

اثر محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر کارایی مصرف آب، برخی اسمولیت‌ها و صفات فیزیولوژیک سیب‌زمینی رقم بانبا در شرایط تنش خشکی

عاطفه پوراسدالهی، عادل سی‌وسه‌مرده*، فرزاد حسین‌پناهی و یوسف سهرابی

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر دوره‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر برخی صفات فیزیولوژیک و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی، آزمایشی در سال ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی شهرستان ملایر به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. شاخص‌های آزمایشی شامل عامل اصلی آبیاری قطره‌ای در فواصل یک، دو، سه، چهار، پنج و شش روز یکبار و آبیاری بارانی به‌عنوان شاهد (به فواصل شش روز یکبار) بود. عامل فرعی محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد با چهار سطح شامل اپی‌براسینولید، جیبرلیک اسید و استیل سالیسیلیک اسید که به‌همراه شاهد در نظر گرفته شدند. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش دوره‌های مختلف آبیاری قطره‌ای کارایی مصرف آب و مقدار پروتئین محلول برگ کاهش و مقدار پرولین، کربوهیدرات محلول برگ و غده و غلظت پتاسیم به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در کاهش آثار تنش ناشی از افزایش دوره‌های آبیاری مؤثر بود و کارایی مصرف آب، مقدار پروتئین محلول برگ، پرولین، کربوهیدرات محلول برگ و غده و پتاسیم، رنگدانه‌های فتوسنتزی و آنتی‌اکسیدان‌ها را به‌طور معنی‌دار افزایش داد. همچنین افزایش دور آبیاری مقدار کلروفیل کل و کاروتنوئید را ۳۳٪ و ۴۵٪ نسبت به شاهد کاهش و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز را ۵۰٪ و ۴۱٪ در سیب‌زمینی افزایش داد. محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد مقدار کلروفیل کل را ۱۱٪ افزایش داد. تأثیر اپی‌براسینولید بیشتر از سایر تنظیم‌کننده‌های رشد بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، بانبا، پرولین، پروتئین، کربوهیدرات

مقدمه

سطح کشور دارا است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶). خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در سرتاسر جهان و شایع‌ترین تنش محیطی است که تقریباً تولید ۲۵ درصد اراضی جهان را محدود ساخته است. حتی گاهی یک تنش ملایم می‌تواند با اثر بر روی حساس‌ترین فرآیندها، رشد و عملکرد هر گیاهی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. تحقیقات نشان داده است سیب‌زمینی در همه مراحل نموی به

سیب‌زمینی چهارمین محصول غذایی مهم جهان است و تولید آن در کشورهای در حال توسعه در دو دهه گذشته افزایش یافته است، این امر نشان‌دهنده سهم مهم آن در تأمین امنیت غذایی است (FAO, 2017). ایران سومین تولیدکننده سیب‌زمینی در آسیا است و در داخل کشور نیز استان همدان با دارا بودن ۲۶ هزار هکتار سطح زیر کشت مقام نخست را در

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: a33@ouk.ac.ir

موادی هستند که رشد و تولید گیاهان را در شرایط تنش کم آبی تنظیم می‌کند (مؤمنی و همکاران، ۱۳۹۲). سالیسیلیک اسید یا ارتوهیدروکسی بنزوئیک یک ترکیب فنلی است که در طبیعت وجود داشته و در برخی بافت‌های گیاهی به فراوانی یافت می‌شود (Hashempour et al., 2014). یکی از آنالوگ‌های این ترکیب استیل سالیسیلیک اسید (آسپرین) است که پس از جذب به سرعت به سالیسیلیک اسید تبدیل می‌شود. نقش سالیسیلیک اسید در ارتباط با سازوکارهای دفاعی گیاه در برابر عوامل تنش‌زای زیستی و غیرزیستی مشخص شده است (Kabiri and Naghizadeh, 2015). با توجه به اهمیت سیب‌زمینی در ایران، این مطالعه با هدف ارزیابی کارایی مصرف آب و پاسخ‌های فیزیولوژیکی سیب‌زمینی نسبت به کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در شرایط تنش خشکی ناشی از دوره‌های مختلف آبیاری قطره‌ای اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای به صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار طی سال زراعی ۱۳۹۴ در شهرستان ملایر استان همدان اجرا شد. ملایر در جنوب استان همدان قرار گرفته و دارای ۱۷۲۵ متر ارتفاع از سطح دریا بوده و در ۴۸ درجه و ۸۲ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از کاشت از خاک مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد (جدول ۱). شرایط هواشناسی محل اجرای آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. در این تحقیق از رقم بانبا (نیمه‌دیررس، گرد، زرد رنگ، مناسب کشت بهاره، مقاوم به آفات و بیماری‌ها) سیب‌زمینی برای کشت استفاده شد. عامل اصلی آبیاری شامل آبیاری قطره‌ای در فواصل یک، دو، سه، چهار، پنج و شش روز یکبار براساس نیاز آبی گیاه و آبیاری بارانی براساس عرف منطقه شش روز یکبار در نظر گرفته شد. مقدار آب در کلیه تیمارهای آبیاری قطره‌ای یکسان و بر پایه روش پنمن مانیتیت فائو محاسبه شد (Allen et al., 1998). مقدار آب مصرف‌شده در روش قطره‌ای ۴۴۸۲

ویژه مرحله تشکیل غده حساس به تنش خشکی است. ریشه کم عمق با گسترش محدود و ناتوانی آن در جذب آب از اعماق پایین‌تر، از دلایل این حساسیت به شمار می‌رود (Ayas, 2013). جمعیت کشور در سال ۱۴۰۰ بالغ بر ۸۹ میلیون نفر برآورد می‌گردد. برای تأمین احتیاجات غذایی کشور باید کل تولیدات کشاورزی حداقل ۱۷۲ میلیون تن باشد که از این میزان ۱۶۰ میلیون تن آن باید توسط کشاورزی آبی تأمین گردد. با فرض حداکثر امکان تأمین ۱۰۰ میلیارد مترمکعب آب برای بخش کشاورزی در آن سال، کارایی مصرف آب در بخش کشاورزی باید به حدود ۱/۶ کیلوگرم بر متر مکعب برسد. تنها در صورت بهینه‌سازی مصرف آب در بخش کشاورزی و افزایش کارایی مصرف آب در این بخش می‌توان به اهداف تولیدات کشاورزی در برنامه‌های توسعه کشور در افق سال ۱۴۰۴ دست یافت (حیدری، ۱۳۹۰).

آبیاری قطره‌ای به‌عنوان یکی از روش‌های آبیاری میکرو به‌علت افزایش راندمان آبیاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است (Zarzynska et al., 2017). برای کاهش اثر سو تنش آبی بر گیاهان زراعی، روش‌های زراعی و فیزیولوژیکی مختلفی بکار می‌روند که در این میان استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد یکی از مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌ها است (Anjum et al., 2011). استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد در مقایسه با روش‌های اصلاحی که اغلب بلند مدت و پرهزینه هستند، آسان‌تر و ارزان‌تر هستند (Vardhini and Anjum, 2015). جیبرلین‌ها هم رشد طولی هم تقسیم سلولی را افزایش می‌دهند. رایج‌ترین جیبرلیک، جیبرلیک اسید (GA_3) است که مهم‌ترین جیبرلین در گیاهان است (کشاورزی و همکاران، ۱۳۹۲). هورمون‌های گیاهی مانند جیبرلیک اسید و سالیسیلیک اسید به‌عنوان آنتی‌اکسیدان در مقابله با تنش‌های غیرزیستی استفاده می‌شوند. امروزه فرضیه‌ای درباره ارتباط بین سطح جیبرلین و مقابله با تنش‌های غیرزیستی در گیاهان وجود دارد (ناصری و عباسی، ۱۳۹۱). براسینواستروئیدها گروه جدید هورمون‌های گیاهی که منجر به افزایش رشد و نمو گیاه می‌شود. براسینولید (یکی از فرم‌های فعال و پایدار براسینواستروئیدها) از جمله

جدول ۱- مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک محل آزمایش

عمق نمونه برداری	اسیدیته	هدایت الکتریکی (ds.m ⁻¹)	کربنات کلسیم	کربن آلی	ازت	فسفر	پتاسیم	سیلت	شن	رس
۰-۳۰	۷/۱	۰/۴	۵/۵	۰/۲	۰/۰۲	۴	۲۴۷	۶۴	۱۲	۲۴

جدول ۲- شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش

ماه	میانگین درجه حرارت (سانتی‌گراد)	میانگین بارندگی (میلی‌متر)	میانگین ساعات آفتابی	میانگین تشعشع خورشیدی (مگاژول بر متر مربع در روز)
خرداد	۲۳/۰۴	۰	۱۰/۹۱	۱۴/۲۳
تیر	۲۷/۲۳	۰/۰۶	۹/۷۸	۱۵/۲۳
مرداد	۲۶/۹	۰	۱۱/۱۵	۲۰/۸۴
شهریور	۲۲/۸	۰/۴۲	۹/۷۲	۱۷/۱۱

متر مکعب در هکتار و در روش بارانی ۷۲۰۰ مترمکعب در هکتار بود. عامل فرعی محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد با چهار سطح شامل اپی‌براسینولید با غلظت یک میلی‌گرم در لیتر، جیبرلیک اسید با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر (Rasouli and Javanmardi, 2010) و استیل سالیسیلیک اسید با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام (Awad et al., 2007) که به‌همراه شاهد در نظر گرفته شدند و در کرت‌های شاهد آب‌مقطر روی گیاه آب‌پاشی شد و در مرحله تشکیل غده اعمال گردید (Hassanpanah and Akbarlo, 2013). محلول‌پاشی در اول صبح انجام گرفت (Abdur and Ihsan-ul, 2012). کاشت زمین در دهه اول خردادماه و عملیات آماده‌سازی نظیر شخم، دیسک، مصرف کودهای پایه به‌طور یکسان برای کلیه تیمارها انجام شد. عملیات زراعی در مرحله داشت نظیر وجین علف‌های هرز، خاکدهی پای بوته، سم‌پاشی، مصرف کود سرک و غیره به موقع انجام شد.

در این تحقیق از نوارهای آبیاری با قطر ۱۶ میلی‌متر و فاصله بین قطره چکان‌ها ۲۰ سانتی‌متر و آبدهی ۲ لیتر در ساعت استفاده شد. کنترل فشار و اندازه‌گیری آب مصرف‌شده در تیمارها با استفاده از شیر قابل تنظیم و کنتور حجمی صورت گرفت. جهت اعمال تیمارهای آبیاری قطره‌ای ابتدا نیاز آبی

گیاه مطابق معادله ۱ محاسبه شد (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۷)

$$WR = (ET_c + R_o - P_e - CR) / (E_i / 100) \quad [1]$$

WR: نیاز آبی گیاه (میلی‌متر)، ET_c : تبخیر و تعرق گیاه (میلی‌متر)، R_o : رواناب (میلی‌متر)، P_e : بارندگی مؤثر (میلی‌متر)، CR: صعود کاپیلاری (میلی‌متر) و E_i : کارایی آبیاری (%). هستند.

با توجه به پایین‌بودن سطح ایستابی آب در منطقه آزمایش مقدار صعود کاپیلاری صفر در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه آبیاری به‌صورت قطره‌ای انجام شد مقدار رواناب نیز صفر لحاظ گردید. از طرفی فاصله موجود بین کرت‌ها و تکرارهای آزمایش مانع ورود و خروج جریان‌های افقی درون خاک گردید، لذا مقدار این اجزا نیز صفر در نظر گرفته شد (Allen et al., 1998). بنابراین نیاز آبی گیاه در عمل براساس معادله ۲ محاسبه شد.

$$WR = (ET_c - P_e) / (E_i / 100) \quad [2]$$

میزان تبخیر و تعرق توسط مدل پنمن مانیتث فائو و براساس داده‌های روزانه هواشناسی محاسبه شد. در این روش ابتدا تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) و تبخیر و تعرق گیاه زراعی (ET_c) با استفاده از معادله‌های ۳ و ۴ محاسبه شد.

[۳]

از دستگاه ورتکس به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه لوله‌ها تکان داده شد. سرانجام فاز روئی را که به رنگ قرمز و حاوی پرولین محلول در تولوئن بوده برداشته و همزمان با نمونه‌های استاندارد در دستگاه اسپکتروفتومتر قرار گرفت و اعداد در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. غلظت پرولین بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد. واحد به صورت میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیان می‌شود. غلظت پروتئین محلول برگ نیز به روش Bradford (۱۹۷۶) تعیین گردید. کربوهیدرات‌های محلول برگ و غده‌ها با استفاده از معرف آنترون با دستگاه اسپکتروفتومتری در طول موج ۶۲۵ نانومتر بر اساس روش Fsles (۱۹۵۱) اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری غلظت کلروفیل کل و کاروتنوئیدها، بالاترین برگ‌های توسعه‌یافته گیاه در مرحله غده‌بندی مورد نمونه‌برداری قرار گرفت و در داخل نیتروژن مایع به آزمایشگاه منتقل شدند. غلظت کلروفیل و کاروتنوئیدها به روش Arnon (۱۹۴۹) بر حسب میلی‌گرم در هر گرم وزن تر با استفاده از روابط (۵) و (۶) تعیین گردید. در روابط زیر V حجم نهایی نمونه استخراج شده و W وزن تر نمونه (گرم) است.

[۵]

$$\text{Chl a+b} = [20.2 \times (A645) - 8.02 \times (A663)] \times v / 1000 \times w$$

[۶]

$$\text{Car} = [100 \times (A470) - 3.27 \times (\text{chl a}) - 104 \times (\text{chl b})] / 227$$

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به روش Giannopolitis و Ries (۱۹۹۷) انجام شد (Giannopolitis and Ries, 1997). محلول واکنش، شامل بافر پتاسیم فسفات با $\text{pH}=7$ حاوی EDTA 1/0 میلی‌مولار، کربنات سدیم ۵۰ میلی‌مولار با $\text{pH}=10.2$ ، L-methionine 12 میلی‌مولار، نیتروبلو تترازولیوم ۷۵ میلی‌مولار، ریبوفلاوین ۱ میکرومولار و ۲۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی است. نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در معرض نور قرار گرفت و پس از این مدت جذب آنها در طول موج ۵۶۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. همچنین از یک لوله آزمایش حاوی مخلوط واکنش بجز عصاره آنزیمی به عنوان شاهد (بلانک) استفاده شد. یک واحد فعالیت سوپراکسید دیسموتاز به عنوان مقدار آنزیمی در نظر گرفته

$$\text{ET}_0 = 0.08 \times \Delta \times (R_n - G) + (\gamma \times 900 \times U_2 \times (e_s - e_a) / T + 273) / \Delta + \gamma \times (1 + 0.34 \times U_2)$$

$$\text{ET}_c = K_c \times \text{ET}_0 \quad [۴]$$

در این معادلات، ET_0 : تبخیر و تعرق مرجع (میلی‌متر در روز)، R_n : تشعشع خالص (مگاژول بر متر مربع در روز)، G : شار گرما به داخل خاک (مگاژول بر متر مربع در روز)، T : دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)، U_2 : سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین (متر بر ثانیه)، e_s : فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)، e_a : فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال)، Δ : شیب منحنی فشار بخار اشباع نسبت به دما (کیلو پاسکال به ازای هر درجه سانتی‌گراد)، γ : ضریب سایکرومتری (کیلو پاسکال به ازای هر درجه سانتی‌گراد)، ET_c : تبخیر و تعرق گیاه (میلی‌متر در روز)، K_c : ضریب گیاهی (بدون واحد) هستند. محاسبه اجزای معادله تبخیر و تعرق مرجع نیازمند اطلاعات جغرافیایی، ارتفاع محل از سطح دریا و اطلاعات هواشناسی از قبیل دماهای حداقل و حداکثر روزانه، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی است که از ایستگاه هواشناسی دریافت شد. ضرایب K_c در گیاه سیب‌زمینی برای مراحل ابتدایی رشد، توسعه، آغاز رسیدگی و رسیدگی به ترتیب ۰/۵، ۱/۵۱، ۰/۷۵ و ۰/۶ در نظر گرفته شدند (رسول‌زاده و رئوف، ۱۳۹۲). کارایی مصرف آب (کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب) تیمارهای مختلف از نسبت عملکرد (کیلوگرم) به مقدار آب مصرفی (مترمکعب) محاسبه شد (حسین‌پناهی و همکاران، ۱۳۹۰). اندازه‌گیری پرولین نمونه‌های برگ با روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا مقدار ۰/۲ گرم گیاهچه توزین شد و در هاون چینی در ۳ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ به خوبی سائیده شد و هموژنات حاصل با ۱۸۰۰۰ دور به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گشت. آنگاه ۲ میلی‌لیتر از عصاره صاف‌شده را به لوله‌های دردار منتقل نموده و به تمام لوله‌ها مقدار ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال اضافه شد. سپس در لوله‌ها بسته شده و به مدت یک ساعت در آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از سردکردن لوله‌ها به هر کدام مقدار ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه گشت و با استفاده

آب در سبب زمینی، بسته شدن جزئی روزنه ها تعرق را بیشتر از فتوسنتز کاهش داده و در نتیجه کارایی مصرف آب افزایش می یابد. اما تنش شدید باعث بسته شدن کامل روزنه ها شده و کارایی مصرف آب به علت پایین آمدن فتوسنتز و در نهایت عملکرد کاهش می یابد (رضایی و سلطانی، ۱۳۸۳). در آبیاری نواری عواملی مثل کاهش تبخیر از سطح خاک، عدم وجود رواناب سطحی و کنترل نفوذ عمقی باعث افزایش تولید و در نتیجه کارایی مصرف آب می شوند. همچنین تبخیر در سیستم آبیاری بارانی بیشتر از روش قطره ای است (نجفی موسوی، ۱۳۹۰).

محلول پاشی تنظیم کننده های رشد اثرات منفی تنش خشکی ناشی از افزایش دور آبیاری بر کارایی مصرف آب را کاهش داد. به طوری که کمترین کارایی مصرف آب در تیمار شاهد و بیشترین آن در محلول پاشی اپی براسینولید به دست آمد (جدول ۵). اثر متقابل رژیم های مختلف آبیاری و محلول پاشی بر کارایی مصرف آب در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین کارایی مصرف آب از تیمار آبیاری هر روز و محلول پاشی اپی براسینولید حاصل شد (جدول ۵).

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که پرولین به عنوان یکی از اسیدهای آمینه شاخص در بررسی اثر تنش ها، تحت تأثیر معنی دار دور آبیاری قرار گرفت و تنش خشکی ناشی از افزایش دوره های آبیاری قطره ای منجر به افزایش معنی دار این صفت در سطح احتمال یک درصد گردید (جدول ۳). از آنجا که اسید آمینه پرولین به عنوان رایج ترین و گسترده ترین اسمولیت در بسیاری از گیاهان، تنظیم اسمزی، نگهداری آب و حفظ تورژسانس سلول ها را در زمان بروز تنش خشکی عهده دار است (Miller et al., 2010)، در این آزمایش نیز اثر خود را نشان داده و به واسطه اعمال تنش میزان آن در بافت های برگ افزایش یافت (جدول ۵). افزایش اسید آمینه پرولین در اثر اعمال تنش خشکی در تحقیق گذشته عنوان شده است (باقری و همکاران، ۱۳۹۳) گزارش شده است. پرولین به عنوان مخزن ذخیره ای نیتروژن و یا ماده محلولی که پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم را کاهش می دهد، در شرایط تنش غلظت آن

می شود که منجر به مهار ۵۰ درصد احیای نوری نیتروبلو ترازولیوم می گردد. سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز بر طبق روش Ghanati و همکاران (۲۰۰۲) انجام شد (Ghanati et al., 2002). فعالیت آنزیمی با افزودن مقادیر مناسب از عصاره آنزیمی، بافر، گایاکول با غلظت نهایی ۲۸ میلی مولار و هیدروژن پراکسید با غلظت نهایی ۵ میلی مولار در طول موج ۴۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خواننده، و فعالیت آنزیمی به ازای تغییرات جذب به میلی گرم پروتئین در دقیقه بیان شد. داده ها به صورت آزمایش کرت خرد شده بر پایه طرح بلوک های کاملاً تصادفی با نرم افزار (SAS Institute, 2002) SAS آنالیز شدند. سپس مقایسه میانگین ها با آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر دور آبیاری بر کارایی مصرف آب در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). با توجه به اینکه مقدار آب مصرف شده در روش قطره ای ۴۴۸۲ متر مکعب در هکتار و در روش بارانی ۷۲۰۰ متر مکعب در هکتار بود، نتایج به دست آمده نشان داد که روش آبیاری قطره ای موجب صرفه جویی در مصرف آب (بیش از ۴۰ درصد) در مقایسه با روش بارانی شد. کمترین کارایی مصرف آب در آبیاری بارانی (۰/۸۳) و بیشترین آن از آبیاری قطره ای هر روز (۱/۸۲) و دو روز یکبار (۱/۸۵) کیلوگرم ماده خشک به ازای هر متر مکعب آب به دست آمد. بین تیمارهای آبیاری قطره ای هر روز و دو روز یکبار اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۴). یکی از راهکارهای صرفه جویی در مصرف آب در مناطق خشک و نیمه خشک تغییر روش آبیاری به آبیاری قطره ای نواری در زراعت سبب زمینی است. در این آزمایش با افزایش دور آبیاری قطره ای کارایی مصرف آب کاهش پیدا کرد و کمترین مقدار آن از دور آبیاری شش روز یکبار به دست آمد (جدول ۴). کارایی مصرف آب سبب زمینی در حدود یک کیلوگرم ماده خشک به ازای هر متر مکعب آب ذکر شده است (Iwama and Yamaguchi, 2006). در مورد تأثیر تنش های ملایم بر کارایی مصرف آب، می توان گفت تحت تنش کمبود

جدول ۳- تجزیه واریانس کارایی مصرف آب و صفات فیزیولوژیکی سیب‌زمینی تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در دوره‌های مختلف آبیاری قطره‌ای

میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییرات
کربوهیدرات غده	کربوهیدرات برگ	پروتئین محلول برگ	پرولین	کارایی مصرف آب		
۰/۵۹۷	۰/۰۱۸	۰/۴۹۶	۰/۰۹۳	۰/۰۰۲	۲	تکرار
۷۳/۵**	۷۷/۹۳۲**	۱/۱۳۱**	۶/۸۵۷**	۲/۰۹۷**	۶	عامل اصلی (آبیاری)
۰/۱۳۸	۰/۰۶۲	۰/۰۱۳	۰/۰۴۴	۰/۰۰۱	۱۲	خطای اصلی
۱۳/۴۴۸**	۱۰/۱۴۴**	۰/۲۷۸**	۰/۷۸**	۰/۱۷۸**	۳	عامل فرعی (محلول‌پاشی)
۰/۶۲۱**	۰/۲۸۸**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۲۱**	۰/۰۰۴**	۱۸	آبیاری × محلول‌پاشی
۰/۰۸۴	۰/۰۲۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۱	۴۲	خطای b
۳/۲۹	۲/۳۳	۱/۲۱	۲/۷۷	۱/۲۷	-	ضرب تغییرات (%)

*, **, و بدون علامت به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و غیرمعنی‌دار

ادامه جدول ۳-

میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییرات
عملکرد تر غده	سوپراکسید دیسموتاز	پراکسیداز	کاروتنوئید	کلروفیل کل		
۱۱۵۹/۰۲	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۶**	۰/۰۳۳**	۱/۰۱*		
۹۳۴۸۸۳۸/۸۹**	۰/۰۲**	۰/۰۴**	۰/۰۱**	۰/۱۴**	۶	عامل اصلی (آبیاری)
۷۱۸۰/۴۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱	۱۲	خطای اصلی
۵۵۸۳۳۳/۲۷**	۰/۰۰۲**	۰/۰۱**	۰/۰۰۰۳**	۰/۳۷**	۳	عامل فرعی (محلول‌پاشی)
۱۸۲۵۴/۴۸**	۰/۰۰۰۰۸**	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۶ ^{ns}	۱۸	آبیاری × محلول‌پاشی
۲۴۵۷/۰۶	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۳	۴۲	خطای b
۱/۶۲	۱/۱۵	۴۲/۳	۵/۱۵	۲/۴	-	ضرب تغییرات (%)

*, **, و بدون علامت به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و غیرمعنی‌دار

به‌دست آمد و سایر محلول‌پاشی‌ها نیز دارای اختلاف معنی‌دار با شاهد بودند (جدول ۴). مطابق با نتایج این آزمایش، مسلم (۱۳۹۴) در بررسی اثر محلول‌پاشی اپی‌براسینولید بر ذرت تحت شرایط تنش شوری گزارش کردند محلول‌پاشی گیاهان با اپی‌براسینولید، صرف نظر از غلظت آن، باعث کاهش اثرات تنش بر گیاه می‌شود. شعاع و میری (۱۳۹۱) گزارش کردند تحت شرایط تنش با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید، میزان پرولین افزایش می‌یابد. کاربرد جیبرلیک اسید می‌تواند با مکانیسم‌های مختلفی توانایی گیاه را در پاسخ به تنش خشکی افزایش داده و سبب افزایش میزان فتوسنتز در گیاه شود. اثر متقابل دوره‌های مختلف آبیاری قطره‌ای و محلول‌پاشی بر

نسبت به سایر اسیدهای آمینه افزایش می‌یابد. افزایش میزان پرولین تحت تنش شوری و خشکی ممکن است به‌علت شکستن پروتئین‌های غنی از پرولین یا به‌واسطه سنتز مجدد پرولین باشد (باقری و همکاران، ۱۳۹۳). با کاهش پتانسیل آب، میزان سنتز پرولین از گلوتامیک اسید افزایش می‌یابد. در اثر تنش کم آبی و شوری، رونویسی mRNA آنزیم‌های Δ -پرولین 5- کربوکسیلات سنتتاز (P5Cs) - Δ و پرولین 5- کربوکسیلات ردوکتاز (P5CR) القا می‌شود (Liang et al., 2013). کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد منجر به افزایش مقدار پرولین برگ در سطح احتمال یک درصد شد (جدول ۳). بیشترین مقدار پرولین برگ در محلول‌پاشی با اپی‌براسینولید

جدول ۴- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب و صفات فیزیولوژیکی سیب زمینی تحت تأثیر اثرات اصلی محلول پاشی تنظیم کننده های رشد و دوره های مختلف آبیاری قطره ای

تیمارها	کارایی مصرف آب (کیلوگرم/مترمکعب)	پرولین	پروتئین محلول (میلی گرم بر گرم وزن تر)	کربوهیدرات برگ	کربوهیدرات
آبیاری					
قطره ای هر روز	۱/۸۲۸ ^a	۱/۱۸ ^d	۳/۳۹ ^a	۳/۷۹ ^e	۵/۶۲ ^e
قطره ای دو روز یکبار	۱/۸۵۲ ^a	۱/۲۵ ^d	۳/۳۶ ^a	۳/۹۴ ^e	۵/۸۹ ^e
قطره ای سه روز یکبار	۱/۵۶۲ ^b	۱/۹۲ ^c	۳/۱۷ ^b	۵/۹۱ ^d	۷/۶۹ ^d
قطره ای چهار روز یکبار	۱/۲۵۳ ^c	۲/۴۷ ^b	۲/۹۵ ^c	۸/۰۲ ^c	۹/۷۸ ^c
قطره ای پنج روز یکبار	۱/۰۴۱ ^d	۲/۸۸ ^a	۲/۷۶ ^d	۸/۹۵ ^b	۱۰/۸۸ ^b
قطره ای شش روز یکبار	۰/۹۵۴ ^e	۳/۱۳ ^a	۲/۵۶ ^e	۱۰/۴۵ ^a	۱۲/۰۸ ^a
شاهد	۰/۸۳۶ ^f	۲/۳ ^b	۳/۰۹ ^{bc}	۸/۱۷ ^c	۹/۸۴ ^c
محلول پاشی					
شاهد	۱/۲۲۷ ^d	۱/۹۱ ^c	۲/۸۹ ^c	۶/۲۱ ^d	۷/۸۶ ^c
جیبرلیک اسید	۱/۳۴ ^b	۲/۱۸ ^b	۳/۰۴ ^b	۷/۱ ^b	۸/۸۹ ^b
اپی براسینولید	۱/۴۵ ^a	۲/۳۸ ^a	۳/۱۷ ^a	۷/۹ ^a	۹/۸۱ ^a
استیل سالیسیلیک اسید	۱/۳۱۲ ^c	۲/۱۸ ^b	۳/۰۶ ^b	۶/۹۳ ^c	۸/۷۵ ^b

میانگین های دارای حروف یکسان در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪، اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

ادامه جدول ۴-

تیمارها	کلروفیل کل	کاروتنوئید	پراکسیداز	سوپراکسید	عملکرد غده (گرم در متر مربع)
آبیاری					
قطره ای هر روز	۱/۸۲۸ ^a	۱/۱۸ ^d	۳/۳۹ ^a	۳/۷۹ ^e	۵/۶۲ ^e
قطره ای دو روز یکبار	۱/۸۵۲ ^a	۱/۲۵ ^d	۳/۳۶ ^a	۳/۹۴ ^e	۵/۸۹ ^e
قطره ای سه روز یکبار	۱/۵۶۲ ^b	۱/۹۲ ^c	۳/۱۷ ^b	۵/۹۱ ^d	۷/۶۹ ^d
قطره ای چهار روز	۱/۲۵۳ ^c	۲/۴۷ ^b	۲/۹۵ ^c	۸/۰۲ ^c	۹/۷۸ ^c
قطره ای پنج روز	۱/۰۴۱ ^d	۲/۸۸ ^a	۲/۷۶ ^d	۸/۹۵ ^b	۱۰/۸۸ ^b
قطره ای شش روز	۰/۹۵۴ ^e	۳/۱۳ ^a	۲/۵۶ ^e	۱۰/۴۵ ^a	۱۲/۰۸ ^a
شاهد	۰/۸۳۶ ^f	۲/۳ ^b	۳/۰۹ ^{bc}	۸/۱۷ ^c	۹/۸۴ ^c
محلول پاشی					
شاهد	۱/۲۲۷ ^d	۱/۹۱ ^c	۲/۸۹ ^c	۶/۲۱ ^d	۷/۸۶ ^c
جیبرلیک اسید	۱/۳۴ ^b	۲/۱۸ ^b	۳/۰۴ ^b	۷/۱ ^b	۸/۸۹ ^b
اپی براسینولید	۱/۴۵ ^a	۲/۳۸ ^a	۳/۱۷ ^a	۷/۹ ^a	۹/۸۱ ^a
استیل سالیسیلیک	۱/۳۱۲ ^c	۲/۱۸ ^b	۳/۰۶ ^b	۶/۹۳ ^c	۸/۷۵ ^b

میانگین های دارای حروف یکسان در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪، اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب و صفات فیزیولوژیکی سیب‌زمینی تحت تأثیر اثر متقابل محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در دوره‌های مختلف آبیاری قطره‌ای

صفات			کارایی مصرف آب (کیلوگرم/مترمکعب)	محلول‌پاشی	آبیاری
کربوهیدرات غده	کربوهیدرات برگ (میلی‌گرم برگرم وزن تر)	پرولین برگ			
۵/۳۵ ^l	۳/۴۶ ⁿ	۱/۰۴ ^j	۸/۹۳ ^{cd}	شاهد	قطره‌ای هر روز
۵/۷ ^{kl}	۳/۸۵ ^{lmn}	۱/۲۱ ^{hi}	۹/۱۵ ^{bc}	جیبرلیک اسید	
۵/۹ ^{kl}	۴/۲ ^{kl}	۱/۲۵ ^{hi}	۹/۷ ^a	اپی‌براسینولید	
۵/۶۱ ^{kl}	۳/۶۵ ^{mn}	۱/۲۲ ^{hi}	۸/۸۷ ^d	استیل‌سالیسیلیک	
۵/۶ ^{kl}	۳/۶۷ ^{mn}	۱/۱۵ ^{ij}	۸/۹۴ ^{cd}	شاهد	قطره‌ای دو روز یکبار
۵/۹ ^{kl}	۳/۹۶ ^{klm}	۱/۲۷ ^{hi}	۹/۳۲ ^b	جیبرلیک اسید	
۶/۱ ^k	۴/۲۸ ^k	۱/۳۲ ^h	۹/۵۷ ^a	اپی‌براسینولید	
۵/۸۵ ^{kl}	۳/۹۱ ^{klm}	۱/۲۵ ^{hi}	۹/۱۲ ^{bcd}	استیل‌سالیسیلیک	
۶/۹۱ ^j	۴/۹۸ ^j	۱/۵۹ ^g	۹/۶۹ ^g	شاهد	قطره‌ای سه روز یکبار
۷/۷۹ ^{hi}	۶/۰۷ ^h	۱/۹۵ ^f	۷/۷ ^f	جیبرلیک اسید	
۸/۵۸ ^g	۶/۶۵ ⁱ	۱/۲۲ ^e	۸/۱۵ ^e	اپی‌براسینولید	
۷/۴۷ ^{ij}	۵/۹۶ ⁱ	۱/۹ ^f	۷/۵۵ ^f	استیل‌سالیسیلیک	
۸/۴۳ ^{gh}	۷/۰۸ ^g	۲/۱۹ ^e	۵/۳۷ ⁱ	شاهد	قطره‌ای چهار روز یکبار
۹/۷۷ ^f	۸/۰۱ ^f	۲/۴۹ ^d	۶/۰۳ ^h	جیبرلیک اسید	
۱۱/۱۴ ^{de}	۹/۱۳ ^{de}	۲/۷۲ ^c	۶/۷۴ ^g	اپی‌براسینولید	
۹/۸۱ ^f	۷/۸۸ ^f	۲/۴۸ ^d	۵/۹۲ ^h	استیل‌سالیسیلیک	
۹/۶۶ ^f	۸/۰۴ ^f	۲/۵۵ ^d	۴/۴۴ ^{klm}	شاهد	قطره‌ای پنج روز یکبار
۱۰/۹ ^{de}	۹/۰۶ ^{de}	۲/۸۷ ^c	۴/۸۴ ^j	جیبرلیک اسید	
۱۲/۱ ^{bc}	۹/۱۹ ^c	۳/۲۲ ^b	۵/۳۹ ⁱ	اپی‌براسینولید	
۱۰/۸ ^{de}	۸/۷۷ ^e	۲/۸۷ ^c	۴/۶ ^{kl}	استیل‌سالیسیلیک	
۱۰/۷۱ ^e	۹/۱۹ ^d	۲/۸۵ ^c	۳/۷۴ ^p	شاهد	قطره‌ای شش روز یکبار
۱۲/۲۲ ^b	۱۰/۵۵ ^b	۳/۱۵ ^b	۴/۳۷ ^{lmn}	جیبرلیک اسید	
۱۳/۴۱ ^a	۱۱/۸۱ ^a	۳/۴ ^a	۴/۶۴ ^{jk}	اپی‌براسینولید	
۱۱/۹۷ ^{bc}	۱۰/۲۶ ^{bc}	۳/۱۳ ^b	۴/۲۳ ^{mno}	استیل‌سالیسیلیک	
۸/۲۶ ^{gh}	۷/۰۹ ^g	۲/۰۱ ^f	۴/۰۳ ^o	شاهد	شاهد
۹/۹ ^f	۸/۲۲ ^f	۲/۳۲ ^e	۴/۱۵ ^{no}	جیبرلیک اسید	
۱۱/۴۷ ^{cd}	۹/۳۳ ^d	۲/۵۵ ^d	۴/۲ ^{mno}	اپی‌براسینولید	
۹/۱۳ ^f	۸/۰۸ ^f	۲/۳۴ ^e	۴/۱۱ ^o	استیل‌سالیسیلیک	

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

پروتئین محلول برگ تازه نیز از جمله صفاتی بود که پس از محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در مرحله غده‌بندی به‌منظور بررسی ارتباط تنش خشکی ناشی از دوره‌های مختلف آبیاری با

کارایی مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین مقدار پرولین برگ در تیمار آبیاری شش روز یکبار و محلول‌پاشی با اپی‌براسینولید مشاهده شد (جدول ۵).

عملکرد تر غده (گرم در متر مربع)	صفات		کاروتنوئید (میلی گرم بر گرم وزن تر)	محلول پاشی	آبیاری
	سوپر اکسید دیسموتاز	پراکسیداز			
۴۰۰۶/۵۲ ^{cd}	۰/۲۷ ^p	۰/۱۰ ^l	۰/۱۹ ^a	شاهد	
۴۱۰۰/۹۷ ^{bc}	۰/۲۷ ^p	۰/۱۰ ^{kl}	۰/۱۷ ^{abc}	جیبرلیک اسید	
۴۳۵۰/۳۸ ^a	۰/۳۰ ^{lm}	۰/۱۱ ^k	۰/۱۷ ^{abcd}	اپی براسینولید	
۳۹۷۷/۷۶ ^d	۰/۲۹ ^{no}	۰/۱۰ ^{kl}	۰/۱۸ ^{ab}	استیل سالیسیلیک	
۴۰۰۶/۹۴ ^{cd}	۰/۲۸ ^p	۰/۱۱ ^{kl}	۰/۱۸ ^a	شاهد	
۴۱۷۸/۹۳ ^b	۰/۲۹ ^o	۰/۱۳ ^j	۰/۱۸ ^{ab}	جیبرلیک اسید	قطره ای دو روز یکبار
۴۲۹۱/۹۶ ^a	۰/۳۰ ^l	۰/۱۵ ⁱ	۰/۱۷ ^{bcd}	اپی براسینولید	
۴۰۸۶/۸۷ ^{bcd}	۰/۲۹ ^{mn}	۰/۱۲ ^j	۰/۱۷ ^{ab}	استیل سالیسیلیک	
۳۱۲۱/۱۶ ^g	۰/۳۳ ^k	۰/۱۵ ⁱ	۰/۱۵ ^{fg}	شاهد	
۳۴۵۲/۱۶ ^f	۰/۳۳ ^k	۰/۱۷ ^h	۰/۱۶ ^{ef}	جیبرلیک اسید	قطره ای سه روز یکبار
۳۶۵۳/۸۹ ^e	۰/۳۵ ^{gh}	۰/۲۰ ^g	۰/۱۶ ^{def}	اپی براسینولید	
۳۳۸۴/۷۵ ^f	۰/۳۳ ^{jk}	۰/۱۷ ^h	۰/۱۵ ^f	استیل سالیسیلیک	
۲۴۰۷/۱۲ ^k	۰/۳۴ ⁱ	۰/۱۷ ^h	۰/۱۴ ^{gh}	شاهد	
۲۷۰۳/۳۸ ^j	۰/۳۶ ^{fg}	۰/۲۱ ^{fg}	۰/۱۵ ^{fg}	جیبرلیک اسید	قطره ای چهار روز یکبار
۳۰۲۳/۸۱ ^{gh}	۰/۳۷ ^e	۰/۲۵ ^d	۰/۱۶ ^f	اپی براسینولید	
۲۶۵۶/۳ ^j	۰/۳۵ ^{fg}	۰/۲۱ ^{fg}	۰/۱۴ ^{gh}	استیل سالیسیلیک	
۱۹۸۹/۸ ^{mno}	۰/۳۶ ^{fg}	۰/۲۱ ^{fg}	۰/۱۲ ^{ij}	شاهد	
۲۱۷۲/۲۸ ^l	۰/۳۹ ^c	۰/۲۴ ^{de}	۰/۱۵ ^{hi}	جیبرلیک اسید	قطره ای پنج روز یکبار
۲۴۱۶/۴۶ ^k	۰/۳۹ ^{bc}	۰/۲۹ ^b	۰/۱۴ ^{gh}	اپی براسینولید	
۲۰۶۳/۲۵ ^{lmn}	۰/۳۷ ^{de}	۰/۲۴ ^{de}	۰/۱۲ ^{jk}	استیل سالیسیلیک	
۱۶۷۴/۶۶ ^p	۰/۳۸ ^d	۰/۲۳ ^e	۰/۱۰ ^l	شاهد	
۱۹۶۱/۱۷ ^{no}	۰/۳۹ ^b	۰/۲۶ ^c	۰/۰۹ ^{lm}	جیبرلیک اسید	قطره ای شش روز یکبار
۲۰۷۹/۱۶ ^{lm}	۰/۴۱ ^a	۰/۳۱ ^a	۰/۱۱ ^{kl}	اپی براسینولید	
۱۸۹۵/۳۶ ^o	۰/۴۰ ^b	۰/۲۶ ^c	۰/۰۸ ^m	استیل سالیسیلیک	
۲۹۰۳/۸۶ ⁱ	۰/۳۳ ^j	۰/۱۸ ^h	۰/۱۶ ^{cdef}	شاهد	
۲۹۹۲/۸۲ ^{hi}	۰/۷۲ ^{hi}	۰/۲۲ ^f	۰/۱۶ ^{def}	جیبرلیک اسید	شاهد
۳۰۲۷/۰۹ ^{gh}	۰/۳۶ ^f	۰/۲۴ ^{ed}	۰/۱۸ ^{ab}	اپی براسینولید	
۲۹۶۴/۷۹ ^{hi}	۰/۳۵ ^{hi}	۰/۲۲ ^f	۰/۱۷ ^{bcd}	استیل سالیسیلیک	

میانگین های دارای حروف یکسان در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪، اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

پروتئین محلول برگ کاهش یافت (جدول ۳). بین تیمارهای آبیاری قطره ای هر روز و دو روز یکبار اختلاف معنی داری مشاهده نشد. بیشترین مقدار پروتئین محلول برگ از تیمار

این صفت فیزیولوژیک، اندازه گیری شد. بر اساس نتایج این آزمایش، تأثیر دور آبیاری بر پروتئین محلول برگ در سطح یک درصد معنی دار بود و با افزایش دوره های آبیاری، مقدار

آبیاری قطره‌ای هر روز و دو روز یکبار و کمترین آن از آبیاری قطره‌ای شش روز یکبار حاصل شد (جدول ۴). تنش خشکی همراه با تأثیر بر محتوای پروتئین کلروپلاست، پیوستگی غشا کلروپلاست را تحت تأثیر قرار می‌دهد که با کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی همراه است. کاهش محتوای پروتئین تحت تنش خشکی با کاهش سنتز آن، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و نیز تجمع اسیدهای آمینه آزاد از جمله پرولین مرتبط است. از علل کاهش پروتئین محلول برگ‌ها در شرایط تنش آبی، افزایش غلظت آب‌سزیک اسید است که باعث کاهش میزان پروتئین محلول می‌شود (Yang et al., 2004). تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر مقدار پروتئین محلول برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). کم‌ترین مقدار پروتئین محلول برگ در تیمار شاهد (۰/۸۹ میلی‌گرم بر گرم برگ تازه) و بیش‌ترین مقدار در تیمار محلول‌پاشی با اپی‌براسینولید (۳/۱۷ میلی‌گرم بر گرم برگ تازه) مشاهده شد. افزایش میزان پروتئین‌های محلول به دلیل کاربرد براسینولید به علت افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در سوخت و ساز نیتروژن است (Syed Ali Fathima et al., 2011). براسینولید فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی مانند فتوسنتز، اسیدهای نوکلئیک، تجمع پرولین و ساخت پروتئین را تحریک می‌کند. همچنین ثابت شده است که این ماده، در مراحل رونویسی ژن و ترجمه نقش داشته و بنابراین سطوح پروتئین‌ها و آنزیم‌ها را بهبود می‌بخشد. با وجود اینکه بسیاری از مطالعات روی بهبود تحمل گیاهان به تنش‌های شوری و دمای بالا متمرکز شده‌اند، گزارش‌های محدودی در خصوص قابلیت براسینولید در کاهش اثر خشکی در گیاهان زراعی وجود دارد (Anjum et al., 2011). اثر متقابل دوره‌های مختلف آبیاری قطره‌ای و محلول‌پاشی بر مقدار پروتئین محلول برگ در این آزمایش معنی‌دار نشد (جدول ۳).

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر دوره‌های مختلف آبیاری قطره‌ای بر مقدار کربوهیدرات محلول برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود و با تأخیر در آبیاری، میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ افزایش یافت (جدول ۳).

بیشترین مقدار کربوهیدرات‌های محلول برگ در تیمار آبیاری قطره‌ای شش روز یکبار به دست آمد (جدول ۴). نتایج این آزمایش با نتایج سعیدی ابواسحق و همکاران (۱۳۹۳) همخوانی دارد. تجمع کربوهیدرات‌های محلول در پاسخ به تنش‌های محیطی در ارتباط با تنظیم اسمزی و یا حفاظت غشاهای سلولی است. در شرایط تنش خشکی قندهای محلول افزون بر تنظیم اسمزی و کاهش پتانسیل آب، از سلول در برابر آسیب‌های اکسایشی اکسیداتیو محافظت می‌کنند و نقش مؤثری در حفاظت از غشا سلولی و پروتئین‌ها دارند (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۳). تنش کمبود آب سبب افزایش غلظت پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در برگ نخود گردید (ثمن و همکاران، ۱۳۹۰). اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های مختلف رشد نیز بر مقدار کربوهیدرات محلول برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار کربوهیدرات محلول برگ در تیمار محلول‌پاشی با اپی‌براسینولید مشاهده شد. مقدار کربوهیدرات محلول برگ در تیمار با استیل سالیسیلیک اسید و جیبرلیک اسید در مقایسه با شاهد افزایش یافت (جدول ۴). میزان قندهای محلول کل در تیمار با سالیسیلیک اسید در برگ و ریشه به صورت معنی‌دار افزایش یافت (حسین‌زاد و همکاران، ۱۳۹۳). اثر متقابل دوره‌های مختلف آبیاری قطره‌ای و محلول‌پاشی بر مقدار کربوهیدرات محلول برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

کربوهیدرات محلول در غده‌های سیب‌زمینی به عنوان یکی از شاخص‌های ارزیابی تنش، تحت تأثیر تنش خشکی ناشی از افزایش دوره‌های آبیاری قطره‌ای قرار گرفت. به طوری که افزایش دوره‌های آبیاری قطره‌ای منجر به افزایش میزان کربوهیدرات محلول در غده‌ها شد. افزایش کربوهیدرات‌های محلول غده عموماً پاسخی به تنش‌های محیطی به ویژه تنش خشکی است (Zadehbagheri et al., 2012). بیشترین مقدار کربوهیدرات محلول در غده از آبیاری قطره‌ای شش روز یکبار حاصل شد (جدول ۴). در شرایط تنش کمبود آب، به دلیل تجزیه نشاسته، تشکیل نقاط با تجمع بالای قندهای ساده در داخل غده و افزایش فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتتاز

یکبار تا شش روز یکبار و بروز تنش خشکی، میزان کلروفیل کل برگ ۳۳٪ کاهش یافت. تأثیر دوره های مختلف آبیاری در سطح ۱٪ معنی دار بود (جدول ۳). همچنین مقدار کلروفیل کل در روش آبیاری قطره ای یک، دو و سه روز یکبار به ترتیب ۱۳/۵٪، ۱۰/۷٪ و ۴/۷٪ بیشتر از آبیاری بارانی بود. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که محلول پاشی استیل سالیسیلیک اسید و اپی براسینولید کلروفیل کل را به ترتیب معادل ۱۴/۵٪ و ۸/۵٪ نسبت به شاهد افزایش داد و بیشترین مقدار کلروفیل از محلول پاشی با اپی براسینولید معادل ۰/۸۹۵ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ حاصل شد (جدول ۵). بارزترین اثر تنش اکسیداتیو در شرایط تنش خشکی کاهش محتوای کلروفیل کل است. در نتیجه اکسیداسیون نوری کلروفیل و رنگدانه ها تخریب می شود، بنابراین علت اصلی کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی کاهش محتوای کلروفیل برگ است (Sadeghipour and Aghaei, 2012). افزایش محتوای کلروفیل به دنبال کاربرد خارجی تنظیم کننده های رشد با افزایش دور آبیاری می تواند توجیهی برای بهبود گیاهان زراعی باشد. جیبرلیک اسید باعث افزایش مقدار کلروفیل می شود ولی به دلیل افزایش سطح برگ توسط آن، مقدار کلروفیل نسبت به واحد سطح کاهش می یابد (Rasouli and Javanmardi, 2010).

اثر دور آبیاری بر محتوای کاروتنوئید و تأثیر محلول پاشی تنظیم کننده های رشد در سطح ۱٪ معنی دار بود (جدول ۳). با افزایش دوره های آبیاری قطره ای محتوای کاروتنوئیدهای برگ ۴۵٪ کاهش یافت و کمترین مقدار آن مربوط به آبیاری قطره ای شش روز یکبار معادل ۰/۰۹۱ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ به دست آمد. بین کاربرد جیبرلیک اسید و استیل سالیسیلیک اسید اختلاف معنی دار نبود (جدول ۳). کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات سبب کاهش سنتز کاروتنوئیدها و کلروفیل در شرایط تنش می شود (Oliviera-Neto et al., 2009). استفاده از جیبرلین سبب کاهش میزان گزانتوفیل و β -کاروتن در شرایط تنش می شود (عباس پور و رضایی، ۱۳۹۳). استیل سالیسیلیک اسید با افزایش سیستم دفاع آنتی اکسیدانی غیر آنزیمی و آنتی اکسیدان های آنزیمی موجب

غلظت قندهای احیایی غده سیب زمینی افزایش می یابد (Kumar et al., 2004). قندهای محلول از دیگر اسمولیت های سازگاری هستند که در شرایط تنش خشکی تجمع یافته و به عنوان عامل تنظیم اسمزی عمل می نمایند (Zadehbagheri, 2012). در شرایط تنش، گیاه برای حفظ تعادل اسمزی و توانایی جذب بیشتر آب از محیط ریشه، ترکیباتی مانند کربوهیدرات ها که در ساختار سلول ها شرکت دارند و باعث رشد گیاه می شوند، را در خود افزایش می دهد تا تنظیم اسمزی بهتر صورت گیرد (نورزاد و همکاران، ۱۳۹۴). مطابق با نتایج این آزمایش مطلبی فرد و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند با افزایش تنش کمبود آب، غلظت قندهای احیایی غده افزایش یافت، به طوری که غلظت قندهای احیایی در سطوح تنش شدید کمبود آب ۱۸ درصد بیشتر از آبیاری کامل بود. با توجه به افزایش میزان کربوهیدرات های محلول در اثر تنش شدید خشکی، می توان نتیجه گرفت محتوای قندهای محلول غده می تواند به عنوان معیاری جهت ارزیابی تحمل گیاه سیب زمینی به تنش خشکی مورد استفاده قرار گیرد. اثر محلول پاشی تنظیم کننده های مختلف رشد نیز بر مقدار کربوهیدرات محلول در غده در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). کمترین مقدار کربوهیدرات محلول در غده در تیمار شاهد (۷/۶ میلی گرم بر گرم برگ تازه) و بیشترین مقدار در تیمار محلول پاشی با اپی براسینولید (۹/۸۱ میلی گرم بر گرم برگ تازه) مشاهده شد (جدول ۵). مطابق با نتایج به دست آمده از این آزمایش باقری و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند درصد قندهای محلول در غده های سیب زمینی به عنوان یکی از شاخص های ارزیابی تنش، تحت اثر سطوح تنش خشکی قرار گرفت. به طوری که اعمال تنش منجر به افزایش میزان قندهای محلول در غده ها شد. نتایج این آزمایش نشان داد برهمکنش محلول پاشی و دوره های مختلف آبیاری قطره ای بر مقدار کربوهیدرات محلول غده در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین کربوهیدرات محلول غده از تیمار آبیاری شش روز یکبار و محلول پاشی اپی براسینولید حاصل شد (جدول ۵). نتایج نشان داد با تأخیر در آبیاری قطره ای از تیمار هر روز

افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی گردید (Khan et al., 2015).

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار دوره‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی و اثر متقابل آنها در سطح ۱٪ بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز است (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد با افزایش دور آبیاری فعالیت آنزیم پراکسیداز ۴۹٪ افزایش یافت و بیشترین مقدار آن از آبیاری قطره‌ای شش روز یکبار معادل ۰/۲۷۰۸ به‌ازای هر میلی‌گرم پروتئین به‌دست آمد. فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار آبیاری بارانی ۵۰٪، ۳۸٪ و ۱۶٪ و بیش از تیمار آبیاری قطره‌ای یک، دو و سه روز یکبار بود (جدول ۵). در شرایط تنش افزایش آنزیم پراکسیداز جهت جلوگیری از کاهش عملکرد صورت می‌گیرد. البته افزایش آنزیم پراکسیداز قادر به جبران کامل کاهش عملکرد نبود و عملکرد کاهش یافت. مطابق با نتایج به‌دست آمده گزارش شده است تنش خشکی موجب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم پراکسیداز در سیب‌زمینی می‌شود (Shi et al., 2015). کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد مقدار این آنزیم را نسبت به شاهد ۲۵٪ افزایش داد. بیشترین مقدار آنزیم پراکسیداز در محلول‌پاشی اپی‌براسینولید به‌ترتیب معادل ۰/۲۲۶ و ۰/۲۱۱ به‌ازای هر میلی‌گرم پروتئین به‌دست آمد. همچنین بین کاربرد جیبرلیک اسید و استیل سالیسیلیک اسید اختلاف معنی‌داری نبود و هر دو فعالیت آنزیم پراکسیداز را ۱۳٪ نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۵). احیاشدن بیش از حد معمول زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی به‌واسطه فعال‌شدن الکترون در مبدأ و عدم‌استفاده از آن در قسمت پایانی زنجیره در شرایط محدودیت دی‌اکسید کربن ناشی از بسته‌شدن روزه‌ها تحت تنش خشکی به تجمع انواع اکسیژن فعال (ROS) می‌انجامد (Pyngrope et al., 2013). پراکسیداز می‌تواند طیف وسیعی از ترکیبات اکسیژن فعال را به H_2O_2 اکسید کرده و H_2O_2 را به آب احیا نماید. گزارش شده است تنش خشکی بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در مقایسه با شرایط بدون تنش در گیاه جو معنی‌دار نبود (Ghobadi et al., 2013). در مقابل مطالعات دیگری وجود دارد که افزایش در میزان فعالیت پراکسیداز را در شرایط تنش رطوبتی نشان

می‌دهد (Manivannan et al., 2008).

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی و اثر متقابل آنها بر محتوای آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح ۱٪ است (جدول ۵). کمترین مقدار آنزیم از رژیم آبیاری قطره‌ای یک روز یکبار ۰/۲۸۸ به‌ازای هر میلی‌گرم پروتئین و بیشترین آن از رژیم آبیاری قطره‌ای شش روز یکبار معادل ۰/۴۸ به‌ازای هر میلی‌گرم پروتئین به‌دست آمد. بیش‌ترین محتوای آنزیم سوپراکسید دیسموتاز مربوط به تیمار آبیاری شش روز یکبار و محلول‌پاشی اپی‌براسینولید معادل ۰/۴۲۳ به‌ازای هر میلی‌گرم پروتئین بود (جدول ۵). ترکیبات هورمونی مورد استفاده مقدار این آنزیم را ۸٪ نسبت به شرایط عدم‌استفاده از این ترکیبات افزایش دادند. بین کاربرد استیل سالیسیلیک اسید و جیبرلیک اسید اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). تنش‌های خشکی و شوری هر دو موجب تغییرات اسمزی و به‌دنبال آن تغییر فعالیت‌های آنزیمی در گیاهان می‌شوند (Lokhande et al., 2016; Keshavarz et al., 2010). تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سیب‌زمینی می‌شود (Shi et al., 2015). گزارش‌ها نشان می‌دهد استیل سالیسیلیک اسید باعث بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی نظیر کاروتنوئید، آسکوربات، گلوکاتایون، ترکیبات فنلی، آنتوسیانین و برخی فلاونوئیدها و آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی گلوکاتایون ردوکتاز، پراکسیداز، آسکوربیت پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز گردید (Khan et al., 2015).

بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار دوره‌های مختلف آبیاری بر عملکرد غده است (جدول ۳). با افزایش دوره‌های آبیاری قطره‌ای عملکرد غده کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین عملکرد غده از تیمار آبیاری دو روز یکبار معادل ۴۱۴۱/۱۷ گرم در متر مربع (۴۱/۴۱ تن در هکتار) و کمترین عملکرد از تیمار آبیاری قطره‌ای شش روز یکبار معادل ۱۹۰۲/۵۹ گرم در متر مربع (۱۹/۰۲ تن در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۴). عملکرد غده در تیمارهای آبیاری قطره‌ای هر روز، دو و شش روز یکبار به‌طور معنی‌دار و

موجب افزایش رشد و نمو سیب‌زمینی، افزایش فتوسنتز، انتقال مواد، تولید آسمیلات فراوان و در نهایت منتهی به افزایش عملکرد و اجزا عملکرد گیاهان می‌شود (Khan et al., 2015). اثر متقابل رژیم‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی بر عملکرد غده در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). مطلبی فرد و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند عملکرد کل در تحت تأثیر رژیم‌های رطوبتی و سطوح آبیاری قرار می‌گیرد و امکان اینکه در سطوح بسیار پایین آبیاری اختلال در فرآیند غده‌سازی به بدشکلی و ناهنجاری رشدی در غده‌ها نیز منجر شود وجود دارد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، افزایش دور آبیاری قطره‌ای موجب اعمال تنش خشکی بر گیاه شد و کاهش کارایی مصرف آب و مقدار پروتئین محلول برگ و افزایش مقدار پرولین، کربوهیدرات محلول برگ و غده، محتوای رنگیزه‌ها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در پی داشت. براساس نتایج این تحقیق آبیاری قطره‌ای موجب صرفه‌جویی در مصرف آب در مقایسه با روش آبیاری بارانی شد. همچنین نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد می‌تواند در شرایط تنش خشکی ناشی از افزایش دورهای آبیاری مؤثر باشد. نقش اپی‌براسینولید در کاهش آثار تنش خشکی بیشتر از سایر تنظیم‌کننده‌های رشد بود.

به‌ترتیب معادل ۰.۲۷٪، ۰.۲۸٪ و ۰.۱۲٪ بیشتر از عملکرد غده در تیمار شاهد (آبیاری بارانی) بود (جدول ۳). بالابودن عملکرد در روش آبیاری قطره‌ای احتمالاً به این دلیل است که خاک همیشه دارای وضعیت رطوبتی مناسبی بوده و گیاه انرژی کمتری را صرف جذب آب از خاک نموده و انرژی اضافی خود را صرف سایر اعمال فیزیولوژیکی و بیولوژیکی می‌کند (نجفی موسوی، ۱۳۹۰). به‌نظر می‌رسد در تیمار آبیاری هر روز و دو روز یکبار به‌دلیل ارتفاع بوته و تعداد ساقه در بوته بیشتر، مواد فتوسنتزی زیادتری به طرف غده‌ها سرازیر می‌شود که منجر به افزایش وزن غده‌ها شد (Awad et al., 2007). افزایش عملکرد ممکن است به‌دلیل راندمان فتوشیمیایی بالاتر از نظر واکنش هیل و جذب CO₂ باشد که به افزایش تجمع رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌ویژه کلروفیل و محتوای بیشتر پروتئین‌های محلول نسبت داده می‌شود (نجفی موسوی، ۱۳۹۰). بررسی نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر عملکرد غده در سطح یک درصد است. بیشترین عملکرد غده سیب‌زمینی از محلول‌پاشی اپی‌براسینولید معادل ۳۲/۶۳ تن در هکتار به‌دست آمد که معادل ۰.۱۲٪ افزایش نسبت به تیمار شاهد نشان داد (جدول ۳). عملکرد غده در تیمارهای محلول‌پاشی با جیبرلیک اسید و استیل سالیسیلیک اسید نیز به‌ترتیب ۰.۶٪ و ۰.۴٪ بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۳). مطابق با نتایج به‌دست آمده گزارش شده است که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید منجر به بروز تغییراتی در خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه گردیده که

منابع

- احمدی، ک.، قلی‌زاده، ح.، عبادزاده، ح.، حسین‌پور، ر.، عبدشاه، ه.، کاظمیان، ا. و رفیعی، م. (۱۳۹۶) آمارنامه کشاورزی. وزارت جهادکشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، جلد اول.
- باقری، ح.، قرینه، م. ح.، بخشنده، ع.، طایی، ج.، محتکش، ع. و اندرزیان، ب. (۱۳۹۳) اثر تنش خشکی و مقدار نیتروژن بر عملکرد و برخی صفات کیفی و فیزیولوژیک سیب‌زمینی در شرایط آب و هوایی چهارمحال و بختیاری. فصل‌نامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز ۲۲: ۱۵-۲۲.
- ثمن، م.، سپهری، ع. و احمدوند، گ. (۱۳۹۰) تجمع ماده خشک و تولید متابولیت‌های سازگار در شش ژنوتیپ نخود تحت سطح مختلف رطوبت خاک. مجله زیست‌شناسی ایران ۲۴: ۳۸۹-۳۷۳.

حسین پناهی، ف.، کافی، م.، پارسا، م.، نصیری محلاتی، م. و بنایان، م. (۱۳۹۰) ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم مقاوم و حساس به خشکی تحت شرایط تنش رطوبتی با بهره‌گیری از مدل پنمن مونتیث فائو. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۴: ۶۳-۴۷.

حسین‌زاد بهبود، ح.، چاپارزاده، ن. و دیلمقانی، ک. (۱۳۹۳) اثر سالیسیلیک اسید بر پارامترهای رشد، اسمولیت‌ها و پتانسیل اسمزی در گیاه تربچه تحت تنش شوری. مجله پژوهش‌های گیاهی ۲۷: ۴۰-۳۲.

حیدری، ن. (۱۳۹۰) تعیین و ارزیابی شاخص کارایی مصرف آب محصولات زراعی تحت مدیریت کشاورزان در کشور. مجله مدیریت آب و آبیاری ۱: ۵۷-۴۳.

رسول‌زاده، ع. و رثوف، م. (۱۳۹۲) اصول و روش‌های آبیاری. انتشارات امیدی، تبریز.

رضایی، ع. و سلطانی، ا. (۱۳۸۳) زراعت سیب‌زمینی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

سعیدی ابواسحق، ر.، یدوی، ع.، موحدی دهنوی، م. و بلوچی، ح. ر. (۱۳۹۳) اثر دور آبیاری و محلول‌پاشی آهن و روی بر برخی صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک لوبیا قرمز. فرآیند و کارکرد گیاهی ۳: ۴۱-۲۷.

شعاع، م. و میری، ح. ر. (۱۳۹۱) کاهش اثرات سو تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیک گندم از طریق کاربرد سالیسیلیک اسید. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ۵: ۸۸-۷۱.

عباس‌پور، ج. و رضایی، ح. (۱۳۹۳) اثر جیبرلیک اسید بر سرعت واکنش هیل، رنگیزه‌های فتوسنتزی و ترکیبات فنلی در گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) تحت شرایط تنش خشکی. پژوهش‌های گیاهی (زیست‌شناسی ایران) ۵: ۹۰۳-۸۹۳.

علیزاده، ا. و کمالی، غ. (۱۳۸۷) نیاز آبی گیاهان در ایران. دانشگاه امام رضا (ع).

کشاورزی، م. ص.، جعفری حقیقی، ب. و باقری، ع. (۱۳۹۲) ارزیابی تأثیر هورمون اکسین و جیبرلین بر خصوصیات کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی ۵: ۳۵-۲۶.

مسلم، ل. (۱۳۹۴) اثر محلول‌پاشی اپی‌براسینولید بر واکنش ذرت به تنش شوری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی سبزوار.

مطلبی فرد، ر.، نجفی، ن. و اوستان، ش. (۱۳۹۵) اثرهای روی و فسفر بر غلظت عناصر غذایی، نشاسته و قندهای احیایی غده سیب‌زمینی در شرایط با و بدون تنش کمبود آب. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۳۰: ۵۱۰-۴۹۷.

مؤمنی، ن.، آروین، م. ج.، خواجه‌پوی نژاد، غ.، کرامت، ب. و دانشمند، ف. (۱۳۹۲) اثر سدیم کلرید و سالیسیلیک اسید بر برخی شاخص‌های فتوسنتزی و تغذیه معدنی گیاه ذرت. زیست‌شناسی گیاهی ۱۵: ۳۰-۱۵.

ناصری، ز. و عباسی، ف. (۱۳۹۱) بررسی اثر تیمارهای مختلف هورمون جیبرلین بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذور جو خوراکی تحت تنش خشکی. دومین همایش ملی علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد.

نجفی موسوی، ع. (۱۳۹۰) بررسی اثر زمان، روش آبیاری و الگوی کاشت بر عملکرد ارقام سیب‌زمینی در منطقه جیرفت. یافته‌های نوین کشاورزی ۵: ۴۲۱-۴۱۳.

نورزاد، س.، احمدیان، ا. و مقدم، م. (۱۳۹۴) بررسی میزان پرولین، شاخص کلروفیل، کربوهیدرات و مقدار جذب عناصر غذایی در گیاه دارویی گشنیز تحت تأثیر تنش خشکی و تیمار کودی. پژوهش‌های زراعی ایران ۱۳: ۱۳۹-۱۳۱.

Abdur, R. A. B. and Ihsan-ul, H. A. Q. (2012) Foliar application of calcium chloride and borax influences plant growth, yield, and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit. Turkish Journal Agriculture Forest 36: 695-701.

Ahmadi, H. and Shaemi, A. (2012) Evaluate the thermal conditions in the cultivation of potatoes to make a calendar of selected meteorological stations in Ilam. Journal of Geography and Nature 15: 65-76.

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56 FAO Rome Italy 301.
- Anjum, S. A., Wang, L. C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L. L. and Zou, C. M. (2011) Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197: 177-185.
- Arnon, D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24: 1-150.
- Awad, El. M. M., Safa, A. and Mansour, A. (2007) Growth, yield and quality of potato as affected by some antioxidants. *Journal of Agricultural Science* 32: 6661-6669.
- Ayas, S. (2013) The effects of different regimes on potato (*Solanum tuberosum* L. Hermes) yield and quality characteristics under unheated greenhouse conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 19: 87-95.
- Bates, L., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207
- Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochemistry* 72: 248-254
- FAO. (2017) FAO (Food and Agricultural Organization). FAOSTAT database for agriculture. Available online at: <http://www.fao.org/faostat/en/cpmpare>.
- Fsles, F. W. (1951) The assimilation and degradation of carbohydrates of yeast cells. *Journal of Biology Chemistry* 193: 113-116.
- Ghanati, F., Morita, A. and Yokota, H. (2002) Induction of suberin and increase of lignin content by excess boron in tobacco cell. *Soil Science. Plant Nutrition* 48: 357-364.
- Ghobadi, M., Taherabadia, S., Ghobadi, M. E., Mohammadi, Gh. R. and Jalali-Honarmand, S. (2013) Antioxidant capacity, photosynthetic characteristics and water relations of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to drought stress. *Industrial Crops and Products* 50: 29-38.
- Giannopolitis, C. and Ries, S. (1997) Superoxid desmutase. I. Occurrence in higher plant. *Plant Physiology* 59: 309-314.
- Hashempour, A., Ghasemzhad, M., Fotouhi, G. and Sohani, M. M. (2014) The physiological and biochemical response to freezing stress olive plants treated with salicylic acid. *Russian Journal of Plant Physiology* 61: 443-450.
- Hassanpanah, D. and Akbarlo, H. (2013) Cultivation and processing of edible and seed potatoes. *Danesh Negar* 224.
- Iwama, K. and Yamaguchi, J. (2006) Abiotic stresses. In: *Handbook of Potato Production, Improvement and Postharvest Management*. (eds. Gopal, J. and Khurana, S. M.) Pp. 231-278. Food Product Press, New York.
- Kabiri, R. and Naghizadeh, M. (2015) Exogenous acetylsalicylic acid stimulates' physiological changes to improve growth, yield and yield components of barley under water stress condition. *Journal of Plant Physiology and Breeding* 5: 35-45.
- Keshavarz, H., Modarres Sanavy, S. A. M. and Sadegh Gol Moghadam, R. (2016) Impact of foliar application with salicylic acid on biochemical characters of canola plants under cold stress condition. *Notulae Science Biology* 8: 98-105
- Khan, M. I., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A. and Khan, N. A. (2015) Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Plant Science Journal* 6 :462.
- Kumar, D., Singh, B. P. and Kumar, P. (2004) An overview of the factors affecting sugar content of potatoes. *Annals of Applied Biology* 145: 247-256.
- Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S. K. and Becker, D. F. (2013) Proline mechanisms of stress survival. *Antioxidants and Redox Signaling* 19: 998-1011.
- Lokhande, V. H., Nikam, T. D. and Penna, S. (2010) Biochemical, physiological and growth changes in response to salinity in callus cultures of *Sesuvium portulacastrum* L. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 102: 17-25.
- Manivannan, P., Jaleel, C. A., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. (2008) Osmoregulation and antioxidant metabolism in drought-stressed *Helianthus annuus* under triadimefon drenching. *Comptes Rendus Biologies* 331: 418-425.
- Miller, G., Suzuki, N. and Ciftci-Yilmaz, S. (2010) Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. *Plant Cell and Environment* 33: 453-467.
- Oliviera-Neto, C. F., Silva Lobato, A. K., GoncalvesVidigal, M. C., Costa, R. C. L., Santos Filho, B. G., Alves, G. A. R., Silva-Maia, W. J. M., Cruz, F. J. R., Neres, H. K. B. and Santos Lopes, M. J. (2009) Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. *Science and Technology* 7: 588-593.
- Pyngrope, S., Bhoomika, K. and Dubey, R. S. (2013) Oxidative stress, protein carbonylation, proteolysis and anti-oxidative defense system as a model for depicting water deficit tolerance in Indica rice seedlings. *Plant Growth Regulator* 69: 149-165.
- Rasouli, F. and Javanmardi, J. (2010) Interaction effects of GA₃ and Zinc sulfate on vegetative characteristics and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.var.Agria). Available online at: <http://>

www.researchgate.net/publication/263785453

- Sadeghipour, O. and Aghaei, P. (2012) Response of common bean to exogenous application of salicylic acid under water stress conditions. *Environmental Biology* 6: 1160-1168.
- SAS Institute Inc. (2002) The SAS system for windows, release 9.0. Cary, NC, USA: Statistical Analysis Systems Institute.
- Shi, Sh., Fan, M., Iwama, K., Li, F., Zhang, Z. and Jia, L. (2015) Physiological basis of drought tolerance in potato grown under long-term water deficiency. *International Journal of Plant Production* 9: 305-320.
- Syed Ali Fathima, M., Johnson, M. and Lingakumar, K. (2011) Effect of crude brassinosteroid extract on growth and biochemical changes of *Gossypium hirsutum* L. and *Vigna mungo* L. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry* 7: 324-334.
- Vardhini, B. V. and Anjum, N. A. (2015) Brassinosteroids make plant life easier under abiotic stresses mainly by modulating major components of antioxidant defense system. *Frontiers in Environmental Science* 2: 67.
- Yang, Y. N., Qi, M., and Mei, C. S. (2004) Endogenous salicylic acid protects rice plants from oxidative damage caused by aging as well as biotic and abiotic stress. *Plant Journal* 40: 909-919
- Zadehbagheri, M., Kamelmannesh, M. M., Javanmardi, S. and Sharafzadeh, S. (2012) Effect of drought stress on yield and yield components, relative leaf water content, proline and potassium ion accumulation in different white bean genotype. *African Journal of Agriculture Research* 7: 5661-5670.
- Zarzynska, K., Boguszevska-Mankowska, D. and Nosalewicz, A. (2017) Differences in size and architecture of the potato cultivars root system and their tolerance to drought stress. *Plant Soil Environment* 63: 159-164..

Effect of spraying of growth regulators on water use efficiency, some osmolites and physiological traits of potato in drought stress conditions

Atefeh Pourasadollahi, Adel Siosemardeh, Farzad Hosseinpanahi and Yusof Sohrabi

Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan,
Sanandaj, Iran

(Received: 01/05/2019, Accepted: 26/06/2019)

Abstract

Drought is one of the most important environmental stresses that limits plant growth through effects on physiological processes. In order to evaluate spraying growth regulators on some physiological traits and water use efficiency of potato under drip irrigation system, a study was conducted at the research farm in Malayer during 2015 growing seasons. The experiment was conducted as a split-plot scheme based on randomized complete block designs with three replications. Different drip irrigation intervals (once every day, once every 2 days, once every 3 days, once every 4 days, once every 5 days and once every 6 days) and sprinkler irrigation (once every 6 days) were considered as a main plots and substrate foliar application of growth regulators with four levels, including epibrassinolide, gibberellic acid, acetylsalicylic acid and the control treatment (distilled water) were considered as a subplots. Results showed that with an increase in drip irrigation intervals, the amount of water use efficiency and protein content as well as the amount of proline, sugar solution of leaf and tuber and potassium concentration increased significantly. The activity of antioxidant peroxidase and superoxide dismutase enzymes on potato seemed to increase as the irrigation frequency increased. The highest enzymatic activities were obtained from once every 5 and 6 days drip irrigation intervals. Foliar applications of growth regulators were effective in reducing hazard effects of drought stress via the increase in photosynthetic pigments and antioxidant enzymes. Foliar application of growth regulators increased the amount of peroxidase and superoxidase enzymes by 25% and 10%. Foliar application of growth regulators was effective in reducing the effects of stress caused by irrigation period prolongation whereas significantly increased water use efficiency, leaf protein content, proline, leaf and sugar solution of potassium, photosynthetic pigments, and antioxidants. Also, increasing the irrigation interval reduced the total chlorophyll content as well as carotenoid by 33% and 45% compared to the control and increased the activity of peroxidase and superoxide dismutase enzymes by 50% and 41% in potato. Foliar application of growth regulators increased the total chlorophyll content by 11%. The effect of epibrassinolide was higher than other growth regulators.

Key words: Potato, Pigments, drip irrigation, yield.

Corresponding author, Email: a33@ouk.ac.ir