) مجدداً اندازه‌گیری شده و درصد نشت یونی با استفاده از رابطه ۲ برآورد شد.

رابطه (۲)

$$\text{درصد نشت یونی} = \frac{EC1}{EC2} \times 100$$

برای اندازه‌گیری کلروفیل کاسبرگ میوه، ابتدا ۰/۱ گرم از بافت کاسبرگ وزن و سپس با استفاده از ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد عصاره‌گیری شد و به لوله آزمایشگاه ۱۵ میلی‌لیتری ریخته شد، سپس به مدت ۵ دقیقه با دور ۵۰۰۰ سانتریفوژ گردید. بعد از سانتریفیوژ نمونه‌ها در دو طول موج A645 و B663 قرائت و با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شدند که در این رابطه (V) بیانگر حجم نهایی عصاره کلروفیل در استون ۸۰ درصد، (W) وزن تازه بافت استخراج شده، (A) جذب در طول موج مشخص می باشد (Arnon, 1967).

رابطه (۳)

$$\text{کلروفیل} = [20.2\ (A645) + 8.02\ (A663)] \times V/(W \times 1000)$$

میزان فلاونوئید کل میوه عصاره‌ها با روش Kaijv و همکاران (۲۰۰۶) اندازه‌گیری شد. برای تهیه عصاره یک گرم از بافت میوه با استفاده از متانول ۸۰٪ سابیده شده و به حجم ۸ میلی‌لیتر رسانده شد. با اضافه کردن $NaNo_2$ و $AlCl_3$ و NaOH یک مولار به حجم ۲/۵ میلی‌لیتر رسانده شد. جذب محلول پس از ۵ دقیقه با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (RS232)Safas Monaco در طول موج ۵۰۷ نانومتر خوانده شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.9.7]

محتوای فنل کل میوه با استفاده از معرف فولین سیکالتو (Folin Ciocalteau) انجام شد. برای این منظور ۰/۱ میلی‌لیتر از نمونه‌های رقیق شده همراه ۲ میلی‌لیتر Na_2Co_3 دو درصد در لوله آزمایش ریخته شد و به مدت دو دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از واکنشگر فولین سیکالتو ۵۰٪ به آن اضافه شد. مخلوط واکنش به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و در تاریکی نگهداری و سپس میزان جذب آن در طول موج ۷۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Singleton and Rossi, 1965).

برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی از روش رادیکال آزاد DPPH (2,2-Dphenyl- Picryl-Hydrazyl) استفاده شد. ابتدا عصاره‌های گیاهی به مقدار یک گرم در ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد تهیه شد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه با ۱۵۰۰۰ دور سانتریفیوژ شدند، سپس ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره رویی جدا کرده و ۱۹۰۰ میکرو لیتر DPPH اضافه کرده و جذب نمونه‌ها بعد از ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. درصد مهار رادیکال آزاد DPPH نمونه‌ها از رابطه ۴ به‌دست آمد (Dehghan and Khoshkam, 2012).

رابطه (۴)

فعالیت آنتی‌اکسیدانی= جذب DPPH −جذب نمونه /جذب DPPH × 100

برای بررسی فعالیت آنزیمی ابتدا عصاره آنزیمی تهیه شد. برای این منظور ابتدا یک گرم نمونه گیاهی را وزن کرده و همراه با ۵ میلی‌لیتر بافر استخراج سدیم پتاسیم فسفات (NaKPi) با غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار و pH=7 درون هاون چینی به خوبی ساییده شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه با ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه با دستگاه سانتریفیوژ (دمای ۴ درجه سانتی‌گراد) سانتریفیوژ شدند. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز از دستگاه اسپکتروفتومتر دارای لامپ UV استفاده شد. ابتدا دستگاه اسپکتروفتومتر روی طول موج ۲۴۰ نانومتر و مدت زمان یک دقیقه (بسته به گیاه) تنظیم و قرائت نمونه‌ها انجام شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز از دستگاه اسپکتروفتومتر دارای لامپ هالوژن استفاده شد. ابتدا دستگاه روی طول موج ۴۷۰ نانومتر و مدت زمان یک دقیقه تنظیم و فعالیت این آنزیم نیز بررسی گردید (Ghamsari *et al.*, 2007). اندازه‌گیری آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از دستگاه اسپکتروفتومتر (Safas Monaco (RS 232)) استفاده شد و فعالیت این آنزیم درطول موج ۵۶۰ نانومتر قرائت گردید (Zang *et al.*, 2013).

داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ آنالیز و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

تعداد میوه و عملکرد بوته: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، سطوح آبیاری و تیمارهای مختلف محلول‌پاشی ال- سیستئین و لاکتات کلسیم بر صفات تعداد میوه و عملکرد بوته تاثیر معنی‌داری داشت. اعمال تنش کم-آبیاری، تعداد میوه و عملکرد بوته را کاهش داد. کاربرد اسید آمینه سیستئین و لاکتات کلسیم منجر به افزایش تعداد میوه و در نتیجه عملکرد بوته شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بیشترین تعداد میوه (۱۵/۶ و ۱۵/۳ عدد)، به‌ترتیب با کاربرد برگی لاکتات کلسیم دو گرم در لیتر و سیستئین ۰/۵ درصد تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد (شکل 1A). همچنین بیشترین عملکرد میوه در بوته (۲/۵۱ و ۲/۴۶ کیلوگرم) در گیاهان محلول‌پاشی شده با لاکتات کلسیم دو گرم در لیتر و سیستئین ۰/۵ درصد در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد حاصل شد (شکل 1B).

محققان گزارش کردند که در اثر تنش کم‌آبیاری، تعداد میوه و عملکرد در گیاهان خربزه (Barzegar *et al.*, 2018b) و خیار (Ghahremani *et al.*, 2021) کاهش یافت که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. محدودیت عرضه آب برای گیاه با محدودیت رشد برگ و افزایش مقاومت روزنه‌ها در برابر تبادلات گازی با کاهش جریان آب و تغذیه معدنی از ریشه‌ها همراه است که بر جذب خالص تأثیر می‌گذارد و درنتیجه

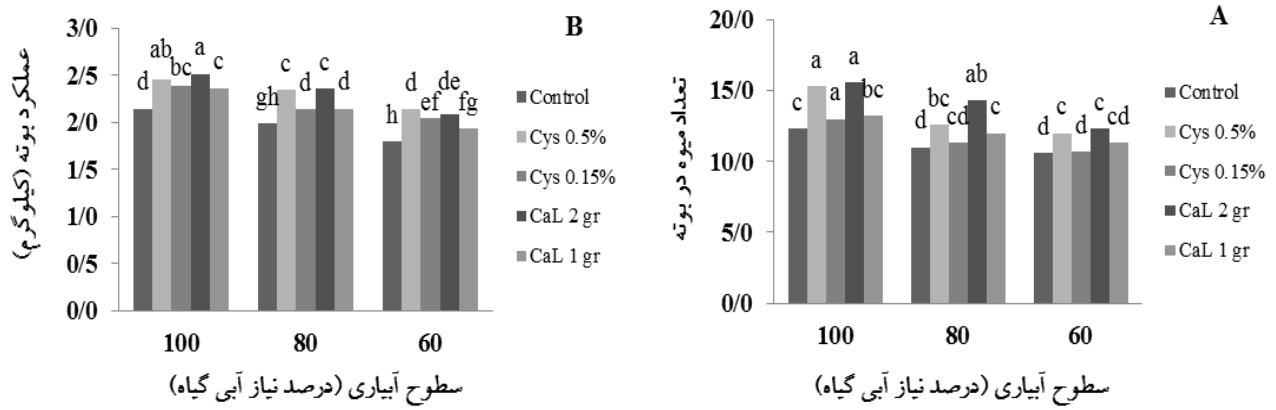
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.9.7]

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی لاکتات کلسیم و ال- سیستئین بر صفات کمی و کیفی میوه بادمجان تحت تنش کم‌آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد بوته	تعداد میوه در بوته	نشت یونی میوه	ویتامین ث	کلروفیل کاسبرگ	مواد جامد محلول
بلوک	۲	۰/۰۲۶۷	۱/۶۲۲۲	۸/۰۵	۲/۷۶	۰/۰۰۰۰۱۰۲۹	۰/۰۷
آبیاری	۲	۰/۳۲۰۳**	۵/۶۸۸۸*	۷۷۸۴/۴**	۱۶۹۲/۰۱**	۰/۰۰۰۱۴۲۴۹**	۳/۶**
خطای کرت اصلی	۴	۰/۰۱۵۰	۰/۹۵۵۵	۳/۴	۲/۲۶	۰/۰۰۰۰۰۱۱۶	۰/۰۰۷
محلول‌پاشی	۴	۰/۰۵۲۶**	۹/۷۵۵۵*	۵۱۸/۷**	۱۲۶/۸**	۰/۰۰۰۰۵۹۳۷**	۰/۵۲**
آبیاری × محلول‌پاشی	۸	۰/۱۰۱۶**	۶/۹۳۸۸*	۲۱۸/۲**	۱۸/۶**	۰/۰۰۰۰۳۳۴۳**	۰/۰۷۷*
خطای کرت فرعی	۲۴	۰/۰۰۶۱	۲/۸۴۴۴	۳۶۷/۹	۳۱/۷	۰/۰۰۰۰۰۲۷۳	۰/۶۴
ضریب تغییرات	-	۳/۵	۱۳/۵	۶/۲	۴/۶	۸/۷	۴/۷

ns ,*و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

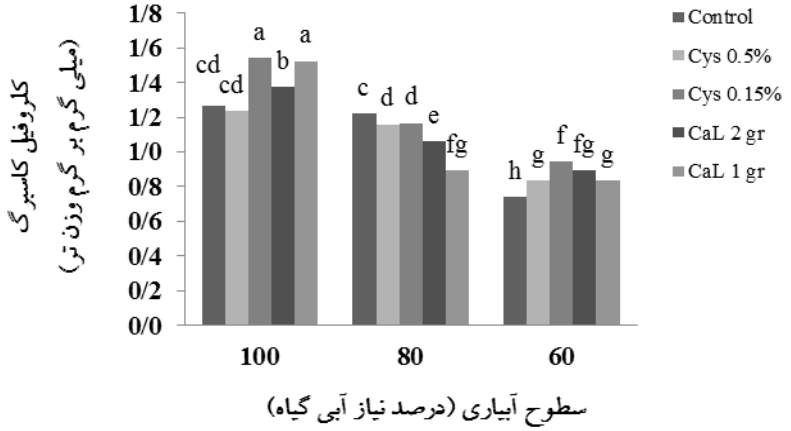


شکل ۱- اثر محلول‌پاشی اسید آمینه سیستئین و لاکتات کلسیم بر تعداد میوه (A) و عملکرد بوته (B) میوه بادمجان تحت سطوح مختلف آبیاری. در هر ستون میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند.

تولید و تخصیص کربوهیدرات‌ها به قسمت‌های مختلف گیاه از جمله میوه‌ها را کاهش می‌دهد (Rouphael *et al*., 2008). هنگام تنش خشکی، گیاهان با کاهش تعداد برگ و تجمع اتیلن، راهی برای کاهش تعرق و رسیدگی زود هنگام فراهم می‌کنند (تقدسی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۹). به‌طورکلی، کاربرد اسیدهای آمینه ارتباط بالایی با فرآیندهای متابولیکی مختلف در سلول‌ها دارد که باعث رشد و عملکرد گیاهان مختلف می‌شود. اثر افزایشی اسید آمینه سیستئین بر عملکرد گیاه را می‌توان به سنتز گلوتاتیون از سیستئین نسبت داد (Nasibi *et al*., 2016).

کلروفیل کاسبرگ میوه: با توجه به نتایج (جدول ۳ و شکل ۲)، کلروفیل کاسبرگ میوه با کاربرد تیمارهای سیستئین و لاکتات کلسیم در شرایط آبیاری نرمال و تنش آبیاری افزایش معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد نشان داد. بیشترین مقدار کلروفیل کاسبرگ (۱/۵۴ و ۱/۵۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در میوه گیاهان تیمار شده با سیستئین ۰/۱۵ درصد و لاکتات کلسیم یک گرم در لیتر تحت آبیاری ۱۰۰ درصد حاصل شد. تغییر رنگ کاسبرگ‌ها در میوه بادمجان بخشی از فرآیند طبیعی میوه به شمار می‌رود (Shi *et al*., 2018). یکی از دلایل کاهش کلروفیل در شرایط تنش می‌تواند افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل از جمله کلروفیلاز باشد که تحت شرایط تنش بیان ژن‌های این آنزیم القا می‌شوند (Dodd *et al*., 2005). آنزیم لیگاز گلوتامات نیز برای تبدیل گلوتامات به پرولین در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.9.7]



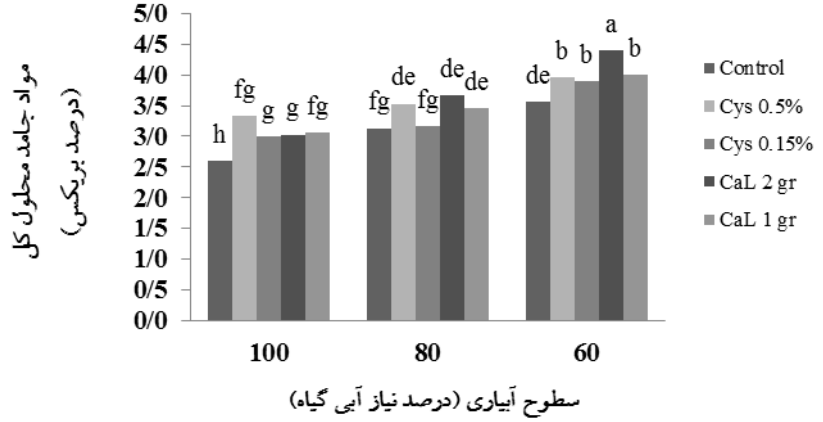
شکل ۲- اثر محلول پاشی اسید آمینه سیستئین و لاکتات کلسیم بر محتوای کلروفیل کاسبرگ میوه بادمجان تحت سطوح مختلف آبیاری. در هر ستون میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند.

شرایط تنش القا می‌شود، گلوتامات پیش‌ساز کلروفیل می‌باشد که در شرایط تنش می‌تواند یکی از دلایل کاهش کلروفیل باشد (Bybordi *et al*., 2012). در دماهای بالا، تخریب پروتئین ها، محتوای کلروفیل و پایداری غشا و افزایش نشت الکترولیت منجر به کاهش حداکثر بازده فتوشیمیایی فتوسیستم II (PSII) در گیاهان گوجه‌فرنگی حساس به حرارت می‌شود (Bhattarai *et al*., 2021). کلروفیل به‌طور گسترده به‌عنوان تنظیم کننده مستقیم ظرفیت فتوسنتزی در برگ گیاه در نظر گرفته می‌شود، زمانی که کاسبرگ به اندازه کافی رشد کرد نشان می‌دهد که فعالیت فتوسنتزی بلافاصله پس از گرده‌افشانی افزایش می‌یابد تا پیش‌ساز رشد فراهم شود و در نهایت با رشد قابل توجه کاهش می‌یابد (Fatima *et al*., 2021). اثر تحریکی سیستئین (اسیدآمینه گوگرددار) در افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی ممکن است به این دلیل باشد که کلروپلاست منبع اصلی سولفید از طریق احیاء سولفات در مسیر آسمیلاسیون گوگرد است (El-Awadi *et al*. 2016). افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی با کاربرد سیستئین در گیاه باقلا گزارش شده است (El-Awadi *et al*. 2016).

مواد جامد محلول: همانطور که نتایج نشان می‌دهد تیمار تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری محتوای مواد جامد محلول میوه را افزایش داد و بین تیمارهای محلول‌پاشی تفاوت معنی-داری مشاهده شد (جدول ۳ و شکل ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بیشترین مقدار مواد جامد محلول در میوه‌های تیمار شده با لاکتات کلسیم دو گرم در لیتر تحت شرایط آبیاری ۶۰ درصد حاصل شد و بعد در سطوح لاکتات کلسیم یک گرم در لیتر و سیستئین ۰/۵ و ۰/۱۵ درصد مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند (شکل ۳). مقادیر مواد جامد محلول به‌عنوان درصدی از وزن تر، ارتباط بسیار نزدیکی با مقادیر قند کل نشان می‌دهد و به‌عنوان یک مشخصه‌ی کیفی مهم در نظر گرفته می‌شود (Keshavarzpour and Rashidi, 2011).

تجمع مواد جامد محلول در سلول و کاهش میزان آب ذخیره شده در میوه به‌دلیل تولید هورمون آبسزیک اسید و غلبه بر کاهش پتانسیل اسمزی در شرایط تنش می‌باشد (تقدسی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۹). تفاوت در محتوای مواد جامد محلول در زمان برداشت نشان‌دهنده اثر لاکتات کلسیم بر تجمع کربوهیدرات در میوه‌ها است که تاثیر بالقوه متفاوتی بر میزان تنفس و درنتیجه قابلیت نگهداری میوه‌ها دارد (Barzegar *et al*., 2018a). Barbagallo و همکاران (۲۰۱۳) گزارش نمودند که تحت شرایط کم‌آبی، میزان عملکرد میوه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicon* cv. Brigade) کاهش یافت درحالی-که محتوای مواد جامد محلول میوه افزایش داشت. با افزایش شدت تنش، اندازه میوه کاهش یافت که این امر می‌تواند منجر به افزایش محتوای ماده خشک در میوه‌ها شود و درنتیجه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.9.7]



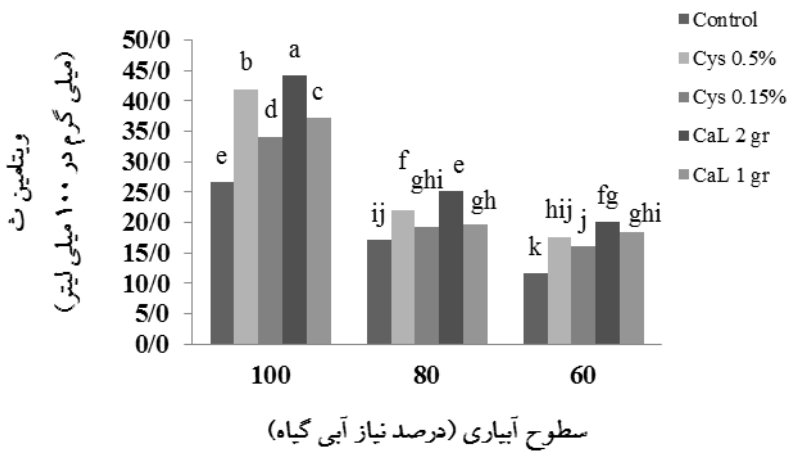
شکل ۳- اثر محلول پاشی اسید آمینه سیستئین و لاکتات کلسیم بر مقدار مواد جامد محلول کل میوه بادمجان تحت سطوح مختلف آبیاری. در هر ستون میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند.

افزایش غلظت قند و محتوای مواد جامد محلول میوه بهبود یابد. با اعمال تنش کم‌آبیاری در خربزه (*Cucumis melo* cv.Khatooni) میزان مواد جامد محلول افزایش نشان داد (Barzegar *et al*., 2018b).

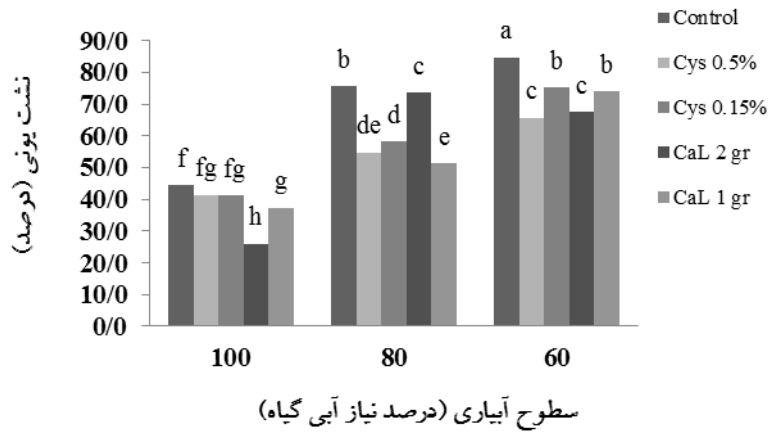
ویتامین ث: بر اساس جدول تجزیه واریانس، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین اثرات ساده آبیاری، تیمارهای محلول‌پاشی و اثر متقابل محلول‌پاشی در آبیاری در صفت ویتامین ث مشاهده شد (جدول۳). همانطور که نتایج نشان می‌دهد تنش کم‌آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار مقدار ویتامین ث میوه شد و کاربرد لاکتات کلسیم و سیستئین در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبیاری تاثیر مثبت بر محتوای ویتامین ث داشت (شکل ۴). با توجه به نتایج، بیشترین مقدار ویتامین‌ث (۴۴/۱ و ۴۱/۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) به‌ترتیب در میوه‌های تیماره شده با لاکتات کلسیم دو گرم در لیتر و سیستئین ۰/۵ درصد تحت آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد (شکل ۴). سطح ویتامین ث در سبزیجات به عوامل متعددی از جمله رقم، تغذیه گیاه، مراحل رشد و بلوغ بستگی دارد (Antonio *et al*., 2007). ویتامین‌ث از اسیدهای آلی به شمار می‌رود و تحقیقات نشان داده‌اند که ویتامین‌ث نقش مهمی در رشد و نمو و متابولیسم دارد، به‌دلیل دمای بالای ایجاد شده ناشی از تنش‌کم‌آبی، تنفس افزایش یافته به‌عنوان سوبسترا در پدیده تنفسی شرکت می‌کنند که باعث کاهش ویتامین‌ث در تنش کم‌آبیاری می‌شود (Mahendran *et al*., 2000). محلول‌پاشی لاکتات‌کلسیم بر روی گیاه کلم نشان داد که کاربرد این ماده باعث حفظ ویتامین‌ث و عدم کاهش آن شده است (Shan *et al*., 2011). کاربرد لاکتات کلسیم، محتوای ویتامین‌ث را در میوه فلفل بهبود بخشید که این نتایج با نتایج به‌دست آمده در گیاه بادمجان نیز مطابقت داشت (Michalojc *et al*., 2012). طبق آزمایشات به‌دست آمده میزان ویتامین ث در فلفل با تیمار محلول پاشی لاکتات کلسیم افزایش یافت (Barzegar *et al*., 2018a). افزایش محتوای ویتامین ث در اثر کاربرد کلسیم را می‌توان به نقش بازدارندگی کلسیم بر فعالیت آنزیم‌های اکسید کننده مانند اسید آسکوربیک اکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز نسبت داد که آسکوربات را به‌عنوان سوبسترا مصرف می‌کنند (Singh and Joshi, 2005).

نشت یونی میوه: نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبیاری باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در میزان نشت یونی شد و کاربرد برگی لاکتات کلسیم و سیستئین اثرات منفی تنش را کاهش دادند. حداکثر نشت یونی در میوه‌های حاصل از گیاهان محلول‌پاشی نشده تحت تیمار تنش کم‌آبیاری ۶۰ درصد مشاهده شد (جدول ۳ و شکل ۵). غشاء سلولی از اولین بخش‌های سلولی است که توسط تنش‌های محیطی (تنش خشکی) آسیب می‌بینند. حفظ و ثبات غشای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.9.7]



شکل ۴- اثر محلول پاشی اسید آمینه سیستئین و لاکتات کلسیم بر محتوای ویتامین ث میوه بادمجان تحت سطوح مختلف آبیاری. در هر ستون میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند.



شکل ۵- اثر محلول پاشی اسید آمینه سیستئین و لاکتات کلسیم بر میزان نشت یونی میوه بادمجان تحت سطوح مختلف آبیاری. در هر ستون میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند.

سلولی تحت شرایط تنش کم‌آبی یکی از اجزای مهم تحمل به خشکی در گیاهان است (Ahmadizadeh *et al*., 2011). زمانی که محتوای آب در اندام‌های گیاه در شرایط تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد، میزان آسیب وارد شده به غشاء هم افزایش می‌یابد که سبب افزایش تراوایی و نشت یونی از سلول و مرگ آن می‌شود (Apel and Hirt, 2004). تنش خشکی اختلال در فعالیت‌های غشای سلول را ایجاد می‌کند و به دنبال آن، شاخص‌های پایداری غشای سلول در گیاهان کاهش می‌یابد که باعث نشت یونی از داخل سلول به بیرون آن می‌شود. تنش کم‌آبی با القای تنش اکسیداتیو و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن سبب پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشاء سلول‌ها شده و نفوذپذیری غشاء و نشت یونی را افزایش می‌دهد (Guo *et al*., 2006). تنش کم‌آبی موجب افزایش نشت یونی و کاهش پایداری غشاء می‌شود (حسینی و همکاران، ۱۳۹۹). اسیدهای آمینه مانند سیستئین با جاروب کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن که در شرایط تنش طی فرآیند تنفس یا فتوسنتز تولید می‌شوند بافت‌های گیاهی را محافظت می‌کنند (Sadak *et al*., 2019).

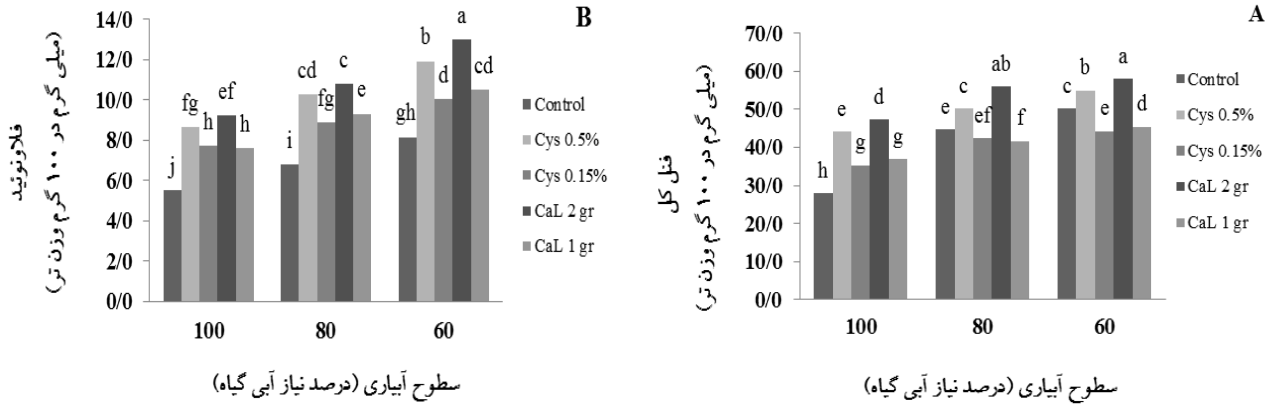
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.9.7]

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای محلول‌پاشی و تیمار آبیاری بر صفات کیفی و عملکردی میوه بادمجان

منابع تغییرات	درجه آزادی	فنل کل میوه	فلاونوئید	کاتالاز	پرکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی
بلوک	۲	۴/۳۸	۰/۰۳۸	۰/۰۰۶	۰/۰۲	۰/۰۰۲	۱/۷۷
آبیاری	۲	۶/۳۴**	۳۲/۶**	۶۶/۱**	۲۷/۸**	۰/۴۲۷**	۱۸۴۸/۱**
خطای کرت اصلی	۴	۲/۹	۰/۰۶۳	۰/۳۳	۰/۰۱۱	۰/۰۰۳	۴/۳۴
محلول پاشی	۴	۳۲۳/۴**	۲۲/۳**	۱۹/۸**	۶/۶**	۰/۴۸۹**	۲۳۳/۷**
آبیاری × محلول‌پاشی	۸	۲۷/۴**	۰/۲۹*	۷/۲۲**	۲/۶**	۰/۰۱۷*	۳۸/۴**
خطای کرت فرعی	۲۴	۳۱/۰۴	۲/۹۲	۵/۰۱	۳/۶۴	۰/۰۹۶	۱۰۱/۳
ضریب تغییرات	-	۲/۵	۳/۷	۱۳/۱	۱۱/۳	۶/۲	۵/۵

ns,*و ** به ترتیب عدم معنی داری و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

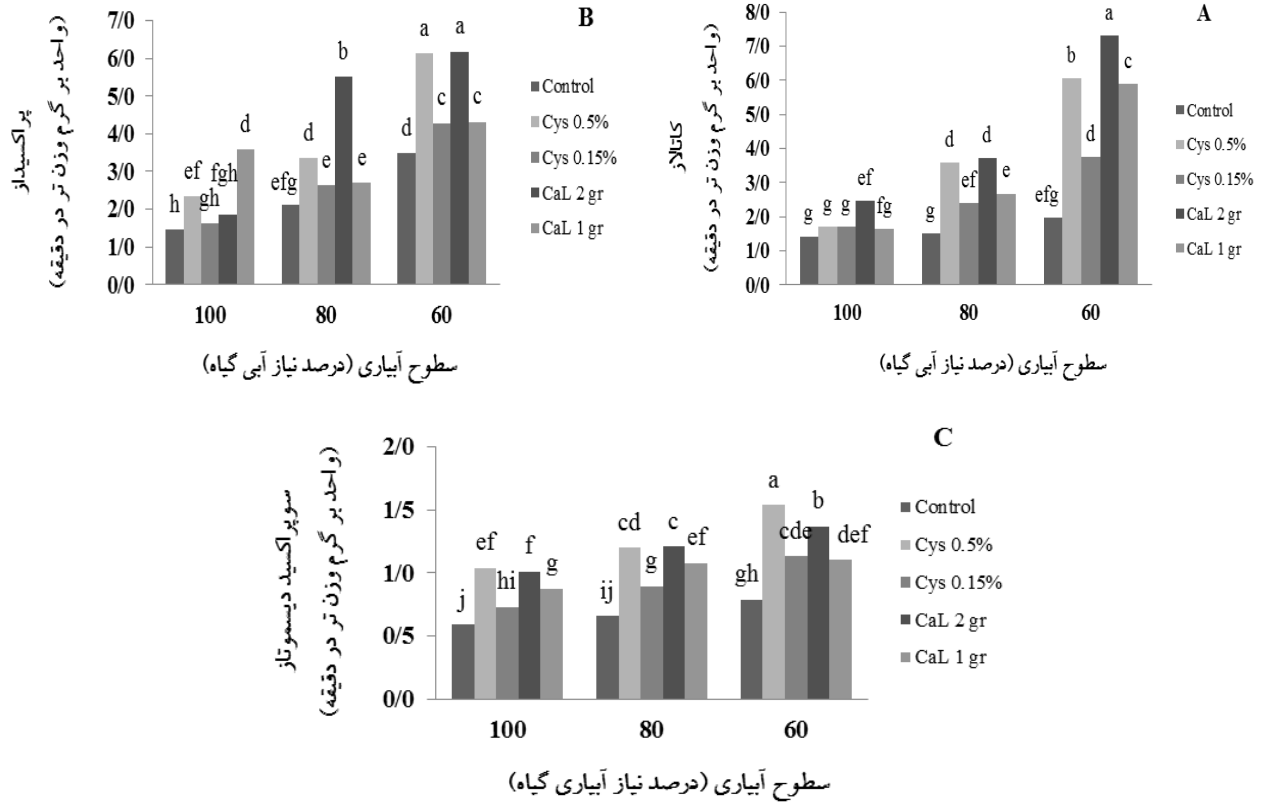


شکل ۶- اثر محلول پاشی اسید آمینه سیستئین و لاکتات کلسیم بر مقدار فنل (A) و فلاونوئید (B) میوه بادمجان تحت سطوح مختلف آبیاری. در هر ستون میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند.

محتوای فنل و فلاونوئید کل: نتایج به‌دست آمده نشان داد با افزایش شدت تنش کم‌آبیاری و کاربرد تیمارهای سیستئین و لاکتات کلسیم، محتوای فنل کل و فلاونوئید بادمجان به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴ و شکل ۶). با توجه به نتایج، بیشترین مقدار فنل (۵۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) و فلاونوئید (۱۲/۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) در شرایط تنش کم‌آبیاری ۶۰ درصد با محلول‌پاشی لاکتات کلسیم دو گرم در لیتر به‌دست آمد که مقدار فنل با سطح یک گرم در لیتر لاکتات کلسیم در تیمار کم‌آبیاری ۶۰ درصد تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کمترین مقدار فنل و فلاونوئید در گیاهان شاهد محلول‌پاشی نشده تحت آبیاری ۱۰۰ درصد مشاهده شد (شکل B و 6A). ترکیبات فنلی در گیاهان از طریق مسیرهای شیکمات- فنیل پروپانوئید انجام می‌شود و کلسیم ممکن است با افزایش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز یکی از مهمترین آنزیم‌ها در مسیر تولید فنیل پروپانوئیدها، تجمع فنل ها و فلاونوئیدها را تحریک کند. (Aghdam *et al.*, 2013). Barzegar و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که کاربرد برگی کلسیم، محتوای فنل و فلاونوئید میوه فلفل دلمه‌ای را افزایش داد.

فعالیت آنزیم کاتالاز، پرکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز: مطالعه نتایج مقایسه میانگین داده‌های مربوط به آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز نشان دهنده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.9.7]



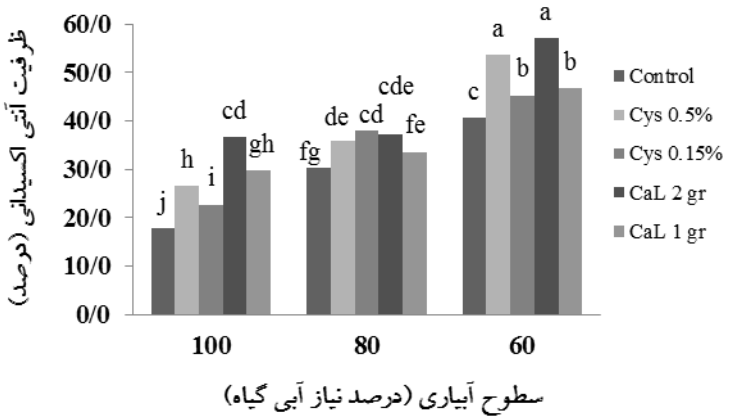
شکل ۷- اثر محلول پاشی اسید آمینه سیستئین و لاکتات کلسیم بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (A)، پراکسیداز (B) و سوپراکسید دیسموتاز (C) میوه بادمجان تحت تیمارهای مختلف آبیاری. در هر ستون میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند.

اختلاف معنی‌دار بین تیمارها بود (جدول ۴)، به‌طوری‌که بررسی داده‌ها نشان داد بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۷/۱ واحد بر گرم وزن تر در دقیقه) در تیمار لاکتات کلسیم دو گرم در لیتر و پراکسیداز (۶/۱۸ و ۶/۱۳ واحد در گرم وزن تر در دقیقه) به‌ترتیب در تیمارهای لاکتات کلسیم دو گرم در لیتر و سیستئین ۰/۵ درصد و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۱/۵۴ واحد در گرم وزن تر در دقیقه) تحت کم‌آبیاری ۶۰ درصد مشاهده شد. کمترین فعالیت آنزیم‌ها در گیاهان شاهد محلول-پاشی نشده مشاهده شد (شکل A، B و C ۷). اعمال تنش کم-آبیاری منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گردید که نتایج حاصل با نتایج پژوهش‌های پیشین همخوانی داشت که گزارش کردند با اعمال تنش خشکی، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در خیار (Ghahremani *et al.*, 2021) و کاهو (Khani *et al.*, 2020) افزایش یافت.

گیاهان برای کاهش دادن تأثیر زیانبار گونه‌های فعال اکسیژن، سازوکارهای متفاوتی دارند که از جمله آنها می‌توان به سامانه دفاع آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی اشاره کرد که پراکسیدازها و کاتالاز از مهمترین آنزیم‌های از بین‌برنده پراکسید هیدروژن به شمار می‌آیند (Shen *et al.*, 2010). از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، پرکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز می‌باشند که می‌توانند رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولید شده در شرایط تنش را از بین ببرند. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از غشاءها در مقابل اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن که تحت شرایط تنش‌های غیر زنده تولید می‌شوند محافظت نموده و سبب مقاومت و پایداری گیاهان می‌شوند (Tan *et al.*, 2006).

آنزیم پراکسیداز نقش مهمی در سمزدایی پراکسید هیدروژن و حذف مالون‌دی‌آلدهید که منجر به پراکسیداسیون لیپیدی غشاء می‌شود را دارد و نیز ثبات دیوارهٔ سلولی را حفظ

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.9.7]



شکل ۸- اثر محلول پاشی اسید آمینه سیستئین و لاکتات کلسیم برظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه بادمجان تحت تیمارهای مختلف آبیاری. در هر ستون میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند

می‌کند (Hojati *et al*., 2011). نقش مفید سیستئین در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را می‌توان به محصول آن مانند گلوتاتیون که دارای فعالیت آنتی اکسیدانی است نسبت داد. Nasibi و همکاران (۲۰۱۶) گزارش دادند که تیمار سیستئین با کاهش محتوای H2O2 و مالون‌دی‌آلدهید از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مختلف مانند کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز، اثرات کاهشی تنش شوری روی گیاه گندم را بهبود بخشید.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH) برگ: ظرفیت آنتی-اکسیدانی میوه به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری قرار گرفت به‌طوری‌که با اعمال تنش کم‌آبیاری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت (جدول ۴ و شکل ۸). کاربرد برگی لاکتات کلسیم و اسیدآمینه سیستئین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه بادمجان را افزایش داد. بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه (۵۷/۰۴ و ۵۳/۷ درصد) به‌ترتیب با اعمال تیمارهای ۲ گرم در لیتر لاکتات کلسیم و ۰/۵ درصد سیستئین تحت تیمار کم‌آبیاری ۶۰ درصد حاصل شد که اختلاف معنی‌داری بین این دو تیمار محلول‌پاشی مشاهده نشد (شکل ۸). نتایج این آزمایش با نتایج Khani و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی داشت که بیان داشتند کاربرد لاکتات کلسیم و تنش کم‌آبیاری فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاهو را افزایش داد. همبستگی بالایی بین محتوای فنل‌کل، فلاونوئید، ویتامین‌ث و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در بسیاری از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (Farhoudi *et al*., 2017; Castro-Concha *et al*., 2014). اسید آمینه سیستئین و کلسیم با بهبود محتوای این ترکیبات و فعالیت آنزیم‌ها، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی افزایش دادند. بادمجان به‌ویژه سرشار از ترکیبات آنتی اکسیدانی مانند کاروتنوئیدها، فنل‌ها و فلاونوئیدها هستند (Concellon *et al*., 2012). با توجه به نقش ترکیبات فنلی در کاهش و یا مهار اکسیداسیون لیپیدها، جاروب کردن رادیکال‌های آزاد، خاموش نمودن اکسیژن یکتایی یا تجزیه پراکسیدها، این ترکیبات به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان ضروری برای حفاظت علیه تکثیر و پیشروی زنجیره اکسیداتیو و دفاع علیه گونه‌های فعال اکسیژن عمل می‌نمایند (Ksouri *et al*., 2007).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش بیانگر آن است که کاهش آب مصرفی باعث بروز تنش در گیاهان شد. به‌طوری‌که شاخص‌های رشدی و عملکرد گیاه تحت تاثیر قرار گرفت و تنش کم‌آبیاری موجب افزایش محتوای ترکیبات فنلی، مواد جامد محلول، درصد نشت یونی و کاهش طول بوته، تعداد میوه و عملکرد بوته شد. همانطور که نتایج نشان داد میزان عملکرد در گیاهان محلول-پاشی شده با سیستئین ۰/۵ درصد و لاکتات‌کلسیم ۲ گرم در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.9.7]

لیتر تحت شرایط آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه معادل گیاهان شاهد آبیاری شده با ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود و اختلاف معنی-داری باهم نداشتند. کاربرد لاکتات کلسیم و سیستئین در هر سه سطح آبیاری میزان کلروفیل کاسبرگ، ویتامین ث، مواد جامد محلول و ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه را افزایش دادند. با توجه به نتایج، کاربرد لاکتات‌کلسیم ۲ گرم در لیتر و سیستئین ۰/۵ درصد با تولید مقدار محصول مشابه در شرایط تنش کم‌آبیاری ۶۰ درصد در مقایسه با گیاهان شاهد تیمار نشده تحت آبیاری ۱۰۰ درصد، باعث ۴۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب شد، لذا با توجه به بحران کم‌آبی کنونی، کاربرد لاکتات‌کلسیم ۲ گرم در لیتر و یا سیستئین ۰/۵ درصد در جهت تعدیل اثرات مضر تنش کم‌آبی و بهبود عملکرد و کیفیت میوه بادمجان پیشنهاد می‌شود.

منابع

پرخیده، ج.، برزگر، ط.، نکونام، ف. و نیکبخت، ج. (۱۳۹۷) بررسی رشد، عملکرد و پاسخ های فیزیولوژیکی هندوانه ابوجهل تحت شرایط تنش کم آبیاری. به زراعی کشاورزی ۲۰: ۳۶۹-۳۵۷.

تقدسی نیا، ف.، قهرمانی، ز.، برزگر، ط. و اعلایی، م. (۱۳۹۹) اثر کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشدی دو توده خربزه ایرانی بر رشد، عملکرد، کیفیت میوه و کارایی مصرف آب. علوم باغبانی ایران ۵۱: ۵۰۳-۵۱۵.

حسینی، ز.، برزگر، ط.، قهرمانی، ز. و نیکبخت، ج. (۱۳۹۹) پاسخ های فیزیولوژیکی گیاه لوبیاسبز (*Phaseolus vulgaris* L.) به محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و ماده زیست محرک مگافول تحت تنش کم آبیاری. تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۱۳: ۸۴۵-۸۵۵.

خانی، آ.، برزگر، ط.، نیکبخت، ج. و قهرمانی، ز. (۱۳۹۸) اثر محلول پاشی لاکتات کلسیم بر خصوصیات فیزیولوژیکی، فعالیت آنتی-اکسیدانی و عملکرد کاهو (*Lactuca sativa* L.) تحت شرایط کم آبیاری. علوم باغبانی ایران ۵۰: ۶۴۹-۶۶۵.

راحمی، م. (۱۳۸۴) فیزیولوژی پس از برداشت: مقدمه‌ای بر فیزیولوژی و جابجایی میوه، سبزی‌ها و گیاهان زینتی (ترجمه)، انتشارات دانشگاه شیراز، شیراز.

طباطبایی، ج. (۱۳۹۳) اصول تغذیه معدنی گیاهان. انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز.

مستوفی، ی. و نجفی، ف. (۱۳۸۴) روش‌های آزمایشگاهی تجزیه‌ای در علوم باغبانی. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

وزیری، ژ.، سالمت، ع.، انصاری، م.، مسچی، م.، حیدری، ن. و دهقانی سانیچ، ح. (۱۳۸۷) تبخیر- تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان) (ترجمه). انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، چاپ اول، تهران.

Aghdam, M. S., Dokhanieh, A. Y., Hassanpour, H. and Rezapour Fard, J. (2013) Enhancement of antioxidant capacity of cornelian cherry (*Cornus mas*) fruit by postharvest calcium treatment. Scientia Horticulture 161: 160-164.

Ahmadizadeh, M., Valizadeh, M., Zaefizadeh, M. and Shahbazi, H. (2011). Antioxidative protection and electrolyte leakage in durum wheat under drought stress condition. Journal of Applied Sciences Research 7: 236-246.

Aldulaimy, S. E. H., Salman, A. K., Abood, M. A. and Hamdi, G. J. (2019) Influence of moisture depletion and surface drip irrigation style on some soil hydraulic properties and potato crop. Agraarteadus 30: 63-68.

Antonio, J. P., Francisco, M. A., Ana, S. M., Marıa, I. F. and Estrella, D. (2007) Influence of agricultural practices on the quality of sweet pepper fruits as affected by the maturitystage. Journal of the Science of Food and Agriculture 87: 2075-2080.

Apel, K. and Hirt, H. (2004) Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Plant Biology 55: 373-399.

Arnon, A. N. (1967) Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23:112- 121.

Barbagallo, R. N., Di Silvestro, I. and Patanè, C. (2013) Yield, physicochemical traits, antioxidant pattern, polyphenol oxidase activity and total visual quality of field-grown processing tomato cv. Brigade as affected by water stress in Mediterranean climate. Journal of the Science of Food and Agriculture 93: 1449-1457.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.9.7]

Barzegar, T., Moradi, P., Nikbakht, J. and Ghahremani, Z. (2016) Physiological response of okra cv. Kano to foliar application of putrescine and humic acid under water deficit stress. International Journal of Horticultural Science and Technology 3: 187-197.

Barzegar, T., Fateh, M. and Razavi, F. (2018a) Enhancement of postharvest sensory quality and antioxidant capacity of sweet pepper fruits by foliar applying calcium lactate and ascorbic acid. Scientia Horticulturae 241: 293-303.

Barzegar, T., Heidaryan, N., Lotfi, H. and Ghahremani, Z. (2018b) Yield, fruit quality and physiological responses of melon cv. Khatooni under deficit irrigation. Advances in Horticultural Science 32: 451-458.

Ben Hamed, K., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A. and Abdelly, C. (2007) Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. Plants Growth Regulation 53: 185-194.

Bhattarai, S., Harvey, J. T., Djidonou, D. and Leskovar, D. I. (2021) Exploring morpho-physiological variation for heat stress tolerance in tomato. Plants 10: 347.

Brenes, M., Solana, A., Boscaiu, M., Fita, A., Vicente, O., Calatayud, A. and Plazas, M. (2020) Physiological and biochemical responses to salt stress in cultivated eggplant (*Solanum melongena* L.) and in S. *insanum* L., a close wild relative. Agronomy 10: 1-19.

Bybordi, A. (2012) Study effect of salinity on some physiologic and morphologic properties of two grape cultivars. Life Science Journal 9: 1092-1101.

Castro-Concha, L. A., Tuyub-Che, J., Moo-Mukul, A., Vazquez-Flota, F. A. and Miranda-Ham, M. L. (2014) Antioxidant capacity and total phenolic content in fruit tissues from accessions of *Capsicum chinense* Jacq. (*Habanero pepper*) at different stages of ripening. The Scientific World Journal 2014: 1-5.

Concellon, A., Zaro, M. J., Chaves, A. R. and Vicente, A. R. (2012) Changes in quality and phenolic antioxidants in dark purple American eggplant (*Solanum melongena* L. cv. Lucia) as affected by storage at 0℃ and 10℃. Postharvest Biology and Technology 66: 35-41.

Cousson, A. (2009) Involvement of phospholipase C-independent calcium-mediated abscisic acid signaling during Arabidopsis response to drought. Biologia plantarum 53: 53-62.

Dehghan, G. and Khoshkam, Z. (2012) Tin (II)-quercetin complex synthesis, spectral characterization and antioxidant activity. Food Chemmistery 131: 422-427.

Dodd, A. N., Salathia, N., Hall, A., Kévei, E., Tóth, R., Nagy, F., Hibberd, J. M., Millar, A. J. and Webb, A. A. R. (2005) Plant circadian clocks increase photosynthesis, growth, survival, and competitive advantage. Science 309: 630-633.

Dong, C. X., Zhou, J. M., Fan, X. H., Wang, H. Y., Duan, Z. Q. and Tang, C. (2004) Application methods of calcium supplements affect nutrient levels and calcium forms in mature tomato fruits. Journal of Plant Nutrition 27:1443-1455.

El-Awadi, M. E., Ibrahim, S. K., Sadak, M. S., Abd Elhamid, E. M. and Gamal El-Din, K. M. (2016) Impact of cysteine or proline on growth, some biochemical attributes and yield of faba bean. International Journal of PharmTech Research 9: 100-106.

FAO (2019) FAOSTAT. database. Available online at: http://Faostat.Fao.org.

Farhoudi, R., Mehrnia, M. A. and Lee, D. J. (2017) Antioxidant activities and bioactive compounds of five Jalopeno pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. Natural Product Research 6: 1-4.

Fatima, M., Ma, X., Zhou, P., Zaynab, M. and Ming, R. (2021) Auxin regulated metabolic changes underlying sepal retention and development after pollination in spinach. BMC plant biology 21: 1-15.

Feng, Y. Zhao, Y. Li, Y. Zhou, J. and Shi, H. 2021. Improving drought tolerance in tobacco by application of salicylic acid. Research Square 1: 1-20.

Ghahremani, Z., Mikaealzadeh, M., Barzegar, T. and Ranjbar, M. E. (2021) Foliar application of ascorbic acid and gamma aminobutyric acid can improve important properties of deficit irrigated cucumber plants (*Cucumis sativus cv.* Us). Gesunde Pflanzen 73: 77-84.

Ghamsari, L., Keyhani, E. and Golkhoo, S. (2007) Kinetics properties of guaiacol peroxidase activity in (*Crocus sativus* L.) corm during rooting. Iranian Biomedical Journal 11: 137-146.

Guo, Z., Ou, W., Lu, S. and Zhong, Q. (2006) Deferential response of antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity. Plant Physiology and Biochemistry 44: 828-836.

Hojati, M., Modarres-Sanavy, S. A. M., Karimi, M. and Ghanati, F. (2011) Responses of growth and antioxidant systems in (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficit stress. Acta Physiologiae Plantarum 33: 105-112.

Kaijv, M., Sheng, L. and Chao, C. (2006) Antioxidation of flavonoids of green rhizome. Journal Food Science 27:110-115.

Keshavarzpour, F. and Rashidi, M. (2011) Response of crop yield and yield components of cantaloupe to drought stress. Washington Academy of Sience Journal 3: 382-385.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.9.7]

Khan, S., Yu, H., Li, Q., Gao, Y., Sallam, B. N., Wang, H., Liu, P. and Jiang, W. (2019) Exogenous application of amino acids improves the growth and yield of lettuce by enhancing photosynthetic assimilation and nutrient availability. Agronomy 9: 1-17.

Khani, A., Barzegar, T., Nikbakht, J. and Ghahremani, Z. (2020) Effect of foliar spray of calcium lactate on the growth, yield and biochemical attribute of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under water deficit stress. Advances in Horticultural Science 34: 11-24.

Ksouri, R., Megdiche, W., Debez, A., Falleh, H., Grignon, C. and Abdelly, C. (2007) Salinity effects on polyphenol content and antioxidant activities in leaves of the halophyte Cakile maritima. Plant Physiology and Biochemistry 45: 244-249.

Kurtyka, R., Małkowski, E., Kita, A. and Karcz, W. (2008) Effect of calcium and cadmium on growth and accumulation of cadmium, calcium, potassium and sodium in maize seedlings. Polish Journal of Environmental Studies 17: 51-56.

Mahendran, S. and Bandara, D. C. (2000) Effects of soil moisture stress at different growth stages on vitamin C, capsaicin, and b-carotene contents of chili (*Capsicum annum* L.) fruits and their impact on yield. Tropical Agricultural Research 12: 95-106.

Maloney, G. S., Kochevenko, A., Tieman, D. M., Krieger, T. U., Zamir, D., Taylor, M. G., Fernie, A. R. and Klee, H. J. (2010) Characterization of the branched- chain amino acid aminotransferase enzyme family in tomato. Plant Physiology 153: 925-936.

Michalojc, Z. and Dzida, K. (2012) Yielding and biological value of sweet pepper fruits depending on foliar feeding using calcium. Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus 11: 255-264.

Nasibi, F., Kalantari, K. M., Zanganeh, R., Mohammadinejad, G. and Oloumi, H. (2016) Seed priming with cysteine modulates the growth and metabolic activity of wheat plants under salinity and osmotic stresses at early stages of growth. Indian Journal of Plant Physiology 21: 279-286.

Rouphael, Y., Cardarelli, M., Colla, G. and Rea, E. (2008) Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. Hortscience 43: 730-736.

Sadak, M., Abdelhamid, M. T. and Schmidhalter, U. (2015) Effect of foliar application of aminoacids on plant yield and some physiological parameters in bean plants irrigated with seawater. Acta Biológica Colombiana 20: 141-152.

Sadak, M. S., Abd El-Hameid, A. R., Zaki, F. S., Dawood, M. G. and El-Awadi, M. E. (2020) Physiological and biochemical responses of soybean (*Glycine max* L.) to cysteine application under sea salt stress. Bulletin of the National Research Centre 44: 1-10.

Sallume, M. O., Abood, M. A., Hamdi, G. J. and Sarheed, B. R. (2020) Influence of foliar fertilization of amino decanate on growth and yield of eggplant (*Solanum melongena*) under water stress condition. Research on Crops 21: 557-562.

Sánchez-Madrigal, M. Á., Neder-Suárez, D., Quintero-Ramos, A., RuizGutiérrez, M. G., MeléndezPizarro, C. O., Piñón-Castillo, H. A., Galicia-García, T. and Ramírez-Wong, B. (2015) Physicochemical properties of frozen tortillas from nixtamalized maize flours enriched with β-glucans. Food Science and Technology 35: 552-560.

Singh, S. A .K. and Joshi, H. K. (2005) Prolong storability of Indian gooseberry (*Emblica officinalis* Gaertn.) under semi-arid ecosystem of Gujarat. Indian Journal of Agricultural Sciences 75: 647- 650.

Shan, G., Jing-jing, Z., Zi-xuan, Y., Ai-li, J. and Wen-zhong, H. (2011) Effects of calcium lactate treatments on physiological and biochemical changes of fresh-cut cauliflower. Storage and Process. 19: 303-307

Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Enej, A. E. and Li, J. (2010) Silicon effects on photosynthesis andantioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. Plant Physiology 167: 1248-1252.

Shi, J., Zuo, J., Zhou, F., Gao, L., Wang, Q. and Jiang, A. (2018) Low-temperature conditioning enhances chilling tolerance and reduces damage in cold-stored eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit. Postharvest Biology and Technology 141: 33-38.

Singleton, V. L. and Rossi J. A. (1965) Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. Enology and Viticulture 16: 144-150.

Tan, Y., Liang, Z., Shao, H. and Du, F. (2006) Effect of water deficits on the activity of anti-oxidative enzymes and osmoregulation among three different genotypes of *Radix astragali* at seeding stage. Colloids and surfaces B: Biointerfaces 49: 60-65.

Wen-bin, J., Yin-ran, D., Xi, Y. and Xiang-ning, C. H. (2013) Effect of calcium lactate treatments on physiological and biochemical changes of fresh-cut spinach. Science and Technology of Food Industry 19: 303-307.

Zhang, X., Shen, L., Li, F., Meng, D. and Sheng, J. (2013) Arginase induction by heat treatment contributes to amelioration of chilling injury and activation of antioxidant enzymes in tomato fruits. Postharvest Biology and Technology 79: 1-8.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.9.7]

Effect of L-cysteine and calcium lactate on yield and quality of eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit under deficit irrigation stress

Maliheh Farhangpour[1], Taher Barzegar[1*], Jaefar Nikbakht[2] and Fatemeh Nekounam[1]

[1] Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Znjan, Iran
[2] Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
(Received: 07/06/2022, Accepted: 16/08/2022)

Abstract

In order to evaluate the effect of L-cysteine and calcium lactate on yield and fruit quality of eggplant (*Solanum melongena* cv. Greta RZ) under deficit irrigation, a split plot experiment based on a randomized complete block design with three replications was conducted at Research Farm of University of Zanjan, during 2021. Experimental treatments included three levels of irrigations (60, 80 and 100 ETc%) and five foliar spray treatments (two levels of calcium lactate (CaL) 1 and 2 $g.l^{-1}$ and two levels of L-cysteine (Cys) 0.15 and 0.5%) and distilled water as a control. The results showed that deficit irrigation stress significantly affected plant yield and fruit quality. The lowest fruit number and plant yield (1.8 kg), sepal chlorophyll and vitamin C (11.65 $mg.100ml^{-1}$) contents, and the highest phenols and flavonoids contents, electron leakage, and antioxidant enzymes activity were obtained at deficit irrigation 60% ETc. Foliar application of CaL and Cys significantly improved fruit yield and quality under normal and deficit irrigation. The maximum plant yield (4.4 and 3.9 kg), vitamin C content (44.1 and 41.9 $mg.100ml^{-1}$) and total soluble solid content (4.4 and 3.9 °B) were found with application of CaL 2 $g.l^{-1}$ and Cys 0.5% respectively under irrigation 100 ETc%. CaL and Cys with increasing antioxidant enzymes activity (superoxide dismutases, catalases and peroxidase) and phenolic compounds led to an increase in fruit antioxidant capacity. According to the results, application of CaL 2 $g.l^{-1}$ and Cys 0.5% is recommended in order to improve yield as well as fruit quality of eggplant under normal and deficit irrigation condition.

Keywords: Antioxidant capacity, Electron leakage, Fruit number, Phenolic compounds

Corresponding author, Email: tbarzegar@znu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.9.7]