Archive of SID

اثر برهمکنش کلسیم و جاسمونیک اسید، بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد غده سه رقم سیب‌زمینی

محمد عظیمی‌گندمانی[۱]، هوشنگ فرجی[۲*]، محسن موحدی‌دهنوی[۳] و امین میرشکاری[۴]

۱) دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
۲و۳) دانشیار گروه زراعت، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
۴) استادیار گروه زراعت، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

* نویسنده مسئول: hfaraji.yu@gmail.com

تاریخ دریافت:۱۳۹۵/۵/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۱۶

چکیده

در مناطق سردسیر، سیب‌زمینی به‌صورت بهاره کشت می‌شود. از چالش‌های پیش‌روی زراعت سیب‌زمینی در این مناطق، سرمای دیررس بهاره، سرمای زودرس پاییزه و گرمای تابستان می‌باشد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در منطقه گندمان، استان چهارمحال و بختیاری، ایران اجرا شد. عامل اول شامل سه رقم جلی، فونتین و بورن و عامل دوم، ترکیبی از تیمارهای مختلف کلسیم و جاسمونیک اسید (با غلظت پنج میکرومولار) شامل: ۱-کلسیم + جاسمونیک اسید در مرحله قبل از تشکیل ریزوم‌ها (T_1)، ۲-کلسیم + جاسمونیک اسید در مرحله بعد از تشکیل ریزوم‌ها (T_2)، ۳- جاسمونیک اسید در مرحله قبل از تشکیل ریزوم‌ها (T_3)، ۴-جاسمونیک‌اسید در مرحله بعد از تشکیل ریزوم‌ها (T_4)، ۵-کلسیم از منبع نیترات کلسیم (T_5)، ۶-شاهد (عدم کاربرد هر دو فاکتور (T_6)) بود. با توجه به نتایج، چنین می‌توان استنباط نمود که جاسمونیک اسید و کلسیم، در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی، باعث کاهش اثر نامطلوب تنش دمایی شدند، به‌علاوه این اثرات مثبت، زمانیکه جاسمونیک اسید و کلسیم به‌صورت ترکیبی و در زمان قبل از ریزوم‌دهی اعمال شد، بیش‌تر بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده هر دو فاکتور جاسمونیک اسید و کلسیم دارای اثر معنی‌دار بر ارقام مورد بررسی بودند، به‌طوری‌که رقم جلی نسبت به سایر ارقام واکنش بهتری داشت. در بین تیمارهای مورد بررسی نیز تیمار T_1 در کلیه صفات مورد بررسی به‌جز مالون‌دی‌آلدهید، در هر سه رقم مورد آزمایش بیش‌ترین میانگین را نشان داد. در مجموع با توجه به نتایج حاصل، کاربرد تیمار ترکیبی جاسمونیک اسید و کلسیم در مرحله قبل از ریزوم‌دهی، با کاهش اثر سوء دما و تحریک غده‌زایی، باعث حصول عملکرد بیش‌تر شد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پروتئین و محتوای کلروفیل.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) از محصولات غده‌ای است که نقش مهمی در تغذیه انسان و دام دارد، در شرایط مختلف آب و هوایی کشت می‌شود و بعد از گندم، برنج و ذرت مقام چهارم تولید را به خود اختصاص داده است. سیب‌زمینی به‌لحاظ دارا بودن پتانسیل بالای تولید و داشتن مواد کربوهیدراتی، پروتئینی و ویتامین‌های زیاد و هم‌چنین سازگاری به اقلیم‌های متفاوت، مورد توجه قرار گرفته است و یکی از مهم‌ترین گیاهان صنعتی جهان محسوب می‌شود (Trehan and , 2013). آسیب ناشی از دما و خشکی، موجب تولید و انباشت گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) (Reactive Species oxygen) مانند پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، سوپر اکسید (O_2^-) و رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل ($OH^\bullet$) در گیاه می‌شود. انواع اکسیژن فعال که طی تنش تولید می‌شوند، می‌توانند به برخی از ترکیبات سلولی نظیر لیپیدها، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، اسیدهای نوکلئیک و بخش‌های مختلف گیاه، به‌خصوص کلروپلاست سلول‌های روزنه آسیب برسانند. خسارت به کلروپلاست سلول‌های روزنه موجب افزایش فلورسانس کلروفیل و کاهش کارایی سیستم فتوسنتزی می‌شود (Shan and Liang, 2010). گیاهان برای کاهش اثر مخرب گونه‌های اکسیژن فعال، مکانیسم‌های متفاوتی دارند. از جمله این مکانیسم‌ها می‌توان به سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی اشاره کرد (Li *et al*., 2013; Shan and Liang, 2010). سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی شامل سیستم‌های غیر آنزیمی مانند گلوتاتیون (GSH)، آسکوربیک اسید (AsA)، آلفا توکوفرول، پرولین و کارتنوئیدها و سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی شامل سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پروکسیداز (POX) و آسکوربات پراکسیداز (APX) هستند (Qiu *et al*., 2013; Shan and Liang, 2010). در ایران، با توجه به تنوع اقلیمی، سیب‌زمینی به‌صورت زمستانه، پائیزه، بهاره و تابستانه در مناطق مختلف کشت می‌شود و نقش مهمی در سبد غذایی جامعه دارد. یکی از مشکلات قابل ذکر در چنین مناطقی برخورد دوره رشد سریع گیاه و شروع غده‌زایی با تنش دمایی ناشی از گرمای طبیعی تابستان و تولید گونه‌های اکسیژن فعال در گیاه می‌باشد. علاوه بر موارد ذکر شده در چنین شرایطی دمای بالای محیط موجب افزایش تعرق، کاهش رشد و کاهش جذب عناصر غذایی می‌شود (Karlsson Bjorn *et al*., 2006). در این میان، برخورد دوره رشد سریع گیاه و شروع غده‌زایی مقدار بالایی از کلسیم را می‌طلبد، در چنین شرایطی سودمندی کلسیم زمانی دو چندان می‌شود که گیاه در شرایط تنش (ناشی از دمای بالای محیط در نتیجه گرمای طبیعی تابستان) قرار دارد، در چنین شرایطی تبخیر و تعرق گیاه شدید است و نیاز بیش‌تری به کلسیم پیدا می‌کند که این مقدار نیاز، به شدت تبخیر و تعرق ناشی از تنش و شرایط محیطی و زیستی گیاه بستگی دارد (Guimara˜es, 2011). در سال‌های اخیر کاربرد تنظیم کننده‌های طبیعی رشد گیاهی برای افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های طبیعی، کاهش اثرات تخریبی تنش‌ها و بهبود کمیت و کیفیت گیاهان زراعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Anjum *et al*.,

www.SID.ir

Archive of SID

2011; Mahmood *et al*., 2012). جاسمونیک‌اسید و متیل‌استر آن از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های طبیعی رشد گیاهی هستند که بسیاری از فرایندهای مرفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را در گیاهان تنظیم می‌کند (Mahmood *et al*., 2012; Seo *et al*., 2005). مشخص شده است که اعمال خارجی جاسمونیک‌اسید و متیل‌استر آن نقش ویژه‌ای در پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی بازی می‌کنند، از آن جمله می‌توان افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه را نام برد (Shan and Liang, 2010). بیان شده است که کاربرد جاسمونیک‌اسید و متیل‌استر آن در شرایط تنش‌های محیطی از طریق القاء و بیان ژن‌ها و تحریک برخی فرایندها، موجب افزایش سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی گیاه شامل سیستم‌های غیر آنزیمی مانند گلوتاتیون (GSH)، آسکوربیک اسید (AsA)، آلفا توکوفرول، پرولین و کارتنوئیدها و هم‌چنین سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی، شامل سوپراکسیددیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و پرکسیداز (POD) می‌شود (Qiu *et al*., 2014). در شرایط تنش‌های محیطی، استفاده از عناصر معدنی نقش مثبتی در کاهش اثرات نا مطلوب تنش دارد، به‌عنوان مثال کلسیم نقش معنی‌دار در کنترل ساختار و کارکرد غشاء دارد (Akula *et al*., 2012). کاربرد کلسیم به عنوان یک عنصر غذایی مکمل، باعث کاهش اثرات سوء تنش کوتاه مدت و بلند مدت دما بر رشد برگ‌ها، مقدار غده‌زایی، مقدار کل ماده خشک غده‌ها، هدایت روزنه‌ای و عملکرد در سیب‌زمینی شده است (Kleinhenz and Palta, 2002). کلسیم از طریق افزایش آنزیم‌های آنتی اکسیدان و از بین بردن گونه‌های اکسیژن فعال، موجب بهبود فتوسنتز گیاه در شرایط تنش‌های محیطی می‌شود (Tan *et al*., 2011). در شرایط تنش محیطی گسترش و تولید گونه‌های اکسیژن فعال از طریق سرکوب پروتئین‌های درگیر در فتوسیستم دو از جمله پروتئین D_1، موجب بروز اخلال در کارکرد فتوسیستم دو می‌شود (Nishiyama *et al*., 2004). گزارش شده است که کاربرد کلسیم در گیاهان تحت شرایط تنش محیطی موجب کاهش گونه‌های اکسیژن فعال و به‌دنبال آن حفظ زیر واحدها، پروتئین‌ها و تحریک و افزایش نرخ انتقال الکترون در گیرنده‌های فتوسیستم دو می‌شود (Yang *et al*., 2015). در مجموع با توجه به محدودیت‌های فصلی ذکر شده (نظیر سرمای دیررس بهاره، سرمای زودرس پاییزه، افزایش دمای هوا در تابستان (شکل‌های ۱ تا ۳) و هم‌چنین کمبود کلسیم) در کاهش کمیت و کیفیت سیب‌زمینی، لزوم بررسی اثر برخی محرک‌های هورمونی و تغذیه‌ای جهت کاهش اثرات سوء دما در تولید سیب‌زمینی را مشخص می‌کند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی اثر برهمکنش کلسیم و جاسمونیک‌اسید، بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد غده سه رقم سیب‌زمینی، در سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور گندمان، استان چهارمحال و بختیاری (ایران) اجرا شد. مکان آزمایش دارای طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۹ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی و ۳۱ درجه و ۵۲

www.SID.ir

Archive of SID

دقیقه شمالی و با ارتفاع ۲۲۷۰ متر از سطح دریا بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. عامل اول شامل سه رقم جلی (رقمی نسبتا دیررس)، فونتین (رقمی میان‌رس) و بورن (رقمی میان‌رس)، و عامل دوم، ترکیبی از تیمارهای مختلف کلسیم و جاسمونیک‌اسید (با غلظت ۵ میکرومولار) بود. عامل ترکیبی تیمارهای مختلف کلسیم و جاسمونیک‌اسید به شکل زیر اعمال شد: ۱- کلسیم + جاسمونیک اسید در مرحله قبل از تشکیل ریزوم‌ها (T_1)، ۲- کلسیم + جاسمونیک‌اسید در مرحله بعد از تشکیل ریزوم‌ها (T_2)، ۳- جاسمونیک‌اسید در مرحله قبل از تشکیل ریزوم‌ها (T_3)، ۴- جاسمونیک‌اسید در مرحله بعد از تشکیل ریزوم‌ها (T_4)، ۵- کلسیم از منبع نیترات کلسیم (T_5) و ۶- شاهد (عدم کاربرد هر دو فاکتور) (T_6). جهت تهیه محلول‌های هورمونی مورد نظر ابتدا تنظیم‌کننده رشد، در نیم میلی‌لیتر محلول سود یک نرمال حل شد و با آب مقطر به حجم مورد نظر رسانده شد. از تیپول (Fluka, Riedel-de Haen) با نسبت حجم در حجم (v/v) نیم درصد به‌عنوان مویان استفاده شد. گیاهان شاهد نیز با آب مقطر همراه با تیپول با نسبت حجم در حجم (v/v) نیم درصد تیمار شدند. در هر مرحله جهت اطمینان از جذب شدن جاسمونیک‌اسید توسط گیاه، عمل محلول‌پاشی چهار روز متوالی به طول انجامید. جهت جلوگیری از تجزیه سریع هورمون به‌وسیله نور خورشید، پاشش هورمون بعد از غروب آفتاب انجام شد. در هر مرحله تمامی بوته‌های موجود در کرت مورد نظر به نحوی محلول‌پاشی شدند که کاملا خیس شوند. تیمار کلسیم نیز از منبع نیترات کلسیم (حاوی ۱۵/۵ درصد نیتروژن و ۱۹ درصد کلسیم) تأمین شد، به نحوی که مجموع کلسیم خالص مورد استفاده در تیمارهای مربوطه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار شد. کلسیم در کلیه تیمارهای حاوی کلسیم در مرحله قبل از کاشت، به خاک اضافه شدند (Ozgen and Palta, 2004; Ozgen *et al.*, 2006). زمین مورد آزمایش در پاییز سال قبل شخم عمیق زده شد. عملیات دیسک و تسطیح زمین در بهار سال بعد صورت گرفت، همراه با تهیه زمین کودهای فسفات و پتاسیم بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) به‌ترتیب از منابع فسفات‌آمونیوم و سولفات‌پتاسیم به نحوی که مجموع خالص عناصر فسفر و پتاسیم در کلیه تیمارها به ترتیب برابر ۲۰۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار شود اعمال شد. کود نیتروژنه نیز از منبع اوره بود که یک سوم آن موقع کاشت و دو سوم بقیه در دو مرحله در زمان خاک‌دهی اول و ۱۵ روز پس از آن به صورت محلول‌پاشی و همراه با سیستم آبیاری اعمال شد. مجموع نیتروژن خالص مورد استفاده نیز در کلیه تیمارها ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار لحاظ شد (مقدار نیتروژن موجود در کود نیترات کلسیم در این مقدار لحاظ شد). هر واحد آزمایشی دارای ۶ متر طول و ۳ متر عرض و دارای ۴ ردیف کاشت بود. غده‌های بذری از ۳ رقم مورد نظر جلی، فونتین و بورن با کلاس بذری یکسان، از مرکز تحقیقات کشاورزی همدان تهیه شدند. غده‌های مورد نیاز از هر رقم یک هفته قبل از کاشت از سردخانه خارج و در دمای معمولی نگهداری شدند. سپس غده‌ها در ردیف‌های کاشت با فاصله ۷۵ سانتی‌متر و با فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یک‌دیگر در ۱۵ خرداد کشت شدند. آبیاری کرت‌ها نیز

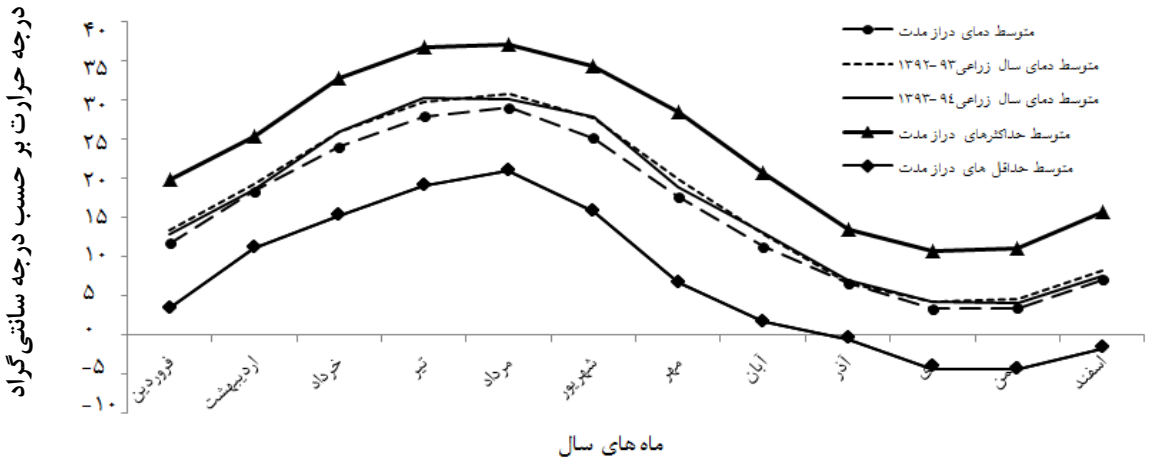
www.SID.ir

Archive of SID

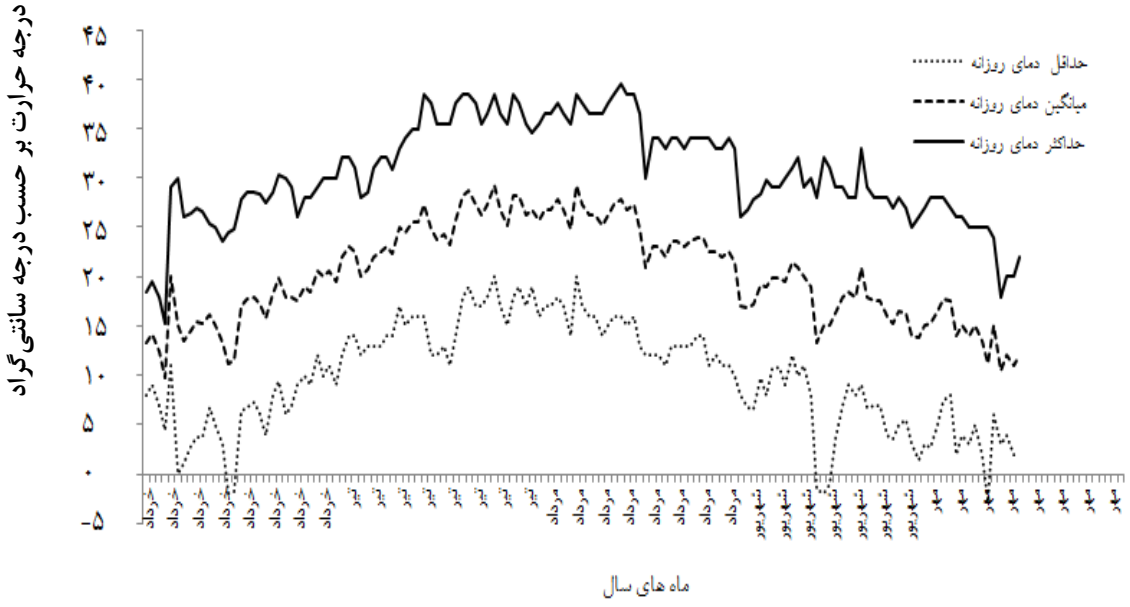
به‌صورت سیستم آبیاری بارانی و از نوع کلاسیک ثابت بود.

جدول ۱: مشخصات خاک مزرعه

هدایت الکتریکی (dcm^{-1})	pH	ماده آلی (٪)	فسفر قابل دسترس ($mgkg^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس ($mgkg^{-1}$)	نیتروژن (٪)	کلسیم ($mgkg^{-1}$)
۰/۵۳۹	۸/۲۸	۱/۰۷۲	۱۵/۴	۳۰۶	۰/۰۹۶	۱۷۸



شکل ۱: میانگین دمای ماهانه محل اجرای آزمایش طی فصل رشد سیب‌رمینی



شکل ۲: رژیم دمایی روزانه برای فصل زراعی ۹۳-۱۳۹۲

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۳: رژیم دمایی روزانه برای فصل زراعی ۹۴-۱۳۹۳

اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدهید و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

جهت اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدهید و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، نمونه‌گیری در دو مرحله قبل و بعد از استولون‌دهی و یک هفته پس از کاربرد اسیدجاسمونیک، در ساعت ۱۰ صبح انجام شد. در هر کرت پنج بوته و از هر بوته دو برگ کاملا باز شده جوان انتخاب شد. نمونه‌های برگ تهیه شده بلافاصله در مخزن نیتروژن قرار گرفتند و پس از انتقال به آزمایشگاه، در دمای ۸۰ - درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدهید

نمونه‌های منجمد به مقدار ۰/۲ گرم در سه میلی‌لیتر، تری کلرو استیک اسید (TCA) ۱۰ درصد، عصاره‌گیری شدند. سپس به یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون صاف شده یک میلی‌لیتر تیوباربی توریک اسید (TBA) نیم درصد، اضافه شد و سپس در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت. سپس مقدار مالون‌دی‌آلدهید به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر با اندازه‌گیری جذب در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر و با استفاده از ضریب خاموشی (۱۵۵ μM^{-1} cm^{-1}) محاسبه شد (Heath and Pacher, 1969). به‌منظور سنجش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (CAT)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POX) و آسکوربات پراکسیداز (APX) و هم‌چنین مقدار پروتئین محلول برگ، از نمونه‌های منجمد، عصاره آنزیمی تهیه شد، سپس جذب کلیه واکنش‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. برای تهیه عصاره آنزیمی مقدار نیم گرم از بافت تازه برگ در هاون چینی که در ظرف یخ قرار داشت، با دو میلی‌لیتر از بافر فسفات ۰/۱ مولار با اسیدیته ۶/۸، هموژن شد (Dean, 1986). سپس به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور

www.SID.ir

Archive of SID

در دقیقه و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. فاز بالایی عصاره (سوپرناتانت) برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها و هم‌چنین مقدار پروتئین محلول مورد استفاده قرار گرفت.

سنجش فعالیت کاتالاز (CAT)

طبق تعریف یک واحد کاتالاز مقدار آنزیمی است که موجب تجزیه یک میکرومول H_2O_2 در مدت یک دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد شود. بنابراین محلول واکنش حاوی نیم میلی‌لیتر H_2O_2 ۱۰ میلی‌مولار، ۲/ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۲۵ میلی‌مولار با اسیدیته ۶/۸ و ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی می‌باشد. با شروع تجزیه H_2O_2 در محیط، واکنش آغاز شد و مقدار کاهش جذب در طول زمان در طول موج ۲۴۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Cakmak and Horst, 1991).

سنجش فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)

مخلوط واکنش شامل دو میلی‌لیتر بافر هپس‌کو (HEPES-KOH)۵۰ میلی‌مولار با اسیدیته ۷/۸، حاوی اتیلن‌دی‌آمین‌تترااستیک‌اسید ۰/۱ میلی‌مولار، کربنات سدیم ۵۰ میلی‌مولار با اسیدیته ۱۰/۲، ال-متیونین (L-methionine) ۱۲ میلی‌مولار، نیتروبلوتترازولیوم (NBT) ۷۵ میکرومولار، ریبوفلاوین یک میلی‌مولار و ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی می‌باشد. نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در شدت نور تقریبا ۸۰۰۰ لوکس قرار گرفت و پس از این مدت جذب آنها در طول موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Giannopolitis and Ries, 1997).

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز (POX)

بدین منظور به ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، دو میلی‌لیتر فسفات پتاسیم ۶۰ میلی‌مولار با اسیدیته ۶/۱، نیم میلی‌لیتر گایاکول (Guaiacol) ۲۸ میلی‌مولار و نیم میلی‌لیتر H_2O_2 پنج میلی‌مولار اضافه شد و جذب محلول در طول موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. واکنش در کووت آغاز و جذب بلافاصله در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت یک دقیقه (با فواصل ۲۰ ثانیه) انجام شد (Hegar *et al*., 1996).

سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX)

طبق تعریف یک واحد آنزیم آسکوربات پراکسیداز مقدار آنزیمی است که یک میلی‌مولار آسکوربات را در یک دقیقه اکسید می‌کند. بدین منظور دو میلی‌لیتر بافر فسفات نیم مولار با اسیدیته ۶/۵، ۰/۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه (v/v سه درصد) و ۰/۲ میلی‌لیتر آسکوربات ۵۰ میکرومولار را در حمام یخ با هم مخلوط کرده و بلافاصله ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی به آن اضافه می‌کنیم. منحنی تغییرات جذب در طول موج ۲۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد و فعالیت

www.SID.ir

Archive of SID

آنزیمی بر حسب تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین در دقیقه محاسبه شد (Nakano and Asada, 1981). جهت اندازه‌گیری پروتئین محلول برگ و تعیین مقدار کمی پروتئین از عصاره آنزیمی استفاده شد. بدین منظور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت شد و سپس منحنی رگرسیون رسم شد (Bradford, 1976; Kar and Mishra, 1976). برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل از دستگاه فلورمتر (مدل OS1-FL) که توانایی اندازه‌گیری فلئورسانس را در دو حالت روشنایی و تاریکی دارد، استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها در دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی در ساعت ۱۰ صبح تا ۱۴ بعد از ظهر انجام شد. در هر کرت پنج بوته و از هر بوته دو برگ کاملا باز شده جوان انتخاب شد و پارامترهای فلئورسانس کلروفیل شامل: Fm (فلورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با تاریکی)، Fo (فلورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با تاریکی) و نهایتا مقدار Fv/Fm (حداکثر عملکرد کوآنتومی در شرایط سازگار شده با تاریکی) به کمک رابطه مربوطه (Fv/Fm=(Fm-Fo)/Fm) برای آن‌ها ثبت شد. مقدار کلروفیل برگ نیز در دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین صورت که پس از تهیه عصاره الکلی از نمونه‌ها، جذب نور توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر قرائت شد و سپس با استفاده از روابط موجود، مقدار کلروفیل محاسبه شد (Arnon, 1940). در مرحله رسیدگی (مصادف با سرمازدگی پاییزه در منطقه)، عملکرد برآورد شد، بدین منظور جهت حذف اثر حاشیه‌ای در هر کرت، برداشت از ردیف‌های وسطی با مساحتی معادل دو و نیم متر مربعی صورت گرفت. در نهایت تجزیه مرکب داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و رسم نمودارها با نرم افزار Excel صورت گرفت. با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش رقم و تیمارهای آزمایش، مقایسه میانگین‌های این اثر به صورت برش‌دهی و به روش LS means انجام شد.

نتایج و بحث

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

اثرات اصلی و اثر متقابل رقم و تیمار، برای کلیه آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان معنی‌دار شد (جدول ۲). فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) بین تیمارهای مختلف در ارقام مورد بررسی متفاوت بود (جدول ۳). با توجه به نتایج، تیمار T_1 در رقم جلی در مرحله قبل از ریزوم‌دهی، دارای بالاترین میانگین (۱/۱۰ با واحد تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین) و تیمار T_6 (شاهد) در رقم بورن، در مرحله بعد از ریزوم‌دهی، دارای پایین‌ترین میانگین (۰/۳۳ با واحد تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین) فعالیت کاتالاز بودند (جدول ۳). کاربرد جاسمونیک‌اسید بر مقدار فعالیت کاتالاز اثر معنی‌دار داشت؛ به‌طوری‌که در تیمارهای T_2 و T_4، که زمان محلول‌پاشی در آن‌ها بعد از مرحله ریزوم‌دهی بود، به ترتیب موجب افزایش ۲۱/۴۳ و ۲۰/۷۵ درصدی در رقم جلی، ۴۷/۳۶ و ۷۲ درصدی در رقم فونتین و ۳۶/۵۴ و ۲۵ درصدی در رقم بورن نسبت به مرحله قبل از

www.SID.ir

Archive of SID

ریزوم‌دهی، برای میزان فعالیت کاتالاز شد (جدول ۳). نتایج فوق با نتایج Qiu و همکاران (۲۰۱۴) مبنی بر اثر جاسمونیک اسید بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه مطابقت دارد. هم‌چنین بیان شده است که کاربرد جاسمونیک‌اسید و متیل‌استر آن در شرایط تنش‌های محیطی از طریق القاء و بیان ژن‌ها و تحریک برخی فرایندها موجب افزایش فعالیت سیستم‌های دفاعی آنزیمی آنتی‌اکسیدانی شامل سوپراکسیددیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پرکسیداز (POD) و آسکوربات پراکسیداز (APX) می‌شود و به‌دنبال آن باعث کاهش تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) در گیاه تحت تنش‌های محیطی می‌شود (Qiu *et al*., 2014). یکی‌دیگر از سیستم‌های دفاعی گیاه در برابر تنش‌های محیطی، استفاده از آنزیم آسکوربات-پراکسیداز (APX) است. اعمال جاسمونیک‌اسید و کلسیم، موجب افزایش معنی‌داری در مقدار فعالیت آنزیم آسکوربات-پراکسیداز در کلیه ارقام مورد بررسی در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی شد (جدول ۳). مشخص شده است که کاربرد خارجی جاسمونیک‌اسید و متیل‌استر آن نقش ویژه‌ای در پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی بازی می‌کنند از آن جمله می‌توان به شرکت جاسمونیک‌اسید در تنظیم متابولیسم آسکوربات و گلوتاتیون (Sasaki-Sekimoto *et al*., 2005) و هم‌چنین افزایش توانایی آنتی‌اکسیدانی گیاه را نام برد (Bandurska *et al*., 2003). زمان کاربرد جاسمونیک-اسید نیز در مقدار افزایش فعالیت این آنزیم در مقایسه با شاهد متفاوت بود، به‌طوری‌که مقدار افزایش میانگین فعالیت آسکوربات‌پراکسیداز، برای ارقام جلی، فونتین و بورن در تیمار T_3 که زمان محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید در آن قبل از ریزوم‌دهی بود به‌ترتیب ۹۴، ۱۲۴ و ۱۰۶/۲۵ درصد، بیش‌تر از تیمار T_4 (زمان محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید بعد از ریزوم‌دهی) بود (جدول ۳). نتایج Shan و Liang (۲۰۱۰) نیز مطابق نتایج تحقیق حاضر می‌باشد و در این خصوص بیان نمودند که جاسمونیک‌اسید متابولیسم آسکوربات را از روش‌های مختلفی از جمله افزایش مقدار رونوشت آسکوربات، افزایش فعالیت آسکوربات پراکسیداز (APX)، دهیدرو آسکوربات ردوکتاز (DHAR)، مونو دهیدرو آسکوربات ردوکتاز (MDHAR)، آسکوربیک اسید (ASA) و محتوای آسکوربات کل، افزایش می‌دهد (Shan and Liang, 2010).

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) مشاهده می‌شود که برهمکنش رقم و تیمار برای فعالیت آنزیم پراکسیداز (POX) در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که تیمار T_1 در رقم جلی، با میانگین ۸/۴۱ در واحد تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین، در مرحله بعد از ریزوم‌دهی دارای بیش‌ترین میانگین فعالیت آنزیم پراکسیداز و تیمار T_6 در رقم فونتین، با میانگین ۳/۴۹ در واحد تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین، در مرحله قبل از ریزوم‌دهی پایین‌ترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز را داشتند (جدول ۳). علاوه بر جاسمونیک‌اسید، کلسیم نیز در افزایش مقدار فعالیت آنزیم پراکسیداز، اثر معنی‌دار داشت. به‌طوری‌که با مقایسه دو تیمار T_1 و T_3، که تنها تفاوت آنها در وجود کلسیم در تیمار T_1 و عدم استفاده از کلسیم در تیمار T_3 می‌باشد، مشاهده شد که میانگین فعالیت آنزیم POX، در

www.SID.ir

Archive of SID

تیمار T_1 در هر سه رقم جلی، فونتین و بورن در مرحله قبل از ریزوم‌دهی به‌ترتیب ۱۳/۷۳، ۱۳/۷۶ و ۴۱/۳۰ درصد، افزایش بیش‌تری نسبت به شاهد داشت (جدول ۳). نتایج بررسی Erinle و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان دهنده اثر مثبت کلسیم بر افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بود، آن‌ها بیان کردند که حضور کلسیم و کلسیم-کالمودولین، در گیاه تحت تنش محیطی باعث تحریک، تنظیم و افزایش بیان ژن‌های سیستم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود (Erinle *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2015).

با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، که به عنوان اولین خط دفاعی گیاه، در زمان مواجه با تنش محیطی قلمداد می‌شود (Blasco *et al.*, 2015)، بین ارقام و تیمارهای مختلف متفاوت بود، به‌طوری‌که تیمار T_1 در هر سه رقم جلی، فونتین و بورن، در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی، بالاترین میانگین‌ها را (به‌ترتیب با میانگین‌های ۶/۷۰-۷/۱۶، ۳۰/۶۶-۵/۴ و ۵/۵۱-۵/۸۸ در واحد تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین) داشت که با سایر تیمارها دارای تفاوت معنی‌داری بود (جدول ۳). در مقابل تیمار شاهد (T_6)، در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی در خصوص فعالیت سوپراکسیددیسموتاز، کم‌ترین رتبه را داشت (جدول ۳). تیمار آزمایشی T_4 که زمان اعمال آن بعد از مرحله ریزوم‌دهی بود، در نمونه‌گیری مرحله قبل از ریزوم‌دهی، در کلیه ارقام مورد بررسی در خصوص فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، تفاوت معنی‌داری با شاهد (T_6) نداشت، اما کاربرد جاسمونیک‌اسید در مرحله بعد از ریزوم‌دهی، در ارقام جلی، فونتین و بورن موجب افزایش ۱۳/۹۱، ۲۹/۲۴ و ۳/۴۵ درصدی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، نسبت به مرحله قبل شد (جدول ۳). تفاوت معنی‌دار تیمار آزمایشی T_5 با شاهد (T_6)، در کلیه ارقام مورد بررسی در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی، مشاهده شد، که این نشان از اثر مثبت و معنی‌دار کاربرد کلسیم در گیاه، بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز می‌باشد (جدول ۳).

سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) یکی از آنزیم‌های کلیدی جهت مهار گونه‌های اکسیژن فعال در سلول به‌شمار می‌رود، به‌طوری‌که افزایش فعالیت این آنزیم در سلول، نشانه ایجاد حفاظت گیاه در برابر تنش‌های محیطی است (Anjum *et al.*, 2011; Shan and Liang, 2010). گزارش شده است که سوپر اکسید آنیون‌ها از مسیر متابولیسم اکسیداتیو، توسط سوپر اکسید دیسموتاز به پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و اکسیژن (O_2) تبدیل می‌شود (Anjum *et al.*, 2011; Shan and Liang, 2010). هم‌چنین مشخص شده است که سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) یک نقش محوری در مهار گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) دارد و شروع فعالیت SOD هماهنگ کننده فعالیت APX، POD و CAT در گیاه می‌باشد (Li *et al.*, 2013; Qiu *et al.*, 2013).

www.SID.ir

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس برای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و مالیک‌دی‌آلدهید، در برهمکنش کلسیم و جاسمونیک اسید در سه رقم سیب‌زمینی

منابع تغییرات	df	مرحله قبل از ریزوم‌دهی					مرحله بعد از ریزوم‌دهی				
		کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز	سوپر اکسید دیسموتاز	مالون‌دی آلدهید	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز	سوپر اکسید دیسموتاز	مالون‌دی آلدهید
سال	۱	۰/۰۸۸۹۸^{ns}	۰/۲۷۹۰۷ ^{ns}	۲/۳۷۳۳۳ ^{ns}	۰/۳۸۱۶۳^{ns}	۱۸/۳۰۲۷^{ns}	۰/۲۹۹۷۷^{ns}	۰/۱۸۲۵۳^{ns}	۰/۰۶۹۵۱^{ns}	۳/۳۴۶۱۱^{ns}	۳۴/۱۲۷^{ns}
بلوک (سال)	۴	۰/۰۸۱۶۰^{ns}	۰/۰۷۶۴۴^{ns}	۱/۰۴۴۷۵^{ns}	۳/۱۱۴۲۹^{ns}	۳۶/۲۸۶۹^{ns}	۰/۰۶۰۶۰^{ns}	۰/۰۷۹۰۹^{ns}	۰/۲۶۸۱۴^{ns}	۱/۴۸۴۷۴^{ns}	۳۱/۲۴۳^{ns}
رقم	۲	۱/۱۹۳۱۵**	۰/۱۹۵۸۸**	۱۹/۰۴۶۲۶**	۲۷/۳۳۹۹۱^{ns}	۴۹۳/۴۶۶۰**	۰/۸۶۰۸۳۳**	۰/۲۴۸۵۵**	۳۴/۰۶۷۲۵**	۲۴/۲۴۸۳۳**	۵۳۳/۶۹۳**
تیمار	۵	۰/۶۲۳۷۰**	۰/۵۴۹۸۱**	۱۳/۹۲۰۲۴**	۸/۷۵۴۳۷**	۱۲۷/۹۰۵۶**	۰/۹۷۶۵۹**	۰/۸۰۸۹۴**	۲۱/۹۳۴۵۱**	۱۲/۳۶۶۰۰**	۱۹۶/۳۲۰**
رقم × تیمار	۱۰	۰/۰۰۸۰۴**	۰/۰۰۳۵۷*	۰/۰۶۱۷۹*	۰/۱۶۶۰۷*	۰/۷۴۷۴*	۰/۰۱۸۷۹**	۰/۰۱۱۳۵*	۰/۱۵۱۹۵**	۰/۰۷۳۶۳*	۰/۷۳۸**
سال × رقم	۲	۰/۰۰۵۲۶^{ns}	۰/۰۰۲۵۵^{ns}	۱/۴۳۵۵۸^{ns}	۱/۹۷۸۶۳^{ns}	۱۰/۹۲۹۱^{ns}	۰/۰۰۶۸۲^{ns}	۰/۰۰۳۲۵^{ns}	۰/۰۸۲۴۰^{ns}	۰/۴۶۵۰۴^{ns}	۱۴/۵۸۰^{ns}
سال × تیمار	۵	۰/۰۰۰۳۱^{ns}	۰/۰۰۰۸۵^{ns}	۰/۲۵۲۴۱^{ns}	۰/۰۱۹۹۵^{ns}	۲/۰۸۱۵^{ns}	۰/۰۰۴۴۰^{ns}	۰/۰۰۱۳۲^{ns}	۰/۲۴۷۶۵^{ns}	۰/۰۵۰۶۳^{ns}	۰/۴۲۱^{ns}
سال × رقم × تیمار	۱۰	۰/۰۰۰۳۷^{ns}	۰/۰۰۱۸۴^{ns}	۰/۰۴۷۷۰^{ns}	۰/۰۸۶۵۸^{ns}	۰/۶۳۸۱^{ns}	۰/۰۰۷۷۵^{ns}	۰/۰۰۴۸۸^{ns}	۰/۰۶۵۷۷^{ns}	۰/۱۳۶۴۰^{ns}	۰/۲۰۶^{ns}
خطا	۶۸	۰/۰۰۵۵۳	۰/۰۰۵۹۸	۰/۰۹۱۴۳	۰/۱۷۴۳۲	۲/۳۶۸۹	۰/۰۰۸۳۴	۰/۰۰۷۵۱	۰/۰۶۷۴۷	۰/۱۹۴۲۲	۱/۷۳۹۸
ضریب تغییرات		۱۳/۳۰	۱۶/۸۵	۵/۹۲	۹/۱۱	۸/۳۰	۱۳/۸۸	۱۵/۱۷	۳/۹۹	۸/۸۶	۷/۴۹

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ^{ns}غیر معنی‌دار

Archive of SID
www.SID.ir

Archive of SID

مالون‌دی‌آلدئید (MDA)

تیمارهای جاسمونیک‌اسید و کلسیم اثر معنی‌داری بر مقدار مالون‌دی‌آلدهید در ارقام مورد بررسی داشت، به‌طوری‌که در کلیه تیمارهایی که زمان اعمال آنها قبل از مرحله ریزوم‌دهی بود (تیمارهای T_1، T_2، T_3 و T_5) مقدار مالون‌دی‌آلدهید کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت، ولی در تیمارهایی که زمان اعمال آنها هنوز فرا نرسیده بود (تیمار T_4) مقدار مالون‌دی‌آلدهید، با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). با توجه به نتایج مشاهده شد که در مرحله بعد از ریزوم‌دهی، در کلیه ارقام مورد بررسی، تیمارهای T_1 و T_6 به ترتیب دارای کم‌ترین و بالاترین میانگین، در خصوص مقدار مالون‌دی‌آلدهید بودند (جدول ۳). مشاهده شد که میانگین مالون‌دی‌آلدهید، برای کلیه ارقام و تیمارها در مرحله قبل از ریزوم‌دهی کم‌تر از میانگین آنها در مرحله پس از ریزوم‌دهی می‌باشد (جدول ۳). که علت آن را می‌توان در دمای بیشتر محیط و وجود گرمای تابستان (تنش دمایی تابستان) در مرحله پس از ریزوم‌دهی (شکل‌های ۱، ۲ و ۳) و به‌دنبال آن تخریب ساختار غشاء در اثر تنش دما و نشت الکترولیت‌ها از غشاء ارقام مورد بررسی جستجو نمود (Guimara˜es,- 2011). با گذشت زمان و گرم‌تر شدن هوا در تابستان (شکل‌های ۱، ۲ و ۳)، تنش دمایی بر ارقام مورد بررسی بیش‌تر شد اما کاربرد خارجی کلسیم و جاسمونیک‌اسید موفق عمل نمود و سطح مالون‌دی‌آلدهید را در زمان بعد از ریزوم‌دهی نیز به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد پایین آورد (جدول ۳). که این امر بیانگر اثر کلسیم و جاسمونیک‌اسید بر کاهش خسارت رادیکال‌های آزاد به غشاء سلولی است. جاسمونیک‌اسید و کلسیم از طریق تحریک بیان ژن‌های خاص، موجب افزایش فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه می‌شود و به دنبال آن پراکسیداسون چربی‌ها و خسارت به غشاء کاهش پیدا می‌کند (Guimara˜es, 2011; Shan and Liang, 2010). هم‌چنین گزارش شده است که کلسیم با ایجاد تعامل با فسفولیپیدها و پروتئین‌ها باعث حفظ ثبات غشاء، یکپارچگی غشاء و حفظ کارکرد آن در گیاه می‌شود (Guimara˜es, 2011).

پروتئین محلول برگ

اثر متقابل رقم و تیمار برای صفت پروتئین محلول برگ، در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی، بیش‌ترین مقدار پروتئین محلول برگ، در تیمار T_1 در رقم جلی و کم‌ترین مقدار آن در تیمار T_6 در رقم بورن مشاهده شد (جدول ۵). کاربرد جاسمونیک‌اسید و کلسیم به هر دو صورت تکی (T_3، T_4 و T_5) و ترکیبی (T_1 و T_2) موجب افزایش معنی‌دار میانگین پروتئین محلول برگ در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی نسبت به شاهد شد (جدول ۵).

www.SID.ir

جدول ۳: مقایسه میانگین برخی صفات فیزیولوژیک ارقام سیب‌زمینی تحت اثر کلسیم و اسید جاسمونیک به‌صورت برش‌دهی و به روش LS mean

رقم	تیمار	مرحله قبل از ریزوم‌دهی				مرحله بعد از ریزوم‌دهی				
		کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز	سوپر اکسید دیسموتاز	مالون دی‌آلدهید	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز	سوپر اکسید دیسموتاز	مالون دی‌آلدهید
		(تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین)				(نانومول بر گرم وزن تر برگ)	(تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین)				(نانومول بر گرم وزن تر برگ)
جلی	T_1	۱/۱۰^{a}	۰/۸۴۷^{a}	۷/۲۶۸^{a}	۶/۷۰۸^{a}	۱۱/۰۶^{d}	۱/۲۳^{a}	۱/۰۴۸^{a}	۸/۴۱۳^{a}	۷/۱۶۲^{a}	۹/۸۳^{f}
	T_2	۰/۷۰^{c}	۰/۴۹۵^{c}	۵/۶۷۰^{c}	۵/۴۴۷^{c}	۱۵/۰۲^{b}	۰/۸۵^{c}	۰/۶۵۲^{c}	۷/^{۹۳۳bc}	۶/۰۲۷^{c}	۱۲/۶۹^{d}
	T_3	۰/۸۹^{b}	۰/۶۷۲^{b}	۶/۶۰۲^{b}	۶/۱۵۶^{b}	۱۲/۹۴^{c}	۰/۹۸^{b}	۰/۷۹۷^{b}	۸/۱۱۲^{ab}	۶/۵۱۲^{b}	۱۱/۱۵^{e}
	T_4	۰/۵۳^{d}	۰/۳۴۰^{d}	۴/۸۹۷^{d}	۴/۵۹۷^{d}	۱۷/۱۵^{a}	۰/۶۴^{e}	۰/۴۶۵^{e}	۷/۶۸۰^{c}	۵/۲۴۵^{de}	۱۵/۲۹^{b}
	T_5	۰/۷۲^{c}	۰/۴۸۰^{c}	۵/۶۸۷^{c}	۵/۳۱۵^{c}	۱۵/۲۹^{b}	۰/۷۲^{d}	۰/۵۵۸^{d}	۷/۷۹۰^{bc}	۵/۷۳۰^{cd}	۱۴/۳۶^{c}
	T_6	۰/۵۶^{d}	۰/۳۶۸^{d}	۴/۸۷۷^{d}	۴/۶۳۳^{d}	۱۶/۷۶^{a}	۰/۴۹^{f}	۰/۳۵۷^{f}	۵/۰۷۲^{d}	۴/۵۸۳^{e}	۱۷/۹۴^{a}
فوتین	T_1	۰/۶۱^{a}	۰/۶۲۰^{a}	۵/۵۱۷^{a}	۴/۶۶۳^{a}	۱۷/۷۵^{d}	۰/۷۶^{a}	۰/۷۱۲^{a}	۶/۱۳۲^{b}	۵/۳۰۰^{a}	۱۶/۷۵^{f}
	T_2	۰/۳۸^{c}	۰/۳۴۸^{c}	۴/۴۰۲^{c}	۳/۸۰۳^{b}	۲۲/۳۶^{b}	۰/۵۶^{c}	۰/۵۲۲^{c}	۵/۸۵۸^{b}	۴/۳۹۵^{b}	۲۰/۱۲^{d}
	T_3	۰/۵۲^{b}	۰/۵۴۳^{b}	۵/۰۴۲^{b}	۴/۲۵۲^{ab}	۱۹/۹۲^{c}	۰/۶۳^{b}	۰/۶۵۵^{b}	۶/۰۷۵^{b}	۴/۸۵۷^{a}	۱۸/^{۳۹e}
	T_4	۰/۲۵^{d}	۰/۲۲۵^{d}	۳/۴۲۸^{d}	۳/۰۱۱^{c}	۲۵/۳۳^{a}	۰/۴۲^{d}	۰/۳۲۸^{e}	۷/۶۸۰^{a}	۳/۸۸۸^{bc}	۲۳/۷۸^{b}
	T_5	۰/۳۷^{c}	۰/۳۶۲^{c}	۴/۳۹۳^{c}	۳/۷۴۷^{b}	۲۲/۳۳^{b}	۰/۴۶^{d}	۰/۴۲۳^{d}	۶/۸۴۵^{ab}	۴/۱۹۸^{b}	۲۱/۸۸^{c}
	T_6	۰/۲۰^{de}	۰/۲۱۸^{d}	۳/۴۹۰^{d}	۲/۹۲۸^{c}	۲۴/۸۸^{a}	۰/۲۴^{e}	۰/۲۵۲^{f}	۳/۶۷۲^{c}	۳/۰۰۰^{c}	۲۶/۲۹^{a}
بورن	T_1	۰/۸۵^{a}	۰/۷۱۷^{a}	۶/۲۸۳^{a}	۵/۵۱۲^{a}	۱۴/۳۲^{d}	۱/۰۰^{a}	۰/۸۸۰^{a}	۷/۲۰۸^{a}	۵/^{۸۸۲a}	۱۳/۵۴^{f}
	T_2	۰/۵۲^{c}	۰/۴۵۲^{c}	۵/۰۹۷^{b}	۴/۳۳۰^{c}	۱۹/^{۱۱b}	۰/۷۳^{c}	۰/۶۰۷^{c}	۶/۹۳۵^{a}	۴/۸۶۳^{b}	۱۶/۹۷^{d}
	T_3	۰/۶۷^{b}	۰/۵۷۷^{b}	۵/۸۴۵^{a}	۵/۰۲۷^{b}	۱۶/۹۹^{c}	۰/۸۶^{b}	۰/۷۶۷^{b}	۷/۰۹۵^{a}	۵/۳۹۲^{ab}	۱۵/^{۵۸e}
	T_4	۰/۳۶^{e}	۰/^{۲۹۲d}	۴/۱۴۷^{c}	۴/۰۵۸^{d}	۲۱/۵۶^{a}	۰/۴۵^{e}	۰/۴۲۸^{e}	۶/۷۵۸^{a}	۴/۲۰۳^{c}	۲۰/۴۹^{b}
	T_5	۰/۴۸^{d}	۰/^{۴۳۰c}	۵/۱۵۳^{b}	۴/۳۵۲^{c}	۱۹/۴۷^{b}	۰/۵۱^{d}	۰/۵۱۷^{d}	۶/^{۸۴۵a}	۴/۵۴۷^{bc}	۱۸/۸۹^{c}
	T_6	۰/۳۶^{e}	۰/۲۷۷^{d}	۴/۱۴۲^{c}	۴/۰۰۸^{d}	۲۱/۵۱^{a}	۰/۳۳^{f}	۰/۳۲۰^{f}	۴/۱۴۸^{b}	۳/۷۳۵^{c}	۲۳/۰۹^{a}

*در هر مقایسه وجود حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم وجود تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

Archive of SID

همان‌طور که بیان شد در نتایج ما تیمارهای حاوی کلسیم و جاسمونیک اسید مقدار بالاتری از پروتئین را نسبت به تیمار شاهد نشان دادند، این مطلب بیانگر اثر کلسیم و جاسمونیک‌اسید بر فعال کردن سیستم‌های دفاعی گیاه در برابر تنش و کاهش انباشت و تولید گونه‌های اکسیژن فعال می‌باشد (Kumar *et al*., 2007). به بیانی دیگر چنین می‌توان بیان نمود که کلسیم و جاسمونیک اسید باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از یک سو و از سوی دیگر مانع از تجزیه پروتئین‌های گیاهی تحت تنش دمایی می‌شوند، که نتیجه آن افزایش مقدار پروتئین محلول است (Zhou *et al*., 2009). کلیه تیمارهای آزمایش، به تنش دمایی ناشی از گرمای تابستان (شکل‌های ۱، ۲ و ۳) واکنش نشان دادند، به‌طوری‌که در نمونه‌گیری مرحله بعد از ریزوم‌دهی میانگین بالاتری را نسبت به مرحله قبل از ریزوم‌دهی داشتند، اما این مقدار افزایش، در تیمارهای مختلف و هم‌چنین ارقام مختلف متفاوت بود، به‌طوری‌که تیمار T_1 برای ارقام جلی، فونتین و بورن به ترتیب با ۳۳/۳۰، ۲۹/۵۰ و ۲۲/۷۰ درصد افزایش، در میزان پروتئین محلول برگ، نسبت به شاهد بیش‌ترین اثر را در ایجاد تحمل گیاه در برابر تنش دمایی ناشی از گرمای تابستان داشت (جدول ۵). محتوای پروتئین به مقدار اختلاف بین سنتز و تجزیه آن بستگی دارد. پژوهشگران متعددی کاهش مقدار پروتئین و افزایش نیترات، آمونیوم و اسیدهای آمینه آزاد را تحت شرایط تنش گزارش کرده‌اند (Kumar *et al*., 2007; Rezai *et al*., 2013). کاهش مقدار پروتئین در شرایط تنش، در اثر تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) و اثر آن‌ها بر تخریب پروتئین‌ها است (Rezai *et al*., 2013). در پژوهش حاضر مقدار پروتئین در اندازه‌گیری مرحله بعد از ریزوم‌دهی، نسبت به مرحله قبل از ریزوم‌دهی، افزایش پیدا کرد، که این مطلب نشان از شروع فعالیت آنتی‌اکسیدانی و حفاظتی گیاه ناشی از تیمارهای جاسمونیک‌اسید و کلسیم در برابر تنش دمایی ناشی از دمای بالای تابستان می‌باشد (Kumar *et al*., 2007). یکی از بهترین مشخصه پاسخ به تنش‌های محیطی، القاء پروتئین‌های شوک حرارتی (HSPS)[1] است. در شرایط تنش، سنتز چاپرونین‌های مولکولی به بازسازی و سنتز پروتئین‌های تخریب شده ناشی از تنش کمک می‌کند. در برخی منابع (Hetherington *et al*., 2005) گزارش شده است که سنتز پروتئین‌های شوک حرارتی همراه با تجمع Ca^{+2} در محیط درون سلولی است، که این مطلب نقش ویژه کلسیم را به‌عنوان یک پیام رسان‌در شرایط تنش اثبات می‌کند.

فلورسانس کلروفیل

اثر متقابل رقم و تیمار بر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو، در مرحله قبل از ریزوم‌دهی در سطح یک درصد و در مرحله بعد از ریزوم‌دهی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده شد که تیمارهای مختلف آزمایش در خصوص صفت حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگار با تاریکی (Fv/Fm)

[1] Heat Shock Proteins

www.SID.ir

Archive of SID

در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی واکنش متفاوتی به ارقام مورد بررسی نشان دادند (جدول ۵). به‌طوری‌که در مرحله قبل از ریزوم‌دهی، تیمار T_1 در هر سه رقم جلی، فونتین و بورن بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص داد، که با سایر تیمارها دارای تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۵). در مرحله بعد از ریزوم‌دهی نیز تیمار T_1 بطور معنی‌داری، در هر سه رقم مورد بررسی دارای بیش‌ترین مقدار عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو بود. هم‌چنین کم‌ترین مقدار آن در تیمار T_5 در رقم جلی و در تیمارهای T_5 و T_6 به ترتیب، در ارقام فونتین و بورن مشاهده شد (جدول ۵). گزارش شده است که نسبت Fv/Fm در حد ۰/۸۵ در گیاهان با سلامت کامل و بدون وجود تنش به‌دست می‌آید و مقادیر کم‌تر از ۰/۸۵، حاکی از وجود انواع تنش‌های زنده و غیر زنده روی گیاهان می‌باشد (Kalaji and Guo, 2008). از آن‌جا که داده‌های به‌دست آمده از Fv/Fm حتی در گیاهان شاهد که در وضعیت آبی مناسبی بودند نیز کم‌تر از ۰/۸۵ بود، می‌توان بیان کرد که برخی از تنش‌ها از جمله تنش دمای بالا (شکل‌های ۱، ۲ و ۳)، این نسبت را کاهش داده است. در این پژوهش، کاربرد خارجی جاسمونیک‌اسید با افزایش گسترش سیستم ریشه‌ای، افزایش فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی، افزایش رشد گیاه و افزایش کلروفیل (Martin-closes *et al*., 1998; Qiu *et al*., 2014) باعث بهبود مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل در گیاهان تحت تیمار شد. از سوی دیگر، کلسیم نیز به واسطه القاء پروتئین‌های شوک حرارتی، تحریک سنتز چاپرون‌های مولکولی، بازسازی و سنتز پروتئین‌های تخریب شده ناشی از تنش (Zhou *et al*., 2009)، موجب کاهش اثرات سوء تنش دمایی و بهبود مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل شد.

محتوای کلروفیل برگ

در این خصوص تیمار T_1، بیشترین مقدار کلروفیل a (Chla)، کلروفیل b (Chlb) و کلروفیل a+b (Chla+b) را در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی داشت، که با سایر تیمارها دارای تفاوت معنی‌داری بود (جدول ۵). کم‌ترین مقدار هر سه صفت یاد شده در مرحله قبل از ریزوم‌دهی برای رقم جلی و فونتین در تیمار T_6 و برای رقم بورن در تیمار T_5 بود (جدول ۵). با شروع اعمال تیمارهای فاز دوم (بعد از ریزوم‌دهی)، رتبه بندی تیمارها برای صفات فوق‌الذکر در مرحله بعد از ریزوم‌دهی تغییر کرد و موجب افزایش معنی‌دار آنها نسبت به مقدار آن‌ها در مرحله قبل از ریزوم‌دهی شد. به عنوان مثال، برای صفت مجموع کلروفیل a+b (Chla+b) دو تیمار T_2 و T4 به ترتیب در رقم جلی با ۱۰/۱۲ و ۱۱/۹۶ درصد، در رقم فونتین با ۱۱/۱۱ و ۱۰/۷۶ درصد و در رقم بورن با ۱۳/۳۹ و ۱۱/۲۹ درصد افزایش، نسبت به مرحله قبل از ریزوم‌دهی رتبه بهتری را کسب کردند (جدول ۵). تیمار شاهد (T_6) نیز برای هر سه جزء محتوای کلروفیل برگ، در مرحله بعد از ریزوم‌دهی در هر سه رقم مورد آزمایش، کم‌ترین رتبه را داشت (جدول ۵). با توجه به نتایج به‌دست آمده مشهود است که هر دو گروه تیمارهای قبل و بعد از ریزوم‌دهی باعث افزایش فاکتورهای محتوای کلروفیل برگ شدند. کلروپلاست‌های بیش‌تر گیاهان در

www.SID.ir

Archive of SID

غشاهای تیلاکوئیدی دارای دو نوع کلروفیل a و b هستند. کلروفیل b به گیاه این امکان را می‌دهد تا از طیف نوری وسیع-تری نسبت به حالتی که کلروفیل a تنها وجود دارد، استفاده و فتوسنتز کند. هنگامی که ملکول کلروفیل b نور را جذب می‌کند، انرژی را به ملکول کلروفیل a انتقال می‌دهد (Wu *et al*., 2008). مقدار کلروفیل a در مراکز واکنش، یکی از عوامل تعیین کننده کارایی عملی یا ظرفیت برانگیختگی فتوسیستم دو است (Oxborough, 2004). مشاهده شده است که کاربرد خارجی جاسمونیک‌اسید در شرایط تنش محیطی، باعث افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل برگ از طریق افزایش مقدار کلرفیل b می‌شود و از این طریق به حفظ کارکرد دستگاه فتوسنتزی کمک می‌کند (Anjum *et al*., 2011; Kleinhenz and Palta, 2002; Qiu *et al*., 2014). کاهش محتوای کلروفیل گیاه در شرایط تنش‌های محیطی می‌تواند نتیجه سرعت بیش‌تر شکستن کلروفیل‌ها نسبت به سرعت ساخته شدن آن‌ها باشد (Erinle *et al*., 2016). ژن psbA، یکی از ژن‌های مرتبط با کلروپلاست است که به تولید پروتئین D_1 منجر می‌شود، این ژن در شرایط تنش‌های محیطی به‌صورت باند شده و غیر فعال در می‌آید و در روند انتقال الکترون، تولید ATP، NADPH و نهایتا کارکرد فتوسیستم دو اخلال ایجاد می‌کند (Bai *et al*., 2015). به اثبات رسیده است که کاربرد کلسیم در شرایط تنش محیطی باعث کاهش بازداری نوری فتوسیستم دو، ترمیم بافت‌های کلروفیل و نگه داشتن بیان پروتئین D_1، در بالاترین سطح می‌شود (Erinle *et al*., 2016; Bai *et al*., 2015).

عملکرد غده

اثر متقابل رقم و تیمار بر عملکرد غده در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). با توجه به نتایج، کلیه تیمارهای مورد آزمایش باعث اثر مثبت و معنی‌دار بر عملکرد غده بودند. افزایش عملکرد یاد شده در تیمارهای مختلف متفاوت بود، به‌طوری‌که در ارقام جلی، فونتین و بورن، تیمار T_1 با داشتن تفاوت معنی‌دار با سایر تیمارها به‌ترتیب، با ۲۷/۴۰، ۲۹/۸۶ و ۲۳/۱۱ درصد عملکرد غده بیش‌تر، در مقایسه با شاهد (T_6)، جایگاه بهتری را نسبت به سایرین کسب کرد (جدول ۵). تیمار شاهد (T_6) نیز در ارقام جلی، فونتین و بورن به ترتیب با میانگین عملکرد غده ۴۰/۸۹، ۴۰/۳۲ و ۳۰/۹۸ تن در هکتار، کم-ترین عملکرد غده را داشت (جدول ۵). در این خصوص رتبه تیمارهای مورد آزمایش در هر سه رقم سیب‌زمینی به‌ترتیب (از عملکرد زیاد به کم) T_1، T_3، T_2، T_5، T4 و T_6 بودند، لذا با توجه به ماهیت تیمارها چنین می‌توان استنباط نمود که هم تنظیم‌کننده رشد جاسمونیک‌اسید و هم ماده غذایی کلسیم توانستند باعث افزایش عملکرد غده شوند، اما این مقدار افزایش، در تیمارهای T_1 و T_2، که ترکیبی از هر دو آن‌ها بود بیش‌تر از زمانی است که به‌صورت تکی (تیمارهای T_3، به‌صورت تکی (تیمارهای T_3، T_4 و T_5) اعمال شدند (جدول ۵).

www.SID.ir

جدول ۴: نتایج تجزیه واریانس برای محتوای پروتئین، کلروفیل، فلورسانس کلروفیل و عملکرد، در برهمکنش کلسیم و جاسمونیک اسید در سه رقم سیب‌زمینی

منابع تغییرات	df	مرحله قبل از ریزوم‌دهی					مرحله بعد از ریزوم‌دهی					
		پروتئین	Fv/Fm	Chla	Chl b	Chl a+b	پروتئین	Fv/Fm	Chla	Chl b	Chl a+b	عملکرد غده
سال	۱	۱۱۲/۰۷۷^{ns}	۰/۰۰۰۴۹^{ns}	۰/۰۰۰۰۵۲۴^{ns}	۱/۵۶۴۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۶^{ns}	۲۰۴/۴۶۲^{ns}	۰/۰۰۰۲۴^{ns}	۰/۰۰۰۰۳۱۱۵^{ns}	۲/۶۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۳۹^{ns}	۱/۸۵۶۵^{ns}
بلوک (سال)	۴	۵۱/۹۹۱^{ns}	۰/۰۰۱۲۷^{ns}	۰/۰۰۰۰۵۴**	۷/۸۷۰۳**	۰/۰۰۰۰۵^{ns}	۳۹/۷۵۰^{ns}	۰/۰۰۰۳۷^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۶۰۵**	۱/۲۶۹^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۶^{ns}	۰/۵۳۶۳**
رقم	۲	۷۰۱/۵۱۶**	۰/۰۰۶۳۳*	۰/۰۰۰۰۵۷**	۱/۸۷۸۷*	۰/۰۰۰۰۶**	۶۱۸/۹۶۷**	۰/۰۰۰۱۸*	۰/۰۰۰۰۵۵۰۸*	۵/۲۷۸*	۰/۰۰۰۰۵۹*	۱۱/۹۵۲۶**
تیمار	۵	۱۱۳۳/۰۴۸**	۰/۰۰۶۷۴**	۰/۰۰۰۰۵۹**	۳/۱۶۵۳**	۰/۰۰۰۰۶**	۷۶۸/۹۳۸**	۰/۰۰۲۱۲**	۰/۰۰۰۶۳۳۳۳**	۱/۱۳۵**	۰/۰۰۰۶۸۰**	۳/۱۵۵۷**
رقم × تیمار	۱۰	۱۸/۲۷۶**	۰/۰۰۰۳۸**	۰/۰۰۰۰۰۳**	۲/۰۳۱۴**	۰/۰۰۰۰۱**	۱۰/۴۸۸**	۰/۰۰۰۰۶*	۰/۰۰۰۶۳۳۳۳**	۲/۵۰۶**	۰/۰۰۰۰۰۴**	۰/۰۷۵۶**
سال × رقم	۲	۳/۹۹۷^{ns}	۰/۰۰۱۵۳^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۱/۵۰۹۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۱۰/۴۵۵^{ns}	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۴۴۰^{ns}	۲/۵۶۵^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}
سال × تیمار	۵	۲۶/۶۵۳^{ns}	۰/۰۰۰۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۲/۳۱۴۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۵۰/۳۴۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱۳۳^{ns}	۱/۲۳۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}
سال × رقم × تیمار	۱۰	۲/۵۵۹۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۱/۷۵۹۳^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۱/۷۱۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۴۱^{ns}	۱/۸۷۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}
خطا	۶۸	۶/۱۸۰	۰/۰۰۰۹۸	۰/۰۰۰۰۰۱	۷/۵۲۲۷	۰/۰۰۰۰۰۰۱	۳/۵۸۲	۰/۰۰۰۹۴	۰/۰۰۰۰۰۰۶۸	۱/۲۲۰	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۸۲
ضریب تغییرات		۳/۸۱	۴/۱۱	۳/۳۵	۴/۳۷	۴/۳۶	۲/۶۴	۳/۷۱	۳/۱۹	۵/۱۰	۱/۱۰	۶/۸۳

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ^{ns} غیر معنی‌دار.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۵: مقایسه میانگین برخی صفات فیزیولوژیک ارقام سیب‌زمینی تحت اثر کلسیم و اسیدجاسمونیک به‌صورت برش‌دهی و به روش LS means

رقم	تیمار	مرحله قبل از ریزوم‌دهی					مرحله بعد از ریزوم‌دهی					عملکرد غده
		پروتئین محلول برگ	Fv/Fm	Chla	Chlb	Chl a+b	پروتئین محلول برگ	Fv/Fm	Chla	Chlb	Chl a+b	
		میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ		(mlg ml^{-1})			میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ		(mlg ml^{-1})			تن در هکتار
جلی	T_1	۸۳/۹۰^{a}	۰/۸۳۲^{a}	۰/۰۶۷۷^{a}	۰/۰۰۲۲^{a}	۰/۰۶۹۷a	۸۷/۱۹^{a}	۰/۸۳۰^{a}	۰/۰۷۷^{a}	۰/۰۰۲۵^{a}	۰/۰۸۰^{a}	۶۲/۳۰^{a}
	T_2	۷۱/۴۱^{c}	۰/۷۹۳^{c}	۰/۰۶۵۲^{cd}	۰/۰۰۲۱c	۰/۰۶۷۲^{cd}	۷۶/۶۳^{c}	۰/۸۲۷^{b}	۰/۰۷۲^{c}	۰/۰۰۲۲^{c}	۰/۰۷۴^{c}	۵۷/۱۱^{c}
	T_3	۷۷/۴۲^{b}	۰/۸۱۸^{b}	۰/۰۶۶۷^{b}	۰/۰۰۲۲^{ab}	۰/۰۶۸۷^{b}	۸۱/۴۳^{b}	۰/۸۱۳^{cd}	۰/۰۷۶^{b}	۰/۰۰۲۳^{b}	۰/۰۷۸^{b}	۵۹/۲۳^{b}
	T_4	۵۹/۸۱^{d}	۰/۷۷۰^{e}	۰/۰۶۳۲^{e}	۰/۰۰۱۹^{d}	۰/۰۶۵۲^{e}	۷۲/۰۴^{d}	۰/۸۱۰^{cd}	۰/۰۷۱^{d}	۰/۰۰۲۲^{d}	۰/۰۷۳^{d}	۵۳/۵۵^{e}
	T_5	۶۸/۶۱^{cd}	۰/۷۹۳^{c}	۰/۰۶۴۸^{d}	۰/۰۰۲۱^{c}	۰/۰۶۶۸^{d}	۷۲/۹۶^{d}	۰/۸۰۰^{e}	۰/۰۶۵^{e}	۰/۰۰۲۱^{e}	۰/۰۶۷^{e}	۵۴/۱۲^{d}
	T_6	۵۹/۰۴^{d}	۰/۷۸۲^{d}	۰/۰۶۲۵^{ef}	۰/۰۰۱۹^{de}	۰/۰۶۴۵^{ef}	۶۵/۴۱^{e}	۰/۸۰۸^{d}	۰/۰۶۲^{f}	۰/۰۰۱۷^{f}	۰/۰۶۴f	۴۸/۹۴f
فونتین	T_1	۷۵/۸۲^{a}	۰/۸۱۳^{a}	۰/۰۶۵۲a	۰/۰۰۲۲^{a}	۰/۰۶۷۰^{a}	۸۱/۱۶^{a}	۰/۸۲۳^{a}	۰/۰۷۷^{a}	۰/۰۰۲۵^{a}	۰/۰۸۰^{a}	۵۶/۱۱^{a}
	T_2	۶۳/۶۳^{b}	۰/۷۶۸^{d}	۰/۰۶۲۸^{c}	۰/۰۰۲۰^{d}	۰/۰۶۴۸^{c}	۷۰/۳۳^{c}	۰/۸۲۰^{b}	۰/۰۷۰^{c}	۰/۰۰۲۴^{b}	۰/۰۷۲^{c}	۴۸/۳۳^{c}
	T_3	۷۰/۶۸^{ab}	۰/۷۸۷^{b}	۰/۰۶۴۵^{b}	۰/۰۰۲۱^{b}	۰/۰۶۶۵^{b}	۷۶/۹۳^{b}	۰/۸۱۳^{c}	۰/۰۷۳^{b}	۰/۰۰۲۲^{c}	۰/۰۷۵^{b}	۵۱/۹۴^{b}
	T_4	۵۸/۰۶^{bc}	۰/۷۶۰^{e}	۰/۰۶۱۳^{d}	۰/۰۰۱۹^{d}	۰/۰۶۳۲^{e}	۶۹/۰۴^{c}	۰/۸۰۳^{de}	۰/۰۶۸^{d}	۰/۰۰۲۰^{e}	۰/۰۷۰^{d}	۴۷/۱۰^{e}
	T_5	۶۲/۵۷^{b}	۰/۷۸۳^{c}	۰/۰۶۲۵^{c}	۰/۰۰۲۰c	۰/۰۶۴۲^{cd}	۶۷/۶۶^{c}	۰/۸۰۷^{e}	۰/۰۶۵^{e}	۰/۰۰۲۱^{d}	۰/۰۶۷^{e}	۴۵/۳۳^{d}
	T_6	۵۷/۲۷^{c}	۰/۷۶۳^{de}	۰/۰۶۰۸^{d}	۰/۰۰۱۸^{e}	۰/۰۶۲۸^{e}	۶۲/۶۸^{d}	۰/۸۰۷^{e}	۰/۰۵۹^{f}	۰/۰۰۱۸^{f}	۰/۰۶۱^{f}	۴۳/۲^{f}
بورن	T_1	۷۱/۱۴^{a}	۰/۷۹۷a	۰/۰۶۵۷^{a}	۰/۰۰۲۱^{a}	۰/۰۶۷۷^{a}	۷۵/۶۳^{a}	۰/۸۲۸^{a}	۰/۰۷۶^{a}	۰/۰۰۲۵^{a}	۰/۰۷۹^{a}	۴۹/۱۰^{a}
	T_2	۶۰/۹۷^{b}	۰/۷۶۳^{cd}	۰/۰۶۱۵^{e}	۰/۰۰۱۹^{cd}	۰/۰۶۳۵^{d}	۶۶/۶۴^{c}	۰/۸۲۲^{b}	۰/۰۷۰^{d}	۰/۰۰۲۳^{b}	۰/۰۷۲^{c}	۴۴/۸۲^{c}
	T_3	۶۷/۱۵^{a}	۰/۷۹۳^{ab}	۰/۰۶۴۵^{b}	۰/۰۰۲۰^{b}	۰/۰۶۶۵^{b}	۷۲/۱۳^{a}	۰/۸۱۰^{c}	۰/۰۷۲^{c}	۰/۰۰۲۲^{c}	۰/۰۷۴^{b}	۴۷/۷۰^{b}
	T_4	۵۴/۰۵^{bc}	۰/۷۵۸e	۰/۰۶۰۰^{f}	۰/۰۰۱۷^{f}	۰/۰۶۲۰^{e}	۶۵/۹۹^{c}	۰/۸۱۲^{c}	۰/۰۶۷^{b}	۰/۰۰۲۱^{d}	۰/۰۶۹^{d}	۴۴/۱۱^{d}
	T_5	۶۰/۰۱^{b}	۰/۷۵۵^{e}	۰/۰۶۲۳^{d}	۰/۰۰۱۸^{e}	۰/۰۶۴۵^{c}	۶۴/۹۹^{c}	۰/۷۹۸^{d}	۰/۰۶۳^{e}	۰/۰۰۲۱^{d}	۰/۰۶۵^{e}	۴۲/۳۳^{e}
	T_6	۵۴/۳۲^{bc}	۰/۷۶۸^{c}	۰/۰۶۲۷^{cd}	۰/۰۰۱۹^{de}	۰/۰۶۴۷^{c}	۶۱/۶۴^{d}	۰/۷۹۸^{d}	۰/۰۶۰^{f}	۰/۰۰۱۷^{e}	۰/۰۶۲^{f}	۳۹/۸۶^{f}

*در هر مقایسه وجود حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم وجود تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

www.SID.ir
Archive of SID

Archive of SID

نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققان (Ozgen and Palta, 2004; Ozgen *et al*., 2006) در زمینه اثر کلسیم بر سیب‌زمینی مطابقت دارد. با توجه به تحقیقات انجام شده (Kleinhenz and Palta, 2002)، اگر در زراعت سیب‌زمینی کلسیم موجود در خاک، کم باشد و در گیاه نیز به اندازه کافی وجود نداشته باشد (مخصوصا در شرایط دمای بالا)، آنزیم پلی‌گالاکتوروناز فعال شده و باعث تجزیه و تخریب پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی می‌شود و به‌دنبال آن دیواره سلولی دچار از هم‌پاشیدگی می‌شود. علاوه بر آن کمبود کلسیم باعث کاهش فشار آماس و کاهش رشد در ریشه سیب‌زمینی و به‌دنبال آن کاهش جذب آب و مواد غذایی از خاک و نهایتا کاهش عملکرد می‌شود (Kleinhenz and Palta, 2002). هم‌چنین گزارش شده است که وجود کلسیم در محیط ریشه، موجب افزایش محتوای Ca^{+2} برگ، افزایش مقاومت حرارتی غشاء، هدایت روزنه و افزایش تولید غده در سیب‌زمینی می‌شود (Kleinhenz and Palta, 2002). در خصوص اثر جاسمونیک-اسید نیز ثابت شده است که کاربرد توبرونیک اسید (یکی از مشتقات جاسمونیک اسید) با ایجاد اخلال در میکروتوبول‌های قشری سلول‌های ریزوم، از طریق تغییر فرآیندهای بیوشیمیایی مانند تغییر در تعادل هورمونی در نوک ریزوم، اجازه می‌دهد تا رشد شعاعی مرتبط با غده‌زایی صورت بگیرد و منجر به افزایش تعداد غده و نهایتا افزایش عملکرد شود (Matsuki *et al*., 1992). کاربرد جاسمونیک‌اسید در سیب‌زمینی موجب افزایش ضخامت مریستم و کاهش طول برگ اولیه در ناحیه قلاب مانند ریزوم می‌شود، و در ناحیه متورم شده ریزوم باعث تمایز بافت‌های اولیه آوندی و به‌خصوص عناصر آوندی چوبی و نهایتا بزرگ شدن مریستم و غده‌زایی می‌شود (Cenzano *et al*., 2007). در بررسی که در تولید گلخانه‌ای سیب‌زمینی صورت گرفت (Prauski *et al*., 2003) مشاهده شد که بیش‌ترین تعداد ریزغده در ارقامی به‌دست آمد، که با اسیدجاسمونیک تیمار شدند که با نتایج این تحقیق منطبق می‌باشد.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج این تحقیق مشخص شد که جاسمونیک‌اسید و کلسیم، در هر دو مرحله قبل و بعد از ریزوم‌دهی، از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باعث کاهش اثرات نا مطلوب تنش دمایی و به‌دنبال آن، افزایش معنی‌دار عملکرد در هر سه رقم مورد آزمایش نسبت به شاهد شد. به‌علاوه این اثر مطلوب، زمانی که جاسمونیک‌اسید و کلسیم به-صورت ترکیبی و قبل از ریزوم‌دهی اعمال شد بیش‌تر بود. پس چنین می‌توان استنباط نمود که کاربرد تیمار ترکیبی جاسمونیک‌اسید و کلسیم در مرحله قبل از ریزوم‌دهی، علاوه بر کاهش اثرات سوء تنش دما، از طریق تحریک و افزایش غده‌زایی باعث حصول عملکرد بیش‌تر نسبت به سایر تیمارهای مورد بررسی می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

Akula, N., Shashank, K., Pandey, C., Upadhyaya, P., Jeon, J. H., Hyun, S. K., Se, C. C., Kim, D.H. and Park, S. W. 2012. Role of Ca^{2+}-mediated signaling in potato tuberization, an overview. Botanical Studies, 53: 177-189.

Anjum, S. A., Wang, L., Farooq, M., Khan, I. and Xue, L. 2011. Methyljasmonate-induced alteration in lipid peroxidation, antioxidative defense system and yield in soybean under drought. Journal of Agronomy and Crop Science, 197: 296–301.

Arnon, D. I. 1940. Copper enzymes in isolated chloroplats polyphenol oxidase. Journal of Plant Physiology, 45: 100-114.

Bandurska, H., Stroinski, A. and Jan, K. 2003. The effect of Jasmonate on the accumulation of ABA, proline and its influence on membrane injury under water deficient in two barley genotypes. Acta Physiologiae Plantarum, 25: 279–285.

Bai, X., Sun, C., Xie, J., Song, H., Zhu, Q., Su, Y., Qian, H. and Fu, Z. 2015. Effects of atrazine on photosynthesis and defense response and the underlying mechanisms in Phaeodactylum tricornutum. Environmental Science & Pollution Research, 22:17499–17507.

Blasco, B., Graham, N. S. and Broadley, M. R. 2015. Antioxidant response and carboxylate metabolism in Brassica rapa exposed to different external Zn, Ca, and Mg supply. Journal of Plant Physiology, 176: 16–24.

Bradford, M. 1976. Arapid and sensitive method for the quantization of protein utilizing the principle of protein- day binding. Annual Review of Biochemistry, 72: 248- 254.

Cakmak, I. and Horst, W. 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tip of soybean (Glysin max). Plant Physiology, 83: 463-468.

Cenzano, A., Abdala, G. and Hause, B. 2007. Cytochemical immuno-localization of oxide cyclase, a jasmonic acid biosynthetic enzyme, in developing potato stolons. Journal of Plant Physiology, 11: 1449-1456.

Dean, J. A. 1986. Legends handbook of chemistry CRC Press, pp 5: 96-101.

Erinle, K. O., Jiang, Z., Ma, B., Li, J., Chen, Y., Ur-Rehman, K., Shahla, A. and Zhang, Y. 2016. Exogenous calcium induces tolerance to atrazine stress in Pennisetum seedlings and promotes photosynthetic activity, antioxidant enzymes and psbA gene transcripts. Ecotoxicology and Environmental Safety, 132: 403–412.

Giannopolitis, C. and Ries, S. 1997. Super oxide dismutase occurrence in higher plant. Plant Physiology, 59: 304-314.

Guimara˜es, F. V. A., Lacerda, C. F., Marques, E. C., Miranda, M. R. A., Tarquinio Prisco, C. E. B. and Gomes-Filho, E. 2011. Calcium can moderate changes on membrane

www.SID.ir

Archive of SID

structure and lipid composition in cowpea plants under salt stress. Plant Growth Regultion, 65: 55–63.

Heath, R. L. and Pacher, L. 1969. Photo per oxidation in isolated chloroplast I Kinetics and stanchion metry of fatty acid per oxidation. Arch Biochemical Biophysics, 25: 89-98.

Hegar, H., Ueda, N. and Shal, S. V. 1996. Role of reactive oxygen metabolites in DNA damage and cell death in chemical hypoxic injury LLC-PK1 cells. American Journal of Plant Physiology, 271: 209-215.

Hetherington, A. M. and Brownlee, C. 2005. The generation of Ca^{2+} signals in plants. Annual Review of Plant Biology, 55: 401–27.

Kalaji, H. M. and Guo, P. 2008. Chlorophyll fluorescence: a useful tool in barley plant breeding programs. In: Photochemistry Research Progress, 12: 447-471.

Kar, M. and Mishra, D. 1976. Cataloes, Peroxides and poly phenol oxides activities during rice leaf senescence. Plant Physiology, 57: 315-319.

Karlsson-Bjorn, H., Palta, J. P. and Crump, P. M. 2006. Enhancing tuber calcium concentration may reduce incidence of black spot bruise injury in potatoes. Horticulture Science, 41(5): 1213-1221.

Kleinhenz, M. D. and Palta, J. P. 2002. Root zone calcium modulates the response of potato plant to heat stress. Physiologia Plantarum, 115: 111-118.

Kumar, D., Minhas, J.S. and, B. P. 2007. Calcium as a supplementery nutrient for potatoes grown under heat stress in sub-tropics. Potato Journal, 34 (3 - 4): 159-163.

Li, G., Peng, X. Q., Wei, L.T. and Kang, G. Z. 2013. Salicylic acid increases the contents of glutathione and ascorbate and temporally regulates the related gene expression in salt-stressed wheat seedlings. Gene, 529: 321–325.

Mahmood, M., Bidabadi, S. S., Ghobadi, C. and Gray, D. J. 2012. Effect of methyl jasmonate treatments on alleviation of polyethylene glycol-mediated water stress in banana (Musa acuminata cv. 'Berangan', AAA) shoot tip cultures. Plant Growth Regultion, 68: 161–169.

Martin- closes, L. I., Sol, S. and pelacho, A. M. 1998. Potential application of Jasmonic acid for Solanum tuberosum. micropropagation ISHS Acta Horticulturae 520: XXV International Horticultural Congress, Part 10: Application of Biotechnology and Molecular Biology and Breeding - In Vitro Culture.

Matsuki, T., Tazaki, H., Fujimori, T. and Hogetsu, T. 1992. The influences of jasmonic acid methyl ester on microtubules in potato cells and formation of potato tubers. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 56: 1329-1330.

Nakano, Y. and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in Spanish choloroplasts. Plant and cell physiology, 22(5): 867-880.

www.SID.ir

Archive of SID

Nishiyama, Y., Allakhverdiev, S. I., Yamamoto, H., Hayashi, H. and Murata, N. 2004. Singlet oxygen inhibits the repair of photosystem II by suppressing the translation elongation of the D1 protein in Synechocystis sp. Biochemistry, 43: 11321–11330.

Oxborough, K. 2004. Imaging of chlorophyll a fluorescence: theoretical and practical aspects of an emerging technique for the monitoring of photosynthetic performance. Journal of Experimental Botany, 55: 1195-1205.

Ozgen, S. and Palta, P. J. 2004. Supplemental calcium application influences potato tuber number and size. Horticulture Science, 40 (1): 102-105.

Ozgen, S., Karlsson, B. H. and Palta, P. J. 2006. Response of potatoes to supplemental calcium application under field condition: tuber calcium, yield, and incidence of internal brown spot. American Journal of Potato Resarche, 83: 195-204.

Pruski, K., Astatkie, T., Duplessis, P., Lewis, T., Nowak, J. and Struik, P. C. 2003. Use of jasmonate for conditioning of potato plantlets and microtubers in greenhouse production of minitubers. American Journal of Potato Research, 80: 183-193.

Qiu, Z. B., Guo, J. L., Zhu, A. J., Zhang, L. and Zhang, M. M. 2014. Exogenous jasmonic acid can enhance tolerance of wheat seedlings to salt stress. Ecotoxicology and Environmental Safety, 104: 202–208.

Qiu, Z. B., Li, J. T., Zhang, M.M., Bi, Z. Z. and Li, Z. L. 2013. He–Ne laser pretreatment Protects wheat seedlings against cadmium-induced oxidative stress. Ecotoxicology and Environmental Safety, 88: 135–141.

Rezai, S., Orojloo, M., Bidabadi, S. S. and Soleimanzadeh, M. 2013. Possible role of methyl jasmonate in protection to NaCl-induced salt stress in pepper cv. "Green Hashemi". International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 17: 1235–1238.

Sasaki-Sekimoto, Y., Taki, N. and Obayashi, T. 2005. Coordinated activation of metabolic pathways for antioxidants and defence compounds by jasmonates and their roles in stress tolerance in Arabidopsis. The Plant Journal, 44: 653–668.

Seo, H. S., Kim, S. K., Jang, S. W., Choo, Y. S., Sohn, E.Y. and Lee, I. J. 2005. Effect of jasmonic acid on ndogenous gibberellins and abscisic acid in riceunder NaCl stress. Biologia Plantarum, 49: 447–450.

Shan, C. and Liang, Z. 2010. Jasmonic acid regulates ascorbate and glutathione metabolism in Agropyron cristatum leaves under water stress. Plant Science, 178: 130–139.

Tan, W., Meng, Q. W., Brestic, M., Olsovska, K. and Yang, X. H. 2011. Photosynthesis is improved by exogenous calcium in heat-stressed tobacco plants. Journal of Plant Physiology, 168: 2063–2071

www.SID.ir

Archive of SID

Trehan, S. P. and, B. P. 2013. Nutrient efficiency of different crop species and potato varieties – in retrospect and prospect. Potato Journal, 40 (1): 1-21.

Wu, F., Bao, W., Li, F. and Wu, N. 2008. Effect of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water use efficiency of Sophora davidii seedlings. Environal and Experimental Botany, 63: 248-255.

Yang, S., Wang, F., Guo, F., Meng, J. J., Li, X.G. and Wan, S. B. 2015. Calcium contributes to photoprotection and repair of photosystemII in peanut leaves during heat and high irradiance. Journal of Integrative Plant Biology, 57: 486–495.

Zhou, R., Li, B., Liu, H. and Sun, D. 2009. Progress in the participation of Ca2+–calmodulin in heat shock signal transduction, A Revie. Progress in Natural Science, 19: 1201–1208.

www.SID.ir