

اثر محلول پاشی کیتوزان و سالیسیلیک اسید بر عملکرد گیاه سیب زمینی (*Solanum tuberosum*) تحت شرایط کم آبیاری

Effect of foliar application of chitosan and salicylic acid on potato (*Solanum tuberosum*) yield under limited irrigation conditions

سید علی مروت^۱، رضا صدرآبادی حقیقی^{۱*}، علیرضا سوهانی دربان^۱، کوروش شجاعی نوفرست^۲، منصور صلاتی^۳

۱. گروه علوم کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.
۲. استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۳. استادیار پژوهش در بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲ شناسانه برنمود رقمی: ۱۰,۲۲۰۹۲/AJ.۲۰۲۲,۳۵۷۴۹۰,۱۵۸۵

چکیده

مروت، س.ع.، صدرآبادی حقیقی، ر.، شجاعی نوفرست، ک.، سوهانی دربان، ع.، صلاتی، م. . اثر محلول پاشی کیتوزان و سالیسیلیک اسید بر عملکرد گیاه سیب زمینی (*Solanum tuberosum*) تحت شرایط کم آبیاری
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۵- شماره ۱- پیاوند ۱۳۴ بهار ۱۴۰۱ صفحه: ۷۱-۵۴

به منظور بررسی اثر تنش کم آبی بر ویژگی های رشد رویشی و غده سیب زمینی و اثر محلول پاشی کیتوزان و سالیسیلیک اسید بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک سیب زمینی آزمایشی به صورت اسپلیت پلات و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی و در سه تکرار در منطقه فریمان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح آبیاری (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و محلول پاشی کیتوزان و سالیسیلیک اسید (شاهد، ۲ گرم در لیتر کیتوزان، ۰/۵ گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و ترکیب کیتوزان و سالیسیلیک اسید) بود. سطوح آبیاری در پلات-های اصلی و تیمارهای محلول پاشی در تیمارهای فرعی قرار گرفتند. نتایج این آزمایش نشان داد که با کاهش حجم آبیاری به میزان ۲۰٪ نیاز آبی نیز می توان به عملکردی مشابه با عملکرد در شرایط آبیاری کامل دست یافت. میزان پرولین برگ در شرایط تنش ملایم (۸۰ درصد آبیاری) تحت تاثیر محلول پاشی با کیتوزان قرار گرفت به نحوی که غلظت این اسید آمینه تحت تاثیر محلول پاشی با مخلوط سالیسیلیک اسید و کیتوزان به بیش از دو برابر افزایش یافت. محلول پاشی کیتوزان و سالیسیلیک اسید بصورت مجزا و یا بصورت ترکیبی در تیمارهایی که تحت کم آبیاری به میزان ۲۰ و ۴۰ درصد قرار گرفتند نیز باعث حفظ غلظت آنزیم گلوکوتایون پراکسیداز شدند. با توجه به نتایج این آزمایش می توان چنین نتیجه گیری کرد که اگرچه این ترکیبات نقش قابل توجهی در تقابل گیاه سیب زمینی با شرایط کم آبیاری دارد اما زمان و دز مصرف آن نیاز به تحقیقات دقیق تری دارد.

واژه های کلیدی: پرولین برگ، کم آبیاری، گلوکوتایون پراکسیداز

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: rsadrabadi@mshdiau.ac.ir

مقدمه

سیب زمینی یکی از محصولات غده‌ای است که نقش مهمی در تغذیه و سبد غذایی انسان دارد و بعد از گندم، برنج و ذرت بیشترین سهم را در میزان تولید محصولات غذایی دارا می‌باشد (Fabeiro *et al.*, 2001). این گیاه در کشور از لحاظ سطح زیر کشت و عملکرد، رتبه اول را در بین دسته محصولات سبزی و صیفی به خود اختصاص داده است (Ahmadi *et al.*, 2016). تنش خشکی مهمترین عامل محدود کننده تولیدات کشاورزی به شمار می‌رود، که گیاه را از رسیدن به حداکثر رشد و توان محصول دهی باز می‌دارد (Nohong & Nompo, 2015). در مناطق خشک و نیمه خشک جهان مانند ایران، آب محدودیت اصلی بوده و خشکی از جمله مهمترین عوامل القا کننده تنش در گیاهان زراعی به حساب می‌آید. تنش خشکی بر روی عملکرد محصول تأثیر منفی گذاشته و اغلب باعث ایجاد کاهش معنی دار عملکرد می‌شود (Rabiee *et al.*, 2010). در چنین شرایطی با استفاده از تکنیک‌های کم آبیاری می‌توان به صرفه جویی و بهره‌وری آب در بخش کشاورزی کمک نمود (Kafi *et al.*, 2009). البته آنچه از اتخاذ این روش مورد انتظار است آن است که، هیچ کاهش عملکرد معنی داری در قبال حفظ ارزشمند این ذخیره آبی اتفاق نیفتد (Alizadeh, 2006). شدت، زمان و مدت کمبود رطوبت خاک در طی مراحل مختلف رشد سیب زمینی بر عملکرد این گیاه تأثیرگذار است (Shojaei Nofarst, 2014). از منظر فیزیولوژی گیاهی، خشکی منجر به کاهش گسترش

سلولی و تغییرات در فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی می‌شود که بر رشد، تولید و عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارد (Elhani *et al.*, 2019). گیاهان در شرایط خشکی از راه‌های مختلف از جمله بستن روزنه‌ها، تنظیم اسمزی، تجمع مواد محلول سازگار از جمله قند، پرولین، فنل‌های آزاد و همچنین سنتز برخی از آنزیم‌های متعادل کننده شرایط تنش از خشکی اجتناب می‌کنند (Farooq *et al.*, 2016).

تنظیم اسمزی به عنوان یکی از ساز و کارهای سازگاری گیاه در برابر تنش خشکی در نظر گرفته شده است که از طریق تجمع مواد محلول می‌تواند منجر به حفظ تورژسانس سلول‌ها و فرآیندهای وابسته به آن در پتانسیل-های پایین آب شود. کربوهیدرات‌ها به عنوان تنظیم کننده‌های اسمزی نقش اصلی در متابولیسم گیاه دارند و در واکنش به تنش-های غیرزنده شرکت می‌کنند (Barnabas *et al.*, 2008). تجمع پرولین در گیاهان تحت تنش خشکی به واسطه سنتز پرولین و غیر فعال شدن تخریب آن است. افزایش محتوای پرولین در شرایط تنش خشکی باعث محافظت غشای سلولی، پروتئین‌ها، آنزیم‌های سیتوپلاسمی و مهار گونه‌های فعال اکسیژن و حذف رادیکال-های آزاد می‌گردد (Ghorbani *et al.*, 2013). یکی دیگر از ساز و کارهای دفاعی غیر آنزیمی برای مقابله با تنش اکسیداتیو القاء شده توسط خشکی در گیاهان، تجمع ترکیبات فنلی است. ترکیبات فنلی به عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد عمل کرده و سبب مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های اکسیداتیو می‌شوند (Schaller &

(Kieber, 2002).

(Hardrami *et al.*, 2010) و باعث مقاومت گیاه در مقابل تنش های اکسیداتیو و تحریک رشد گیاه می شود (Hussain *et al.*, 2019). استفاده از غلظت های مناسب سالیسیلیک اسید نقش محوری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف از جمله جوانه زنی بذر، بسته شدن روزنه، مهار بیوسنتز اتیلن گیاه، افزایش میزان فتوسنتز و محتوای کلروفیل و تولید میوه دارد و با تأثیر بر فعالیت آنزیم های کاتالاز و پراکسیدازها و تنظیم کننده های اسمزی مثل پرولین، گلايسین و بتائین آثار منفی ناشی از تنش خشکی، فلزات سنگین، گرما، سرما و شوری را کاهش می دهد (Pirbalouti *et al.*, 2014). هدف از این مطالعه بررسی امکان تعدیل اثرات تنش کم آبی بر عملکرد سیب زمینی با استفاده از ترکیبات کیتوزان و سالیسیلیک اسید بود.

مواد و روشها:

این آزمایش در منطقه فریمان و در مزرعه ای واقع در ۷۰ کیلومتری جنوب مشهد با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷۵ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۸۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریا که بر اساس طبقه بندی اقلیمی دوما رتن دارای اقلیم سرد و نیمه خشک می باشد، در سال ۱۳۹۸ انجام شد. آزمایش بصورت اسپلٹ پلات و در قالب بلوک های کامل تصادفی، در سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل سطوح آبیاری مختلف، کاربرد کیتوزان، کاربرد سالیسیلیک اسید و کاربرد توآمان هردو بود. سطوح آبیاری مورد استفاده شامل آبیاری کامل (۱۰۰٪ نیاز آبی)، ۸۰٪ نیاز آبی و ۶۰٪ نیاز آبی که در پلات های

همچنین نتایج برخی مطالعات نشان داده است که آنزیم های واجد بخش پروتئینی تیول دارای نقش مهمی در واکنش به رادیکال های فعال اکسیژن هستند (Hussain *et al.*, 2019). از مهمترین این آنزیم ها، گلوکاتایون پراکسیداز است. این آنزیم نقش مهمی در مقابله با تنش اکسیداسیونی و ایجاد تعادل بین رادیکال های آزاد اکسیژن دارد. چنین نقشی ممکن است به طور مستقیم با واکنش بدون واسطه یا از طریق ساز و کار آنزیمی با کاهش غلظت پراکسید هیدروژن صورت پذیرد (Petriccione *et al.*, 2015). هم چنین فعالیت گلوکاتایون پراکسیداز نقش بسیار مهمی در حفاظت غشاء سلولی بویژه در شرایط تنش دارد (Masoudi-Sadaghiani *et al.*, 2011). استفاده از محرک های زیستی مانند کیتوزان و همچنین تنظیم کننده های رشد گیاهی مانند سالیسیلیک اسید یکی از راهکارهای کاهش اثرات تنش های زیستی و غیرزیستی و افزایش عملکرد و کیفیت محصول می باشد. از ترکیبات با خواص الیستوری که مکانیسم های دفاعی گیاه در برابر تنش ها را القاء می کنند، می توان به کیتوزان اشاره نمود (Hardrami *et al.*, 2010). کیتوزان اخیراً به دلیل فعالیت آنتی اکسیدانی توجه محققین بسیاری را در سراسر جهان به خود جلب کرده است (Hussain *et al.*, 2019). فعالیت آنتی اکسیدانی کیتوزان از طریق مکانیسم های مختلف می باشد، از جمله باعث افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی است. همچنین به عنوان یک جاروب گر گونه های فعال اکسیژن عمل کرده

خیلی زیاد گزارش شده است. غده‌های بیضی بزرگ آن نیز اندازه خوبی دارند. این نوع برای فرآوری و استفاده در صنایع غذایی فرنیج فرایز بسیار مناسب می‌باشد. بعد از انتخاب بذر مناسب کشت در دو طرف پشته‌های عریض به عرض ۱/۵ متر و فاصله بوته ۲۰ سانتی‌متر و در عمق ۱۵ سانتی‌متری انجام شد و بلافاصله کلیه کرت‌ها به شکل یکنواخت و به طور کامل (بدون اعمال تیمارهای تنش) آبیاری شدند.

اندازه‌گیری عملکرد:

به منظور اندازه‌گیری عملکرد سبب زمینی پس از حذف حاشیه (حذف ۰/۵ متر از ابتدا و انتها و دو ردیف کناری هر پلات فرعی) ۳ متر طولی از دو خط وسط هر پلات فرعی (۴/۵ متر مربع) که شامل ۳۰ بوته بود، انتخاب و عملکرد آنها مورد ارزیابی قرار گرفت.

اندازه‌گیری متابولیت‌های ثانویه:

به منظور اندازه‌گیری پارامترهای بیوشیمیایی نظیر غلظت کربوهیدرات‌های محلول، غلظت فنل کل و غلظت پرولین برگ، در تاریخ ۵ مهرماه سال ۱۳۹۸ مصادف با اواسط مرحله پرشدن غده‌ها از تیمارهای آزمایشی نمونه‌های برگ‌ها برداشت شد (۳۶ نمونه). به این منظور ابتدا برگ‌های مورد نظر توسط آبهشان با آب مقطر شستشو داده شد و سپس با استفاده از میکروتیوپ از فاصله بین رگبرگ میانی و حاشیه برگ نمونه‌های دیسکی برداشت شده و بلافاصله با استفاده از نیتروژن مایع منجمد شدند. نمونه‌ها با استفاده از فلاسک حاوی نیتروژن مایع به آزمایشگاه آورده شده و تا زمان اندازه‌گیری در

اصلی تصادفی شدند. با جستجو در منابع و بررسی آزمایشات دیگر پژوهشگران، کیتوزان با غلظت ۲ گرم برلیتر، سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ گرم برلیتر به عنوان تیمارهای محلول پاشی، به همراه تیمار شاهد و تیمار توآمان کیتوزان و سالیسیلیک اسید به عنوان پلات‌های فرعی در هر یک از پلات‌های اصلی تصادفی شدند. سالیسیلیک اسید و کیتوزان استفاده شده در این آزمایش به ترتیب ساخت شرکت‌های مرک و آلدریچ با درصد خلوص ۹۹/۹ درصد بودند. ابعاد پلات‌های اصلی ۱۲ متر در ۶ متر بودند. هر پلات فرعی شامل چهار ردیف با عرض ۱/۵ متر بود. فاصله ردیف‌های کاشت ۷۵ سانتی‌متر بود. ابعاد پلات‌های فرعی برابر ۳ متر در ۶ متر بودند. تیمارهای کم‌آبیاری، ۲۰ روز پس از سبز شدن کامل گیاه و از مرحله رشد رویشی به بعد در هر دور آبیاری اعمال شدند. محلول پاشی کیتوزان و سالیسیلیک اسید طی دو مرحله در فصل رشد گیاه که مصادف با شروع گلدهی (مرحله آغازش غده‌ها) و اواسط مرحله رشد غده‌ها (در حدود ۶۰ روز پس از سبز شدن کامل گیاه) بود، انجام شد. نیاز آبی گیاه بر اساس میزان آب مورد نیاز سبب زمینی که با استفاده از نرم افزار (OPTIWAT) در شرایط فریمان مشخص شد، کشت به صورت دستی و با کارگر انجام شد. کشت در اوایل تیر ماه سال ۱۳۹۸ و در مزرعه مذکور انجام گرفت. بذر از رقم فونتانه کلاس B انتخاب شد. این بذر نیمه زودرس می‌باشد. شاخ و برگ‌های آن نیز نسبتاً خوب رشد می‌کنند. رنگ پوستش نیز زرد و گوشتش زرد کمرنگ می‌باشد. عملکرد این محصول زیاد تا

فریزر با دمای ۷۰- درجه سانتی گراد نگهداری شدند.

غلظت کربوهیدرات های محلول:

کربوهیدرات های محلول برگ با استفاده از روش فنل سولفوریک اسید و استاندارد گلوکز تعیین شد (Dubois et al., 1956). بدین منظور ۱۰۰ میلی گرم از نمونه های تازه برگ با استفاده از هموژنایزر و میکروتیوب ۱/۵ میلی لیتری در اتانول ۷۰٪ هموژنایز شده و به مدت ۲۰ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. مواد جامد نامحلول با استفاده از سانتریفیوژ ۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه جدا شدند. مقدار متناسبی از محلول بالایی به نسبت حجمی ۲، ۲ و ۱ بترتیب محلول استخراج شده با کلروفرم و آب مقطر مخلوط شد (بترتیب ۲۰۰، ۲۰۰ و ۱۰۰ میکرولیتر). پس از چند ثانیه تکان شدید مقدار متناسبی از محلول شفاف بالایی را جدا نموده و سپس با نسبت حجمی ۲ به ۱ با فنول (۴ به ۱ نسبت وزن به حجم فنل و آب مقطر) مخلوط کرده (بترتیب ۲۰ و ۱۰ میکرولیتر) و در نهایت با اسید سولفوریک ۹۸ درصد (۶۰۰ میکرولیتر) به حجم مشخص رسانده شد و در نهایت پس از ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد میزان جذب در ۴۸۰ نانومتر قرائت شد.

غلظت پرولین:

میزان پرولین در بافت برگ براساس روش باتس اندازه گیری شد (Bates, 1973). ابتدا نمونه های برگ (۱۰۰ میلی گرم) با استفاده از هموژنایزر و میکروتیوب در یک میلی لیتر اسید سولفوسالیسیلیک (۳ درصد) هموژنایز شدند.

مواد جامد نامحلول با استفاده از سانتریفیوژ ۳۰۰۰ جی در پنج دقیقه جدا شدند. به ۲۰۰ میکرولیتر از محلول استخراجی، ۲۰۰ میکرولیتر اسید استیک گلاسیال و ۲۰۰ میکرولیتر معرف ناین هیدرین اضافه شد. مخلوط واکنش در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد. بعد از سرد شدن مخلوط واکنش ۶۰۰ میکرولیتر تولوئن به آن اضافه شد. غلظت پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر از محلول رنگی بالایی خوانده شد. مقدار غلظت پرولین با استفاده از منحنی استاندارد پرولین تعیین گردید. جهت تهیه معرف ناین هیدرین از مخلوط کردن ۵ میلی گرم ناین هیدرین، ۸۰ میکرولیتر اسید فسفریک ۶ مولار و ۱۲۰ میکرولیتر اسید استیک گلاسیال استفاده شد.

غلظت فنل کل:

غلظت فنل کل نیز براساس روش فولین شیکالتو تعیین شدند (Singleton & Rossi, 1965). صد میلی گرم نمونه برگ با استفاده از هموژنایزر و میکروتیوب ۱/۵ میلی لیتری در اتانول ۷۰٪ هموژنایز شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. مواد جامد نامحلول با استفاده از سانتریفیوژ ۳۰۰۰ جی در پنج دقیقه جدا گردیدند. ۲۰ میکرولیتر از محلول استخراج شده، یک میلی لیتر آب دو تقطیر و ۲۰ میکرولیتر معرف فولین شیکالتو اضافه شده و سپس بعد از ۵ دقیقه (۲۰ درصد وزن به حجم) اضافه شده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق در تاریکی نگهداری شدند. میزان فنل کل با استفاده از جذب در طول موج ۷۶۵ نانومتر

آبیاری باعث کاهش عملکرد به میزان ۲۸٪ نسبت به تیمار آبیاری کامل شد (جدول ۲). با وجود این که نتایج تجزیه واریانس عدم تاثیر تیمارهای محلول پاشی را بر عملکرد سیب زمینی نشان داد اما مقایسه میانگین ها نشان داد که سیب زمینی در تیمار محلول پاشی با سالیسیلیک اسید بیشترین عملکرد را داشته است. کمترین میزان عملکرد نیز در تیمار تلفیقی کیتوزان و سالیسیلیک اسید بدست آمد (جدول ۲). پاسخ به تنش های رطوبتی در سطوح گیاه و مزرعه همواره بسیار پیچیده است، زیرا این نوع از پاسخ که توسط گیاه و یا مجموعه ای از گیاهان داده می شود، بازتابی از تجمع اثرات مختلف تنش وارده (که می تواند آن هم مجموعه ای از تنش ها باشد) در سطوح زمان و مکان است (Kafi et al., 2009). طی مطالعات مختلفی مشخص شده است که سیب زمینی به کاهش میزان آب در خاک و به میزان بیش از ۳۰ تا ۴۰ درصد محدوده ظرفیت زراعی حساسیت نشان داده و دچار خسارت می شود (Wegener et al., 2014). کاهش عملکرد غده تحت تاثیر تیمارهای تنش اعمال شده در این مطالعه نیز بیانگر حساسیت بالای عملکرد سیب زمینی به کاهش میزان آب در دسترس می باشد و نتایج این تحقیق بخوبی نشان می دهد که جهت دستیابی به عملکرد مطلوب غده، باید انجام آبیاری را به کمتر از ۲۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک ماکول نکرد. کاهش در عملکرد غده سیب زمینی در تقابل با تنش آبی توسط بسیاری از محققین نیز گزارش شده است (Ayas & Korukcu, 2010; Elhani et al., 2019; Karam et al., 2014). تنش کم

و استاندارد گالیک اسید بر حسب میلی گرم در گرم ماده خشک تعیین گردید.

اندازه گیری فعالیت آنزیم گلوکاتایون

پراکسیداز:

فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز با استفاده از روش کرووری، مورد ارزیابی قرار گرفت (Korori, 1989). ابتدا ۲ میلی لیتر بافر استات و ۲۰۰ میکرو لیتر محلول بنزیدین و ۲۰۰ میکرو لیتر پراکسید هیدروژن را در حمام یخ مخلوط نموده و بلافاصله پس از اضافه شدن ۱۰۰ میکرو لیتر عصاره آنزیمی به آن، عدد جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۰ نانومتر ثبت شد. میزان فعالیت آنزیم در نمونه های مختلف براساس فعالیت آنزیم در هر میلی گرم پروتئین محاسبه گردید.

تجزیه آماری:

پس از جمع آوری داده ها برای بررسی همگنی واریانس ها از آزمون بارتلت، تجزیه واریانس از برنامه Mini Tab و برای رسم کلیه جداول از نرم افزار Word استفاده شد. جهت مقایسه میانگین ها از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۰.۵٪ استفاده شد.

نتایج و بحث:

عملکرد:

اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد در سطح آماری ۰.۵٪ معنی دار بود، اما اثر تیمارهای محلول پاشی و اثر متقابل تیمارهای آبیاری و محلول پاشی بر عملکرد معنی دار نبود (جدول ۱). ۲۰٪ کاهش در میزان آب آبیاری اثر معنی داری بر عملکرد در مقایسه با تیمار ۱۰۰٪ آبیاری نداشت، اما کاهش ۴۰٪ در میزان آب

(جدول ۲).

افزایش غلظت قندهای محلول یکی از روش های تنظیم اسمزی در گیاهان تحت شرایط تنش است. در آزمایش مسعودی صادقیانی و همکاران، غلظت قندهای محلول تحت تاثیر تنش افزایش یافت، اما اثر مرحله وقوع تنش و نیز برهم کنش تنش و مرحله وقوع معنی دار نبود (Masoudi-Sadaghiani *et al.*, 2011). در آزمایشی دیگر نیز تنش اسمزی سبب افزایش غلظت قندهای محلول در برگ های سیب زمینی شد (Wegener *et al.*, 2014). براساس نظر این محققان، قندهای محلول می توانند به عنوان محافظت کننده های اسمزی، سبب حفظ آب سلول در شرایط پساایدگی شده و ضمن حفظ فشار تورژسانس سلول، از غشاهای سلولی در این شرایط محافظت کنند.

محتوای پرولین برگ:

غلظت پرولین برگ سیب زمینی در تیمارهای متفاوت آبیاری با یکدیگر اختلاف آماری نداشتند. غلظت پرولین در تیمارهای متفاوت محلول پاشی کیتوزان و سالیسیلیک اسید نیز مشابه بود و تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۱). بررسی اثرات متقابل تیمارهای آبیاری و محلول پاشی بر غلظت پرولین برگ نشان داد که گیاهان سیب زمینی تحت تیمارهای تنش ملایم (۸۰ درصد آبیاری) به محلول پاشی واکنش نشان داده به طوریکه محلول پاشی با مخلوط کیتوزان و سالیسیلیک اسید سبب افزایش ۱۱۶ درصدی غلظت پرولین در این تیمار شد. سالیسیلیک اسید با القای برهمکنش های حفاظتی با واسطه هورمون

آبی بر همه مراحل رشد محصول سیب زمینی اثرگذار بوده و سبب کاهش عملکرد می شود، اما بسته به زمان، شدت و مدت تنش آبی ایجاد شده، می تواند اثرات آن بر رشد و عملکرد غده سیب زمینی دارای نتایج متفاوتی باشد (Kifle & Gebretsadikan, 2016). البته نتایج حاصل از مطالعه الهانی و همکاران، نشان داد که اثرات تنش آبی بر کاهش عملکرد غده های سیب زمینی در مرحله آغازش غده ها و مرحله پرشدن آنها شدیدتر و ملموس تر است (Elhani *et al.*, 2019).

درصد قند محلول برگ:

میزان قند محلول در برگ سیب زمینی تحت تاثیر تیمارهای آبیاری قرار گرفت (جدول ۱). اگر چه اثر آبیاری بر میزان قندهای محلول غیر معنی دار بود ولی مقایسه میانگین ها نشان داد که در شرایط ۶۰٪ آبیاری کامل میزان قندهای محلول برگ بطور معنی داری بیشتر از شرایط آبیاری کامل است. تیمار ۸۰٪ آبیاری کامل نیز سبب افزایش میزان غلظت قندهای محلول برگ نسبت به شاهد شد، اما غلظت قند در این تیمار تفاوت آماری با تیمارهای آبیاری کامل و ۶۰٪ آبیاری کامل نداشت (جدول ۲). استفاده از محلول پاشی کیتوزان سبب افزایش اندک مقدار قندهای محلول برگ نسبت به تیمار شاهد شد، اما این تفاوت در میزان قندهای محلول در تیمارهای مختلف محلول پاشی معنی دار نبود. همینطور کاربرد سالیسیلیک اسید به تنهایی و کاربرد ترکیبی کیتوزان و سالیسیلیک اسید بطور معنی داری نسبت به شاهد سبب افزایش یا کاهش میزان قندهای محلول برگ نشد

داد که بیشترین غلظت فنل آزاد متعلق به تیمار محلول پاشی با کیتوزان و کمترین آن متعلق به تیمار محلول پاشی با سالیسیلیک اسید است. دو تیمار شاهد و محلول پاشی توآمان کیتوزان و سالیسیلیک اسید با یکدیگر و همچنین با تیمارهای حداقل و حداکثر اختلاف آماری نداشتند (جدول ۲). بررسی اثرات متقابل آبیاری و محلول پاشی بر غلظت فنل آزاد برگ نشان داد بیشترین میزان فنل آزاد متعلق به تیمار ۱۰۰٪ آبیاری و مصرف توآمان کیتوزان و سالیسیلیک اسید و کمترین میزان فنل آزاد مربوط به تیمار ۶۰٪ آبیاری و مصرف توآمان کیتوزان و سالیسیلیک اسید است (جدول ۲). آنچه از نتایج اثرات متقابل بر میزان غلظت فنل آزاد برگ سیب زمینی در مطالعه حاضر می توان بیان نمود این است که تأثیر میزان آبیاری بر این صفت بسیار موثرتر از میزان و یا نوع محلول پاشی است.

ترکیبات فنلی می تواند به عنوان بخشی از اجزای مهار کننده رادیکال های آزاد یا کلات کننده یون های فلزی فعال در واکنش های احیا که قادر به کاتالیز پراکسیداسیون لیپیدها هستند مصرف شوند (Kafi et al., 2009) و فلاونوئیدها یکی از بزرگترین گروه های ترکیبات طبیعی جزو ترکیبات فنلی می باشند. ترکیبات فنلی با انتشار وسیع در جوامع گیاهی و فعالیت های زیستی متنوع تأثیرات مطلوب آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی دارند. سالیسیلیک اسید و کیتوزان به عنوان مواد تعدیل کننده شرایط تنش باعث افزایش تحریک تولید متابولیت های ثانویه ای مانند ترکیبات فنلی در گیاه می شوند (Wang

اسید آبتسیسیک منجر به تجمع پرولین در گیاه می گردد (Yashiba et al., 2005). سالیسیلیک اسید با افزایش محتویات آب نسبی از طریق افزایش ترکیباتی نظیر پرولین، موجب حفظ فشار اسمزی، توسعه فتوسنتز و افزایش رشد گیاه می شود (Sanchez et al., 1998). سیب زمینی نیز در پاسخ به تنش آب، غلظت پرولین را با نقش های حفاظت کننده اسمزی، تنظیم کننده اسمزی و جاروکننده گونه های فعال اکسیژن، در سلول افزایش می دهد (Benavides et al., 2000). همچنین محققین دیگری افزایش غلظت پرولین در سیب زمینی تحت تاثیر تنش آب را به عنوان پاسخ اصلی این محصول به تنش گزارش کردند (Masoudi-Sadaghiani et al., 2011). گیاهانی که تحت شرایط تنش پرولین را در سلول های خود تجمع می دهند، معمولاً در شرایط عدم تنش دارای مقادیر کمی از این آمینو اسید هستند (Stewart & Hanson, 1980). تیکزریا و پریرا، افزایش معنی دار سطوح پرولین برگ تحت شرایط تنش را به میزان ۱/۶ برابر شرایط عدم تنش گزارش کردند (Teixeira & Pereira, 2006).

درصد فنل آزاد:

بر اساس مقایسه میانگین ها، میزان فنل کل در شرایط بدون تنش بالاترین و در شرایط ۶۰٪ آبیاری کامل کمترین مقدار را دارا بود (جدول ۱). غلظت فنل آزاد تیمار ۸۰٪ آبیاری کامل حد واسط تیمارهای حداقل و حداکثر قرار گرفت و با هیچکدام از آنها اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۲). مقایسه میانگین غلظت فنل آزاد در تیمارهای مختلف محلول پاشی نشان

جدول ۱. نتایج تجزیه آماری عملکرد، مابولیت های ثانویه و شاخص گلوتاتیون پراکسیداز تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی
 میانگین مربعیات
 MS

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	عملکرد Yield	قند محلول Soluble carbohydrates	پروکلین Proline	فنل آزاد Free phenol	گلوتاتیون پروکسیداز Glutathione peroxidase
تکرار Replication (R) آبیاری (عامل اصلی)	2	80731059 ^{ns}	1.9 ^{ns}	1.104 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.036*
تکرار × آبیاری (خطای کرت اصلی) Irrigation (Main plot)(A) تکرار × آبیاری (خطای کرت اصلی) R×A (Main plots error)	2	444817517**	4.7 ^{ns}	8.009 ^{ns}	0.06*	0.035*
مجموع باشتی (عامل فرعی) Foliar application (subplot) (B)	3	32488813 ^{ns}	0.6 ^{ns}	1.035 ^{ns}	0.04*	0.008**
آبیاری × محمول باشتی A×B	6	42131313 ^{ns}	3.2 ^{ns}	8.33*	0.03 ^{ns}	0.005*
خطای کل Total Error	18	32935654	1.7	2.905	0.01	0.001
ضریب تغییرات C.V (%)		8.9	2.2	5.3	3.7	8.3

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد است.
 * and **: significant at 5% and 1% probability levels, respectively

شاهد بالاترین میزان غلظت و بعد از آن گیاهان سیب‌زمینی در تیمارهای کیتوزان و ترکیبی کیتوزان و سالیسیلیک اسید دارای بیشترین غلظت این آنزیم هستند. در تیمار محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید به تنهایی، کمترین میزان آنزیم گلوکوتایون پراکسیداز مشاهده شد. تیمار اخیر دارای تفاوت معنی‌دار از نظر این آنزیم با تیمار شاهد بود (جدول ۲). بررسی اثرات متقابل تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی بر میزان غلظت گلوکوتایون پراکسیداز نیز نشان داد، در تیمارهای آبیاری کامل کمترین میزان غلظت آنزیم گلوکوتایون پراکسیداز مربوط به تیمار محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید است. با کاهش میزان آبیاری غلظت این آنزیم کاهش یافت و محلول‌پاشی تأثیری بر غلظت این آنزیم در تیمارهای مختلف آبیاری کاهش یافته نداشت (جدول ۲).

با توجه به نقش غشا سلولی در تبادل انتخابی مواد و یونها، مکانیزم‌های حفاظتی و نقش گلوکوتایون پراکسیداز در حفاظت غشا سلولی و جلوگیری از پراکسیداسیون چربی‌های غشایی بسیار مهم می‌باشد (Park et al., 2021). براین اساس، اندازه‌گیری میزان پراکسیداسیون چربی‌های غشایی در شرایط تنش به عنوان یکی از شاخص‌های مهم مقاومت شناخته می‌شود (Kulak, 2020).

نتیجه‌گیری:

نتایج این آزمایش نشان داد که با کاهش حجم آبیاری به میزان ۲۰٪ نیز می‌توان به عملکردی مشابه با عملکرد در شرایط آبیاری کامل دست یافت. این نتیجه می‌تواند در شرایط

گزارش شده است (et al., 2004). ترکیبات فنلی با تیمار سالیسیلیک اسید از طریق القای فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمولیاژ و تیروزین آمولیاژ رخ می‌دهد. (Beaudion- Eaga & Thorpe, 1985). این آنزیم‌ها با ROS حاصل از تنش‌ها القا می‌شوند (Soleka & Kacperska, 2003). ارتباط بین فعالیت این آنزیم‌ها، سالیسیلیک اسید و فنل‌ها بیان‌کننده نقش تنظیمی سالیسیلیک اسید در سنتز فنل‌ها است (Chen et al., 2006). همچنین گزارش شده است که کیتوزان باعث افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمولیاژ از طریق افزایش بیان ژن این آنزیم می‌گردد (Mahdavianfard et al., 2021). به‌طور کلی تغییرات فنل کل تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی کمتر از صفات دیگر نظیر پرولین و قندهای محلول بود که مشابه یافته‌های محققین دیگر می‌باشد (Wegener et al., 2014). آنها گزارش کردند که اثر تنش آب بر غلظت فنل کمتر و نامشخص‌تر از این اثر بر آنتوسیانین و پراکسیداز می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد که این صفت نمی‌تواند به عنوان شاخصی مطمئن برای بررسی تحمل به خشکی در رقم‌های سیب‌زمینی مورد استفاده قرار گیرد.

غلظت گلوکوتایون پراکسیداز:

غلظت این آنزیم تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (جدول ۱). مقایسه میانگین غلظت گلوکوتایون پراکسیداز تیمارهای آبیاری این آزمایش تأثیر معنی‌داری بر غلظت این آنزیم دارد (جدول ۲). بررسی اثر تیمارهای محلول‌پاشی بر میزان گلوکوتایون پراکسیداز نیز نشان داد برگ‌های گیاهان سیب‌زمینی در تیمار

جدول ۲. جدول مقایسه میانگین های اثر محلول باشتی کیتوزان و سالیسیلیک اسید بر عملکرد، متابولیت های ثانویه و شاخص گلوتاتیون پراکسیداز گلوتاتیون برای کیتوزان تحت شرایط کم آبیاری
Table 2. Means comparison table for the effect of foliar application of chitosan and salicylic acid on yield, secondary metabolites and glutathione peroxidase index under limited irrigation conditions.

تیمارها Treatments	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg/ha)	قند محلول (میلی گرم بر گرم) Soluble carbohydrates (mg/g)	پرولین (میلی مول بر گرم) Proline (mmol/g)	فنل آزاد (میلی گرم بر گرم) Free phenol (mg/g)	گلوتاتیون پراکسیداز (میلی گرم بر گرم) Glutathione peroxidase (mg/g)
آبیاری					
Irrigation					
60%	30000 ^b	4.3 ^a	6 ^a	1.96 ^b	0.11 ^a
80%	35000 ^{ab}	4.2 ^a	5 ^a	2.07 ^{ab}	0.11 ^a
100%	42500 ^a	3.5 ^b	7 ^a	2.12 ^a	0.125 ^a
محلول باشتی					
Foliar application					
سالیسیلیک اسید					
Salicylic acid (SA)	36300 ^a	3.8 ^a	5 ^a	1.95 ^b	0.075 ^b
کیتوزان	35800 ^{ab}	4.1 ^a	6 ^a	2.1 ^a	0.125 ^{ab}
Chitosan (CH)					
شاهد	35700 ^{ab}	3.9 ^a	5.4 ^a	2.05 ^{ab}	0.134 ^a
Control					
سالیسیلیک اسید و کیتوزان	34600 ^b	4 ^a	5.3 ^a	2.05 ^{ab}	0.12 ^{ab}
SA & CH					
آبیاری × محلول باشتی					
Foliar application & Irrigation					
سالیسیلیک اسید	45800 ^a	2.3 ^b	6 ^{abc}	2.06 ^{ab}	0.07 ^b
SA+100%Irrigation					
کیتوزان + آبیاری ۱۰۰٪	46000 ^a	2.9 ^{ab}	6.3 ^{abc}	2.15 ^a	0.11 ^{ab}
Ch+100%Irrigation					

Control+100%Irrigation آبیاری+شاهد	41000 ^a	3.3 ^{ab}	8.5 ^a	2.11 ^a	0.17 ^a
Control+100%Irrigation آبیاری+سالیسیک اسید و کیتوزان	39000 ^a	4.5 ^{ab}	5 ^{bc}	2.16 ^a	0.17 ^a
SA&CH+100%Irrigation آبیاری+سالیسیک اسید	36000 ^{ab}	3.5 ^{ab}	3.8 ^{bc}	1.88 ^{bc}	0.075 ^b
SA+80%Irrigation آبیاری+کیتوزان	33000 ^{ab}	5 ^{ab}	5.4 ^{abc}	2.1 ^{ab}	0.13 ^{ab}
CH+80%Irrigation آبیاری+شاهد	40600 ^a	4.4 ^{ab}	3.2 ^c	2.15 ^a	0.13 ^{ab}
Control+80%Irrigation آبیاری+سالیسیک اسید و کیتوزان	35500 ^{abc}	4.3 ^{ab}	6.9 ^{ab}	2.13 ^a	0.11 ^{ab}
SA&CH+80%Irrigation آبیاری+سالیسیک اسید	36000 ^{ab}	5.2 ^a	6 ^{abc}	1.98 ^{abc}	0.11 ^{ab}
SA+60%Irrigation آبیاری+کیتوزان	29000 ^{bc}	4.1 ^a	5.8 ^{abc}	2.09 ^{ab}	0.14 ^{ab}
CH+60%Irrigation آبیاری+شاهد	26000 ^{bc}	4.1 ^{ab}	5.2 ^{bc}	1.97 ^{abc}	0.1 ^{ab}
Control+60%Irrigation آبیاری+سالیسیک اسید و کیتوزان	31000 ^{abc}	3 ^{ab}	4.3 ^{bc}	1.83 ^{bc}	0.07 ^b
SA&CH+60%Irrigation					

میانگین های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.
Means with the same letters are not significantly different based on Duncan's test ($p \leq 0.05$).

اقلیمی منطقه فریمان و با توجه به کمبود منابع آبی در منطقه توصیه گردد. هرچند تکرار آزمایش می تواند این نتیجه گیری را تقویت کند. محلول پاشی با کیتوزان و سالیسیلیک اسید نیز نتایج متفاوتی را رقم زد و اگرچه کاربرد این مواد بر روی غلظت کربوهیدرات های محلول و فنل های آزاد برگ غیرمعنی دار و بر روی غلظت پرولین معنی دار بود، اما بررسی مقایسه میانگین ها متفاوت بود. در این بررسی پرولین، فنل های آزاد و کربوهیدرات های محلول برگ به عنوان متابولیت های ثانویه ای که تحت شرایط تنش باعث تنظیم اسمزی سلول های برگ می شوند تحت محلول پاشی با کیتوزان و یا سالیسیلیک اسید از غلظت بالاتری در تیمار ۸۰٪ آبیاری نسبت به شاهد خود برخوردار بودند. محلول پاشی کیتوزان و سالیسیلیک اسید بصورت مجزا و یا به صورت ترکیبی در تیمارهایی که تحت کم آبیاری به میزان ۲۰ و ۴۰ درصد قرار گرفتند نیز باعث حفظ غلظت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز شدند. با توجه به نتایج این آزمایش می توان چنین نتیجه گیری کرد که اگرچه این ترکیبات نقش قابل توجهی در تقابل گیاه سیب زمینی با شرایط کم آبیاری دارد اما زمان و دز مصرف آن نیاز به تحقیقات دقیق تری دارد. زمان و دز مصرفی که بتواند در تیمارهای کم آبیاری، اثرات تنش را جبران کند و باعث بهبود عملکرد گردد.

References

- Ahmadi, K., Gholizad, H., Ebadzadeh, H., Hatami, F., Fazli Estabarq, M., Hosseinpour, R., Kazemian, A., and Rafii, M. 2016. Agricultural Statistics of 1395-95. *Ministry of Agriculture*.
- Alizadeh, A. 2006. The relationship between water, soil and plants. *Imam Reza University Publications*.
- Ayas, S., and Korukcu, A. 2010. Water-yield relationships in deficit irrigated potato. *Journal of Agricultural Faculty of Uludag University*, 24 (2): 23–36.
- Barnabas, B., Jager, K., and Feher, A. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environment*, 31: 11–38.
- Bates L.S. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39:205–207.
- Beaudoin-Eagan, L. D., and Thorpe, T. A. 1985. Tyrosine and phenylalanine ammonia lyase activities during shoot initiation in tobacco callus cultures. *Plant Physiology*, 78: 438-441.
- Benavides, M.P., Marconi, P.L., Gallego, S.M., Comba, M.E., and Tomaro, M.L. 2000 Relationship between antioxidant defense system and salt tolerance in *Solanum tuberosum*. *Australian Journal Plant Physiology*, 27: 273-8.
- Chen, J.Y., Wen, P. F., Kong, W. F., Qiu-Hong, P., Ji-Cheng, Z., Jing-Ming, L., Si-Bao, W., and Wei-Dong, H. 2006. Effect of salicylic acid on phenylpropanoids and phenylalanine ammonia-lyase in harvested grape berries. *Postharvest Biology and Technology*, 40: 64-72.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28 (3): 350–356.
- Elhani, S., Haddadi, M., Hamim, A., and Banfalvi, Z., 2019. Effects of partial root-zone drying and deficit irrigation on yield, irrigation water-use efficiency and some potato (*Solanum tuberosum* L.) quality traits under glasshouse conditions. *Agricultural Water Management*, 224:105745.
- Fabeiro, C., Martin, D. S., and Juan, D. 2001. Yield and size of deficit irrigated potatoes. *Agricultural Water Management*, 48: 255 – 266.

- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S.M.A. 2016. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 49: 185–212.
- Ghorbani, M., Gafarabad, M., Amirkian, T., and Allahverdi Mamaghani, B. 2013. Investigation of proline, total protein, chlorophyll, ascorbate and dehydroascorbate changes under drought stress in Akria and Mobil tomato cultivars. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 3 (2): 651-658.
- Hardrami, A. E. I., Adam, R. L., and Daayf, F. 2010. Chitosan in plant protection. *Marine Drugs*, 8(4), 875-968.
- Hussain, A., Nazir, F., and Fariduddin, Q. 2019. Polyamines (spermidine and putrescine) mitigate the adverse effects of manganese induced toxicity through improved antioxidant system and photosynthetic attributes in Brassica juncea. *Chemosphere*, 236, 124830. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124830>.
- Kafi, M., Borzoi, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, C. 2009. Physiology of environmental stresses in plants. *Publications University of Mashhad*.
- Karam, F., Amacha, N., Fahed, S., Asmar, T.E., and Dominguez, A. 2014. Response of potato to full and deficit irrigation under semiarid climate: Agronomic and economic implications. *Agricultural Water Management*, 142:144-151.
- Kifle, M., and Gebretsadikan, T.G. 2016. Yield and water use efficiency of furrow irrigated potato under regulated deficit irrigation, Atsibi-Wemberta, North Ethiopia. *Agricultural Water Management*, 170:133-139.
- Korori, S. A. A. 1989. Gel electrophoresis tables and spectral photometric tests. Influence of temperature on structure and activities of amylase and peroxidase isoenzymes. *Gelelektrophores tische and spectral photometrischoe unter uchtungen. zomeinfluss der temperature auf straktur and aktrits der amylase and peroxidase isoenzyme*, *Physiology of Vegetables*, 20: 15-23.
- Kulak, M. 2020. Recurrent drought stress effects on essential oil profile of Lamiaceae plants: An approach regarding stress memory. *Industrial Crops and Products*, 154, 112695.

- Mahdavianfard, A., Dahajipour Heidarabadi, M., Malekzadeh, K.H., and Sahhafi S.R. 2021. The effect of chitosan on phenolic compounds, rosmarinic acid and expression of key genes involved in rosmarinic acid biosynthesis in cell suspension culture of *Melissa officinalis* L. *Journal of Cell and Tissue*, 11 (4): 243-262.
- Martinez-Romero, A., Dominguez, A., and Landeras, G. 2019. Regulated deficit irrigation strategies for different potato cultivars under continental Mediterranean-Atlantic conditions. *Agricultural Water Management*, 216:164-176.
- Masoudi-Sadaghiani, F., Abdollahi Mandoulakani, B., Zardoshti, M.R., Rasouli-Sadaghiani, M.H., and Tavakoli, A. 2011. Response of proline, soluble sugars, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) to different irrigation regimes in greenhouse condition. *Australian Journal of crop Science*, 5(1): 55-60.
- Ministry of Agricultural Jihad. 2016. Yearbook of the Ministry of Agricultural Jihad, vegetable and summer sector.
- Nohong, B., and Nompo, S. 2015. Effect of water stress on growth, yield, proline and soluble sugars contents of Signal grass and Napier grass species. *American Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 9(5): 14-21.
- Park, J.E., Kim, J., and Purevdorj, E. 2021. Effects of long light exposure and drought stress on plant growth and glucosinolate production in pak choi (*Brassica rapa* subsp. *chinensis*). *Food Chemistry*, 340, 128167. Kulak, M., 2020. Recurrent drought stress effects on essential oil profile of Lamiaceae plants: An approach regarding stress memory. *Industrial Crops and Products*, 154, 112695.
- Petriccione, M., Mastrobuoni, F., Pasquariello, M. S., Zampella, L., Nobis, E., Capriolo, G., and Scortichini, M. 2015. Effect of chitosan coating on the post-harvest quality and antioxidant enzyme system response of strawberry fruit during cold storage. *Foods*, 4, 501-523. <https://doi.org/10.3390/foods4040501>.
- Pirbalouti, A. G., Samani, M., Hashemi, M., and Zeinali, H. 2014. Salicylic acid

- affects growth, essential oil and chemical compositions of thyme (*Thymus daenensis* Celak.) under reduced irrigation. *Plant Growth Regulation*, 72, 289-301.
- Rabiee, K., Khodambashi, M., And Rezaei, A.M. 2010. Evaluation of drought tolerance indices in potato cultivars. *Iranian Journal of Crop Science*, 41 (1): 171-177.
- Sanchez, F.J., Manzanares, M., de Andres, E.F., Tenorio, J.L., and Ayerbe, L. 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Research*, 59, 225-235.
- Schaller, G., and Kieber, J. 2002. Ethylene. *American Society Plant Biologists*, 1-17.
- Shojaei Nofarst, K. 2014. Evaluation of morphophysiological characteristics affecting water stress tolerance in potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.). *Mashhad Ferdowsi University*.
- Singleton, V.L., and Rossi J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with hosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16 (3), 144-158.
- Solecka, D., and Kacperska, A. 2003. Phenylpropanoid deficiency affects the course of plant acclimation to cold. *Physiology Plantarum*, 119: 253-262.
- Stewart, C.R., and Hanson, A.D. 1980. Proline accumulation as a metabolic response to water stress. In: Turner, N.C., Kramer, P.J. (Eds.), Proline accumulation as a metabolic response to water stress. *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. John Wiley and Sons, New York, pp. 173-189.
- Teixeira, J., and Pereira, S. 2006. High salinity and drought act on an organ-dependent manner on potato glutamine synthetase expression and accumulation. *Journal of Experimental Botany*, 60: 121-126.
- Wang, Y., Yuan, Y., and Wn, J. 2004. Induction studing of Methyl Jasmonate and Salicylic Acid on Taxane production in suspension of *Taxus chinensis* var. Mairei. *Biochemical Engineering Journal*, 19:259-265.
- Wegener, C.B., Jansen, G., and Jürgens, H.U. 2014. Influence of drought and

wounding stress on soluble phenols and proteins in potato tubers. *Sustainable Agriculture Research*, 3: 1-15.

Yoshiba, Y., Yamada, M., Morishita, H., Uran, K., Shiozaki, N., Yamaguchi, K., and Shinozaki, K. 2005. Effects of free proline accumulation in petunias under drought stress. *Experimental Botany*, 56(417): 1975-1986.

Effect of foliar application of chitosan and salicylic acid on potato (*Solanum tuberosum*) yield under limited irrigation conditions

Seyyed Ali Morovvat¹, Reza Sadrabadi Haghighi^{1*}, Alireza Souhani Darban¹,
Koroosh Shojaee Noferest², Mansour Salati³

1. Department of Agricultural Science, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran.
2. Assistant Professor in: Horticulture Crops Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Khorasan Razavi, Agricultural Research Education And Extension Organization, AREEO, Mashhad, Iran.
3. Assistant Professor in: Plant Protection Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Khorasan Razavi, Agricultural Research Education And Extension Organization, AREEO, Mashhad, Iran.

Received: January 2022 Accepted: September 2022- DOI: 10.22092/AJ.2022.357490.1585

Extended Abstract

Morovvat S.A., Sadrabadi Haghighi, R., Shojaee Noferest, K., Souhani Darban, A., Salati, M., . Effect of foliar application of chitosan and salicylic acid on potato (*Solanum tuberosum*) yield under limited irrigation conditions
Applied Research in Field Crops Vol 35, No. 1, 2022 10-12: 54-71(in Persian)

Introduction

Potato is one of the tuber products that plays an important role in human nutrition and food basket. Drought stress is the most important limiting factor in agricultural production, which prevents the crops from reaching maximum growth and productivity (Nohong & Nompo, ۲۰۱۵). Drought stress has a negative impact on crop yield and often causes a significant reduction in yield (Rabiee *et al.*, ۲۰۱۰). In such circumstances, using deficit irrigation techniques can help conserve water and enhance productivity in agriculture (Kafi *et al.*, 2009).

Materials & Methods

yield, content of glutathione In order to investigate the effect of deficit-irrigation on peroxidase enzyme and some secondary metabolites, an experiment was conducted in ۲۰۱۹ at the agricultural research station in the city of Fariman, Iran (۳۶° ۲۹' N, ۵۹° ۱۷' E, at ۱,۱۷۶ m above sea level). The region has a cold and dry climate according to Koppen's climatic classification. The experiment was implemented as a completely randomized

Email address of the corresponding author: rsadrabadi@mshdiau.ac.ir

split-plot design with three replications. The experimental treatments included irrigation levels and the foliar application of chitosan and salicylic acid. The main plots were 12 by 7 m and the sub-plots were 7 by 3 m. The main plots represented three levels of irrigation of available soil water). The treatments in sub-plots included control%, and 6%, 8% (100 treatment, 0, 0 g/l salicylic acid, 2 g/l chitosan, and the combined treatment of chitosan and salicylic acids. Irrigation deficit treatments were applied 30 days after the plant emergence at intervals of 3 to 0 days. The irrigation period was determined according to the temperature conditions of the region. Crop water need was determined using OPTIWAT. Foliar application of chitosan and salicylic acid was performed at two stages during the growing season: at the flowering stage (beginning of tuber development), and at the mid-growth stage of tubers (approximately 30 days after the plant emergence). Soil texture was silty clay. To homogenize soil chemical properties, potassium sulfate fertilizer and triple perphosphate fertilizer were applied one month before planting according to the results of the soil test. Urea fertilizer was also applied based on soil tests at several stages during irrigation. The evaluated traits in this study included yield, content of glutathione peroxidase enzyme, density of soluble carbohydrates, proline and phenol. After the data collection process, statistical analysis was performed using Minitab software. To compare the means, Duncan's multiple range test was used at 5% probability level.

Discussion&Results

The results showed that the effect of irrigation treatments on yield was significant, but the effect of foliar application and the interaction of irrigation and foliar application on yield was not significant. In addition, the proline concentration of potato leaves under different irrigation and foliar spraying treatments was not statistically different from each other. The interaction effects of irrigation and foliar application treatments on leaf proline concentration showed that the potato plants under full control irrigation and foliar application with one of the two compounds contained the highest amount of proline. Glutathione peroxidase concentration was significantly affected by the irrigation treatments. The glutathione peroxidase concentration was the highest in the potato leaves under control treatment, which was followed by chitosan application and the combined treatments of chitosan and salicylic acid. Under the sole application of salicylic acid, the lowest amount of glutathione peroxidase was observed, which was significantly different

with the control treatment. The interaction effects of irrigation and foliar application treatments on the concentration of glutathione peroxidase also showed that in full irrigation treatments, the lowest concentration of glutathione peroxidase was related to the foliar application with salicylic acid. With decreasing irrigation, the concentration of the enzyme declined and the foliar application had no effect on the concentration of the enzyme in different irrigation treatments.

Conclusion

The results of this experiment showed that by reducing the volume of irrigation water, the same yield performance could be achieved as in full irrigation conditions. The foliar application of chitosan and salicylic acid also led to different results. The foliar application of chitosan and salicylic acid separately or in combination under deficit irrigation of 20% and 40% also maintained the concentration of glutathione peroxidase.

Keywords: Deficit irrigation, glutathione peroxidase, leaf proline

References:

- Kafi, M., Borzoi, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, C. 2009. Physiology of environmental stresses in plants. *Publications University of Mashhad*.
- Nohong, B., and Nompo, S. 2015. Effect of water stress on growth, yield, proline and soluble sugars contents of Signal grass and Napier grass species. *American Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 9(5): 14-21.
- Rabiee, K., Khodambashi, M., and Rezaei, A.M. 2010. Evaluation of drought tolerance indices in potato cultivars. *Iranian Journal of Crop Science*, 41 (1): 171-177.