نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال سیزدهم / شماره سوم / پاییز ۱۴۰۲/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱۰۹ تا ۱۲۴

بهبود رشد و عملکرد میوه هندوانه با استفاده از قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید در رژیم‌های مختلف آبیاری

حسین نستری نصرآبادی[1*]، سید فرهاد صابرعلی[1] و زهرا شیرمحمدی علی اکبرخانی[2]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱)

چکیده

در مناطق خشک و نیمه خشک، کمبود آب اصلی‌ترین محدودیت در تولید محصولات کشاورزی است. هدف از انجام این مطالعه بررسی اثر قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید بر عملکرد و کیفیت هندوانه تحت تنش خشکی بود. برای این منظور آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل با سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت‌تجزیه مرکب طی دو سال انجام شد. تیمار آبیاری در سه سطح۱۰۰٪، ۸۰٪ و ۶۰٪ نیاز آبی به‌عنوان عامل اصلی در کرت‌های اصلی قرار گرفتند. تیمار قارچ مایکوریزا در دو سطح بدون کاربرد و مخلوط با خاک زراعی (مقدار ۲۰ گرم در هر مترمربع) به‌همراه تیمار سالیسیلیک اسید به شکل محلول‌پاشی در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. بیشترین مقدار پرولین و آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز در تیمار آبیاری ۶۰٪ ثبت شد. در بررسی اثرات متقابل تیمار آبیاری و سالیسیلیک اسید مشخص شد، با افزایش تنش خشکی میزان نشت یونی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، ولی صرف نظر از تیمار آبیاری با کاربرد سالیسیلیک اسید مقدار نشت یونی کاهش یافت. کمترین میزان نشت یونی در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سالیسیلیک اسید در هر سه تیمار آبیاری ثبت شد، با استفاده از قارچ مایکوریزا میزان نشت یونی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین و کمترین مقدار مواد جامد محلول کل به ترتیب در تیمار آبیاری ۸۰٪ و ۱۰۰٪ ثبت شد. بیشترین مقدار مواد جامد محلول با کاربرد قارچ مایکوریزا به دست آمد که نسبت به عدم کاربرد آن ۸/۸۸ ٪ فزایش نشان داد. تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سالیسلیک اسید به‌ترتیب به‌طور معنی‌داری باعث افزایش ۶/۷۰٪ و ۱۱/۲٪ مواد جامد محلول کل نسبت به شاهد شد. کمترین مقدار عملکرد در ترکیب تیمار آبیاری ۶۰٪ و عدم کاربرد قارچ مایکوریزا به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۵۱/۵۶٪ کاهش نشان داد. بر اساس نتایج مشخص شد که صرف نظر از تیمار آبیاری، کاربرد قارچ مایکوریزا موجب افزایش معنی‌داری عملکرد نسبت به عدم کاربرد آن شد، به‌طوری که بیشترین میزان عملکرد در ترکیب تیمار آبیاری ۱۰۰٪ و کاربرد قارچ مایکوریزا به‌دست آمد که نسبت به شاهد فاقد مایکوریزا، ۲/۰۹٪ درصد افزایش نشان داد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط کمبود آب با استفاده از قارچ مایکوریزا به‌عنوان کود زیستی و سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک تنظیم کننده رشد گیاهی می‌توان اثرات مخرب تنش خشکی را کاهش داد و به‌عنوان یک راهکار در مناطق تولید هندوانه به‌منظور افزایش عملکرد و کیفیت هندوانه توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش خشکی، کاتالاز و پراکسیداز، کریمسون سوییت

۱. استادیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران.
۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: nastari@tjamcaas.ac.ir

مقدمه

هندوانه (*Citrullus lanatus* L.) یکی از محصولات مهم خانواده کدوئیان است که در سطح گسترده‌ای در دنیا کشت می‌شود (۴۷). تنش خشکی یکی از بحرانی‌ترین تنش‌های محیطی است که تولید محصولات کشاورزی را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک محدود می‌کند (۱۴). یکی از مکانیسم‌های دفاعی گیاه برای مقابله با تنش در شرایط کمبود آب، تجمع اسمولیت‌های آلی مانند پرولین و قندهای محلول در سیتوپلاسم در طول خشکی است، کاهش عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی در هنگام تنش با بروز اختلالات فیزیولوژیکی مختلف، مانند پسابیدگی سلولی، بسته شدن روزنه، توقف فتوسنتز و القای ریزش برگ، انجام می‌شود (۴۰). گیاه هندوانه کمبود آب را، به‌ویژه در مراحل رشد گیاه و رشد میوه، تحمل نمی‌کند (۳۹). کرناک و همکاران (۲۸) بیان کردند که به‌دلیل سرعت رشد بالا، دوره رشد کوتاه و محتوای آب میوه که می‌تواند تا ۹۲٪ وزن تر میوه برسد، آبیاری هندوانه برای دستیابی به عملکرد بالا کاملاً ضروری است.

قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار به‌عنوان میکروارگانیسم‌های مهم خاک تقریباً در تمام اکوسیستم‌های کشاورزی به طور گسترده وجود دارند و روابط همزیستی با ریشه‌های تقریباً ۹۰٪ از همه گونه‌های گیاهی ایجاد می‌کنند (۱۰). همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا می‌تواند رشد گیاه را در شرایط تنش‌های زنده و غیرزنده بهبود بخشد (۳۰). گزارش شده است که تلقیح قارچ‌های مایکوریزا باعث بهبود استقرار اولیه نشاء و افزایش تعداد میوه زودرس هندوانه می‌شوند (۵۲). تحقیقات متعددی نشان داده است که اغلب همزیستی مایکوریزایی باعث جذب بهتر آب از خاک می‌شود، قارچ‌های میکوریزا باعث افزایش سطح جذب ریشه می‌شوند که به گیاه میزبان کمک می‌کنند تا میزان آب بیشتری از خاک جذب نماید (۱۸). قارچ‌های مایکوریزا در هنگام تنش خشکی با تأثیر بر روابط آبی گیاه و از طریق بهبود جذب آب و پتانسیل آماس برگ، کنترل منافذ روزنه‌ای و تعرق، افزایش طول و عمق ریشه، توسعه هیف‌های انتهایی و بهبود جذب عناصر غذایی باعث افزایش مقاومت گیاه می‌شوند (۸). انجیلی و همکاران (۱۷) بیان کردند که تلقیح فلفل دلمه‌ای با قارچ مایکوریزا تعداد برگ، مقدار کلروفیل و وزن تر و خشک میوه را در شرایط تنش خشکی افزایش و میزان پرولین را کاهش داد. مدیچ و همکاران (۳۲) گزارش کردند که قارچ مایکوریزا باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ ، پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای و همچنین رنگدانه‌های فتوسنتزی و بهبود رشد خربزه تحت تنش خشکی شد.

آزمایشات، پتانسیل سالیسیلیک اسید را به‌عنوان یک محرک دفاعی گیاه در برابر تنش‌های غیرزیستی برجسته کرده است (۳۳، ۳۶ و ۳۸). سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک هورمون گیاهی در چندین فرآیند فیزیولوژیکی گیاهان از جمله جوانه زنی، فتوسنتز، تنفس، رشد و پیری نقش دارد (۲۲). سالیسیلیک اسید ظرفیت و مقاومت گیاه در برابر تنش‌های مختلف مانند خشکی، شوری، سرما، گرما و اشعه ماوراء بنفش را افزایش می‌دهد (۳۶). گیاهانی که در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند، به‌دلیل تولید اسمولیت‌های آلی به‌عنوان نوعی تنظیم اسمزی قادر به حفظ تعادل اسمزی هستند (۳۱). هنگامی که سالیسیلیک اسید در گیاه وجود دارد، تجمع این اسمولیت‌ها را در ساختار درون سلولی القا می‌کند که به حفظ آماس سلولی و تحریک مکانیسم‌های دفاعی گیاه کمک می‌کند (۵۴). علاوه بر غلظت سالیسیلیک اسید، مدت زمان تیمار، گونه‌های گیاهی، سن و اندام گیاهی خاص تیمار شده نیز می‌توانند بر اثرات این هورمون در گیاهان تأثیر بگذارند (۳۳) بااین‌حال، هنوز مطالعات کمی درباره اثرات این هورمون گیاهی، غلظت‌های ایده‌آل و زمان استفاده آن برای کاهش تاثیر کمبود آب روی گیاهان و افزایش تحمل به تنش انجام گرفته است. بنابراین، هدف از این مطالعه، ارزیابی نقش سالیسیلیک اسید و قارچ مایکوریزا به‌عنوان کود زیستی و بررسی اثرات متقابل آنها برای کاهش اثرات تنش خشکی و افزایش کیفیت و عملکرد هندوانه بود.

جدول ۱. ویژگی‌های خاک مزرعه محل انجام آزمایش

اسیدیته	شوری ($mS\ cm^{-1}$)	کربن آلی (٪)	نیتروژن (٪)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)
۷/۹۱	۰/۸۲	۰/۱۸	۰/۰۳	۴/۹۸	۷۶	۶۳	۲۴	۱۳

مواد و روش‌ها

این مطالعه در شهرستان تربت جام، استان خراسان رضوی که دارای آب و هوای خشک است (۳۵ درجه ۱۳ دقیقه شمالی، ۶۰ درجه ۳۷ دقیقه شرقی) در طی بهار و تابستان ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ انجام شد. برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

طرح آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل با سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به‌صورت تجزیه مرکب طی دو سال انجام شد. تیمار آبیاری در سه سطح ۱۰۰٪، ۸۰٪ و ۶۰٪ نیاز آبی به‌عنوان عامل اصلی در کرت‌های اصلی قرار گرفتند. تیمار قارچ مایکوریزا (تهیه شده از موسسه تحقیقات خاک و آب کرج) در دو سطح (کاربرد و عدم کاربرد) به‌همراه تیمار سالیسیلیک اسید در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. کرت‌های فرعی شامل سه بلوک با شش ردیف بود و در هر ردیف شش گیاه کشت شد. قارچ مایکوریزا (*Rhizophagus irregularis*) به‌عنوان کود زیستی در دو سطح بدون کاربرد و مخلوط با خاک زراعی به مقدار ۲۰ گرم در هر مترمربع استفاده شد. قبل از کاشت، یک سوم کود نیتروژن از منبع اوره (۳۳/۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار (از منبع سوپر فسفات تریپل) به‌همراه ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار به خاک اضافه شد. کودهای شیمیایی مورد استفاده، تولید شرکت خدمات حمایتی کشاورزی بود. باقیمانده کود نیتروژن قبل از گلدهی و نوبت بعدی یک ماه بعد به‌صورت سرک استفاده شد. بذر هندوانه رقم تجاری کریمسون سوییت در تاریخ ۵ اردیبهشت سال ۱۴۰۰ و ۹ اردیبهشت سال ۱۴۰۱ کاشته شدند. بر اساس عرف منطقه، فاصله بذرها روی ردیف ۷۰ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد و در هر ردیف ۷ بوته کشت شد. در این آزمایش تا مرحله ۵ برگی آبیاری به‌طور منظم انجام شد. تیمارهای کم آبیاری از مرحله شش برگی اعمال شدند و نیاز آبی گیاهان شاهد با میانگین بلند مدت داده‌های روزانه هواشناسی ثبت شده در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تربت جام از رابطه زیر برآورد شد.

$$ET_c = ET_o \times K_c \qquad (۱)$$

در این رابطه، ET_c نیاز آبی هندوانه (میلی‌متر در روز)، ET_o تبخیر– تعرق گیاه مرجع چمن (میلی‌متر در روز) و Kc ضریب گیاهی هندوانه است. مقادیر ET_o بر اساس روش استاندارد فائو پنمن– مانتیث (۵) برآورد شدند. سپس مقادیر مورد نیاز آب برای هر تیمار محاسبه شد. سیستم آبیاری به‌صورت قطره‌ای بود. میزان آب موردنیاز به‌صورت هفته‌ای محاسبه و با کنتور حجمی آب موردنیاز هر تیمار اعمال شد. تیمار سالیسیلیک اسید به‌صورت محلول‌پاشی از مرحله ۵ برگی آغاز شد و به فاصله ۱۵ روز ۳ مرتبه تکرار و گیاهان شاهد با آب مقطر محلول‌پاشی شدند.

همزمان با برداشت میوه‌ها، برای اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه نمونه‌گیری برگ‌ها با حذف اثر حاشیه به‌طور تصادفی از بوته‌ها انجام شد. در این آزمایش، محتوای نسبی آب برگ بر اساس رابطه (۲) به دست آمد.

$$RWC = (FW - DW) \div (TW - DW) \times 100 \qquad (۲)$$

در این رابطه FW وزن تر، DW وزن خشک و TW وزن اشباع است. وزن اشباع با قرارگرفتن نمونه‌ها در آب به مدت ۲۴ ساعت در شرایط تاریکی به‌دست آمد، سپس این نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد (۲۳).

میزان کلروفیل بر اساس روش لیچتنتالر (۲۹) انجام شد. طبق این روش ۰/۲ گرماز بافت برگ وزن و در هاون چینی حاوی ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ ساییده شد. سپس محتوای هاون چینی بر روی کاغذ صافی واتمن شماره ۱ که در قیف شیشه‌ای قرار داشت ریخته و صاف شد. دوباره محلول با افزودن استون ۸۰٪ به ۱۵ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس ۳ میلی‌لیتر از این محلول که حاوی کلروفیل a و b بود در کووت ریخته و شدت جذب آن در طول موج‌های ۶۶۳ برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و پس از محاسبه کلروفیل a (رابطه ۳) و b (رابطه ۴) مجموع آنها به‌عنوان کلروفیل کل (رابطه ۵) لحاظ شد.

(۳)

$$\text{Chlorophyll a}\left(\frac{\text{mg}}{\text{g}}\ \text{f.w}\right) = \left[12.7(A663) - 2.69(A645\right] \times V / 1000 \times W$$

(۴)

$$\text{Chlorophyll b}\left(\frac{\text{mg}}{\text{g}}\ \text{f.w}\right) = \left[22.9(A645) - 4.68(A663\right] \times V / 1000 \times W$$

(۵)

$$\text{Total Chlorophyll}\left(\frac{\text{mg}}{\text{g}}\ \text{f.w}\right) = \text{Chlorophyll a} + \text{Chlorophyll b}$$

در این رابطه‌ها V حجم نهایی عصاره بر حسب میلی‌لیتر، W وزن تر بافت گیاهی بر حسب گرم و A جذب نور در طول موج‌های مورد نظر می‌باشند.

برای اندازه گیری میزان پرولین ۰/۱ گرم برگ خشک شده را در هاون چینی همراه با ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳/۳٪ ابتدا به خوبی سائیده و در مرحله بعد ۲ میلی‌لیتر از معرف ناین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به هر یک از لوله‌ها افزوده شد. قبلا معرف ناین هیدرین با مخلوط نمودن ۱/۲۵ گرم ناین هیدرین به اضافه ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار و همچنین ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک خالص و سپس حل نمودن آن‌ها در حمام آب گرم آماده شد. لوله‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب جوش (بن ماری) در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و سپس به‌منظور خنک شدن به داخل مخلوط آب و یخ منتقل شدند. در این مرحله و در زیر هود ۶ میلی‌لیتر تولوئن به هر یک از لوله‌های آزمایش افزوده و به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه شدیدا تکان داده شدند. میزان جذب نور در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و در نهایت با توجه به نمودار استاندارد به‌دست آمده از غلظت‌های مختلف پرولین خالص که به‌صورت یک رابطه رگرسیونی است، بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (۶)

میزان درصد نشت الکترولیت بر اساس روش بلوم و ابرکن (۱۱) اندازه‌گیری شد. در این روش ابتدا قطعات برگی با اندازه یک سانتی‌متر تهیه شدند. این قطعات پس از شست‌وشو همراه با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در لوله‌های آزمایش قرار گرفتند. سپس لوله‌ها به مدت ۱۸ ساعت به‌وسیله شیکر شدیدا تکان داده شدند. در این مرحله هدایت الکتریکی اولیه (Ci)، به‌وسیله دستگاه هدایت‌سنج Jenway مدل ۴۵۱۰ اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش جهت کشته شدن یاخته‌های برگی به اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه انتقال داده شدند. پس از سرد شدن محتویات داخل لوله‌های آزمایش، هدایت الکتریکی ثانویه (Cs) نیز اندازه‌گیری شد. در نهایت مقادیر نشت الکترولیت (EL) از طریق رابطه ۶ محاسبه شد.

$$EL = (Ci \div Cs) \times 100 \qquad (۶)$$

فعالیت آنزیم پراکسیداز با روش چنس و میلی (۱۳) بر اساس میزان اکسید شدن گایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر بر حسب واحد بر گرم وزن تر در دقیقه با اسپکتروفتومتر در دمای آزمایشگاه اندازه‌گیری شد و فعالیت آنزیم کاتالاز با اندازه گیری میزان کاهش جذب در ۲۴۰ نانومتر از محلول ۱۲/۵ میلی مولار H_2O_2 در ۵۰ میلی‌لیتر فسفات پتاسیم (pH = ۷) در ۳۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد (۲۵).

برای تعیین مقدار مواد جامد محلول کل از رفرکتومتر دستی مدل RHB0-80 استفاده شد. وزن میوه‌ها برای تعیین عملکرد کل نیز اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SAS (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ مقایسه شدند.

نتایج و بحث

درصد محتوای نسبی آب برگ

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه تیمارهای آبیاری، کاربرد قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد. بر اساس نتایج (شکل ۱) روند کاهش مقدار محتوای نسبی آب برگ با افزایش تنش خشکی مشاهده شد. در هر تیمار آبیاری بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ در ترکیب تیمارهای سالیسیلیک اسید (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و کاربرد قارچ مایکوریزا به‌دست آمد، که باعث افزایش ۸/۲۹٪، ۱۳/۲٪ و ۳۴/۴٪ به‌ترتیب در تیمارهای آبیاری ۱۰۰٪، ۸۰٪ و ۶۰٪ نسب به شاهد (عدم کاربرد قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید) در هر تیمار آبیاری شد. اهمیت آب در گیاه برای حفظ فشار تورگور به‌طور کامل برای رشد و نمو ثابت شده است (۴). محتوای نسبی آب برگ به‌عنوان یک عامل حیاتی در بیان وضعیت آب گیاه اندازه‌گیری می‌شود و نشان‌دهنده کمبود آب در گیاه است. حفظ وضعیت آب گیاه، یک مکانیسم دفاعی حیاتی در طول تنش خشکی برای حفظ آب کافی با به حداقل رساندن اتلاف آب و به حداکثر رساندن جذب آب است (۴). محتوای نسبی آب برگ به‌طور معنی‌داری با افزایش تنش خشکی کاهش یافت که با مطالعات مشابه مطابقت داشت (۵). تحت شرایط تنش خشکی، رشد ریشه و جذب عناصر غذایی مختل می‌شود، به این دلیل که کاهش رطوبت خاک باعث کاهش انتقال عناصر غذایی به سطح ریشه می‌شود (۱۴ و ۵۰). میسلیوم قارچ مایکوریزا بر روابط آبی گیاه میزبان نقش مهمی دارد و باعث جذب آب از منافذ بسیار ریز خاک می‌شود (۲). همچنین گزارش شده است قارچ مایکوریزا با تولید مواد مختلف محرک رشد باعث بهبود رشد ریشه می‌شود (۵۴). افزایش محتوای نسبی آب برگ در کدوی پوست کاغذی (۳۷) و مرزه (۱۸) با استفاده از قارچ مایکوریزا تحت تنش خشکی نیز گزارش شده است که با نتایج این تحقیق یکسان است. قادری و همکاران (۲۱) گزارش کردند، کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش و غیر تنش موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ در توت فرنگی شده است. همچنین گزارش شده است با کاربرد سالیسیلیک اسید محتوای نسبی آب برگ در گوجه فرنگی (۲۶) و گندم (۳۵) تحت تنش خشکی افزایش یافته است.

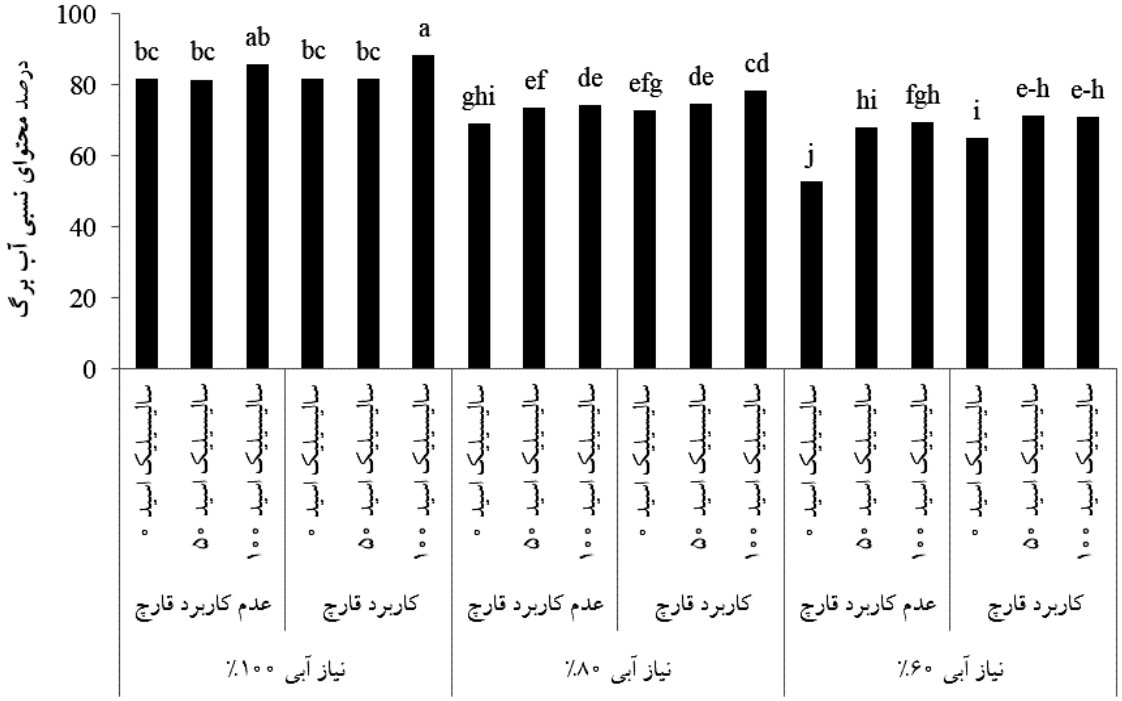
غلظت پرولین

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) مشخص شد که اثرات متقابل سه گانه تیمارهای مورد مطالعه بر محتوای پرولین در اسطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. نتایج نشان داد (شکل ۲)، با افزایش تنش خشکی مقدار پرولین به‌طور معنی داری افزایش یافت. بیشترین مقدار پرولین در تیمار ۶۰٪ نیاز آبی با عدم کاربرد قارچ و تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سالیسیلیک اسید ثبت شد که نسبت به شاهد ۵۵/۷٪ افزایش نشان داد. و کمترین مقدار آن در ترکیب تیمار بدون تنش خشکی، کاربرد قارچ و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۱۶/۸۱٪ کاهش داشت. نتایج نشان داد (شکل ۲)، کاربرد سالیسیلیک اسید خصوصا تحت تنش خشکی باعث افزایش مقدار پرولین شد. بر اساس نتایج مشخص شد که کاربرد قارچ مایکوریزا باعث کاهش مقدار تولید پرولین در ترکیبات مختلف شد (شکل ۲). در این آزمایش، محتوای پرولین با افزایش تنش خشکی، مشابه نتایج سایر محققان افزایش یافت (۵، ۵۰ و ۵۳). محتوای پرولین، شاخص تحمل به خشکی در بافت گیاهی تحت تنش خشکی است. تجمع پرولین به افزایش سطح اسمزی سلول‌های گیاهی در شرایط کمبود آب کمک می‌کند (۴۹). کاهش مقدار تولید پرولین با استفاده از قارچ مایکوریزا

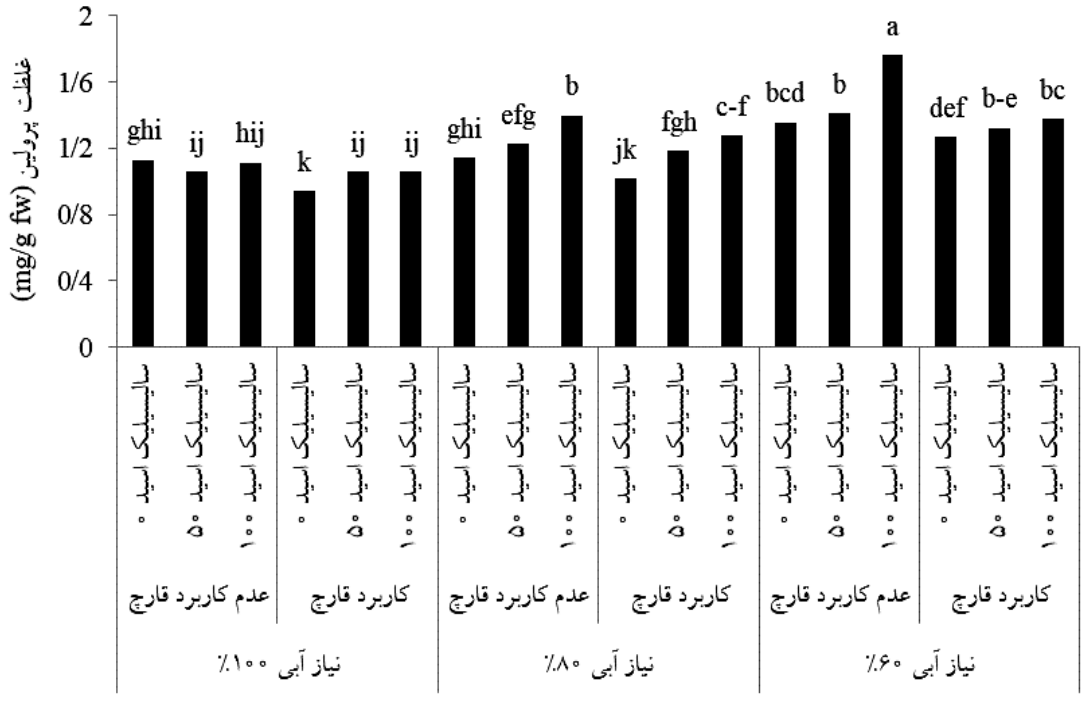
جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه گیاه هندوانه در تلقیح با قارچ مایکوریزا و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در سطوح مختلف آبیاری.

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	پرولین	نشت یونی	کلروفیل کل	پراکسیداز	کاتالاز	مواد جامد محلول کل	عملکرد
سال	۱	۱۹/۱^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۱۹۵۹^{ns}	۰/۴۹^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۹^{ns}	۰/۳۳^{ns}	۴/۳۹^{ns}
بلوک	۲	۲۸/۸^{ns}	۰/۱۶*	۲/۸۰^{ns}	۶/۷۸^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۹۷^{ns}	۸/۴۱^{ns}
بلوک × سال (خطای a)	۲	۱۷/۲	۰/۲۷	۶/۴۹	۴/۹۳	۰/۰۰۳	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۴۹
آبیاری	۲	۲۶۹۴**	۱/۱۶**	۳۲۴۶**	۳۶/۶**	۰/۲۸**	۵۶/۳**	۱۰/۷**	۱۰۷۰۹***
سال × آبیاری	۲	۲۳/۳^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۹/۳۴^{ns}	۰/۳۹^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۰/۴۳^{ns}	۰/۰۹^{ns}
بلوک × آبیاری و سال (خطای b)	۸	۱۳/۸	۰/۰۱	۵/۸۸	۰/۸۷	۰/۰۰۲	۰/۰۵	۰/۶۶	۲/۰۱
قارچ مایکوریزا	۱	۲۸۹**	۰/۴۰**	۱۱۱**	۴/۴۵**	۰/۰۹**	۶/۱۳**	۱۴/۴**	۶۸/۴**
سالیسیلیک اسید	۲	۴۸۴**	۰/۳۳**	۷۳۶**	۵/۸۳**	۰/۰۳**	۲/۳۷**	۷/۶۴**	۵۷/۱**
سال × قارچ مایکوریزا	۱	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۳/۱۶^{ns}	۰/۱۴^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۰/۴۵^{ns}
سال × سالیسیلیک اسید	۲	۳۰^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۸/۰۱^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۳۹^{ns}	۰/۲۳^{ns}
قارچ مایکوریزا × سالیسیلیک اسید	۲	۳۴^{ns}	۰/۰۵**	۲/۵۴^{ns}	۰/۲۹^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۴۵**	۰/۲۱^{ns}	۰/۱۲^{ns}
آبیاری × قارچ مایکوریزا	۲	۴۹**	۰/۰۳^{ns}	۱۴/۱^{ns}	۰/۳۵^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۱۶^{ns}	۱/۳۲^{ns}	۵/۷۲*
آبیاری × سالیسیلیک اسید	۴	۹۹**	۰/۰۵**	۵۴/۲**	۱/۱۶*	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۱۵^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۲/۴۲^{ns}
آبیاری × قارچ مایکوریزا × سالیسیلیک اسید	۴	۴۰*	۰/۰۴**	۲۲/۱^{ns}	۰/۱۶^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۵^{ns}	۰/۴۴^{ns}	۱/۷۵^{ns}
سال × قارچ مایکوریزا × سالیسیلیک اسید	۲	۱۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۲/۶۴^{ns}	۰/۲۸^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۰/۱۷^{ns}
سال × آبیاری × سالیسیلیک اسید	۴	۶/۲۳^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۸/۳۹^{ns}	۰/۳۸^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۱/۹۷^{ns}
سال × آبیاری × قارچ مایکوریزا	۲	۳/۹۷^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۴/۷۱^{ns}	۰/۲۸^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۷۷^{ns}	۱/۱۳^{ns}
سال × آبیاری × قارچ مایکوریزا × سالیسیلیک اسید	۴	۹/۲۰^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۳/۰۶^{ns}	۰/۱۸^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۹^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/۲۹^{ns}
خطا	۶۰	۱۳/۱	۰/۰۰۸	۸/۸۶	۰/۴۴	۰/۰۰۲	۰/۰۷	۰/۵۱	۱/۷۸
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۸۵	۷/۳۲	۱۴/۷	۱۰/۸	۱۳/۱	۴/۴۱	۸/۲۲	۲/۵۱

ns عدم تفاوت معنی‌داری و * و ** به‌ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد است.



شکل ۱. اثرات متقابل آبیاری، قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید بر محتوای نسبی آب برگ گیاه هندوانه. در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۲. اثرات متقابل آبیاری، قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید بر مقدار پرولین گیاه هندوانه. در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

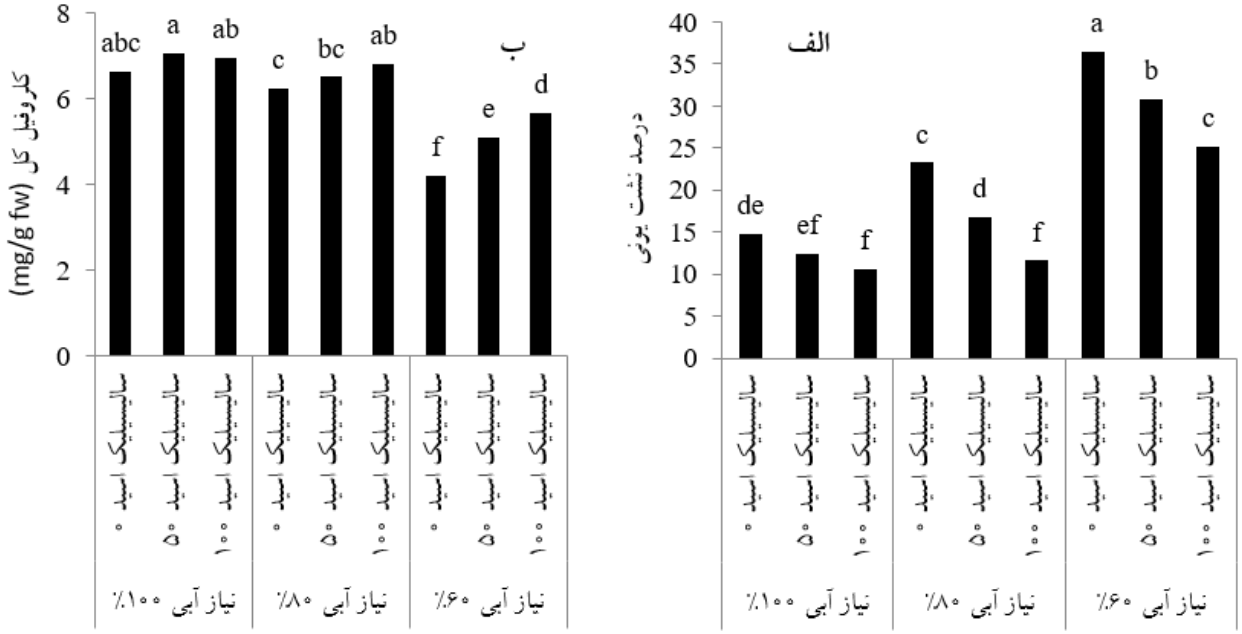
در ذرت (۱۶) فلفل دلمه‌ای (۱۷)، مرزه (۱۸) نیز گزارش شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا نسبت به گیاهان تلقیح نشده می‌توانند با توسعه ریشه و روابط آبی بهتر و جذب بیشتر عناصر غذایی شرایط تنش خشکی را بهتر تحمل نمایند و کمتر دچار آسیب شوند و در نتیجه میزان تولید پرولین کمتر افزایش می‌یابد. کاهش تولید پرولین تحت تنش خشکی با کاربرد قارچ مایکوریزا در کاهو (۳) و فلفل دلمه‌ای (۱۷) گزارش شده است. افزایش تولید پرولین با استفاده از سالیسیلیک اسید تحت تنش خشکی در خربزه (۳۶) و گندم (۳۵) نیز گزارش شده است. پیشنهاد شده است که سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک مولکول سیگنال عمل می‌کند، سپس مسیر آبشاری سیگنال را احتمالا بوسیله ABA، هیدروژن پراکسید (H_2O_2) و کلسیم ($+Ca_2$) فعال می‌کند، که منجر به فعال شدن سنتز پروتئین کینازهای مخصوصی شده که باعث فعال شدن پاسخ‌های بیشتر پایین دست مانند تغییر در بیان ژن می‌شود. پاسخ به این سیگنال‌ها باعث تغییر در متابولیسم گیاه می‌شود که شامل فعال شدن و سنتز آنتی اکسیدان‌ها، سنتز و تجمع پرولین و بسته شدن روزنه‌ها تحت تنش خشکی می‌باشد (۲۰).

درصد نشت یونی

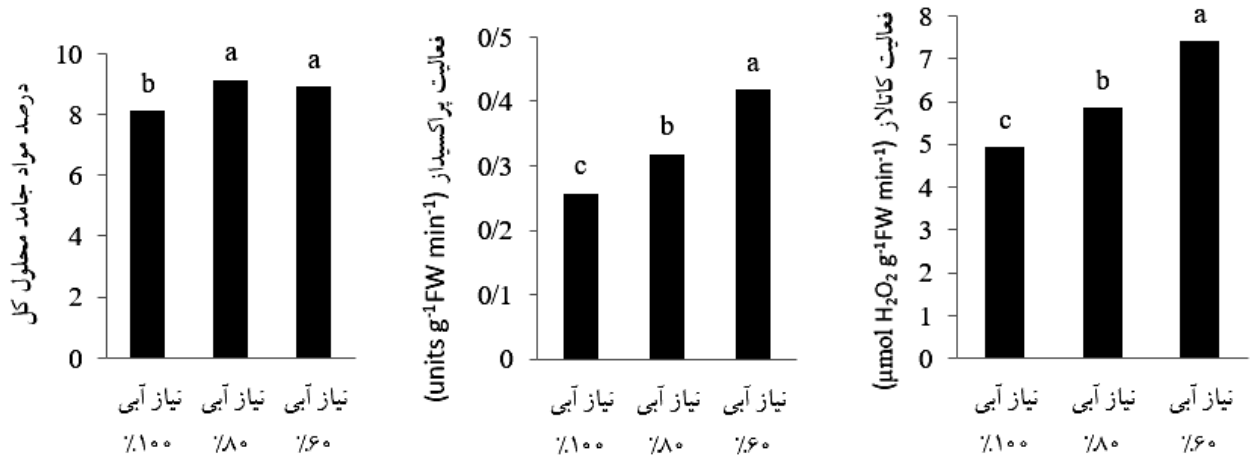
بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) اثرات متقابل دو گانه آبیاری و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۱٪ و اثرات ساده کاربرد قارچ مایکوریزا نیز در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمار آبیاری و سالیسیلیک اسید (شکل ۳- الف) نشان داد که با افزایش تنش خشکی میزان نشت یونی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، ولی در هر تیمار آبیاری با کاربرد سالیسیلیک اسید مقدار نشت یونی کاهش یافت. کمترین میزان نشت یونی در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سالیسیلیک اسید در هر تیمار آبیاری ثبت شد. غشاهای بیولوژیکی اولین هدف بسیاری از تنش‌های محیطی هستند. به‌طور کلی پذیرفته شده است که حفظ یکپارچگی و پایداری غشاها تحت تنش خشکی، بخش مرکزی مقاومت به خشکی در گیاهان است. تنش خشکی با تحریک استرس اکسیداتیو و رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشای سلولی و افزایش نفوذپذیری غشاء و نشت یون می‌شود (۲۴). کاهش میزان نشت یونی با استفاده از سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی در دانهال‌های هندوانه (۴۷) و گوجه فرنگی (۲۶) و با استفاده از قارچ مایکوریزا در کاهو (۳) و هندوانه (۹) گزارش شده است که با یافته‌های این تحقیق مطابقت دارد.

کلروفیل کل

نتایج نشان داد (جدول ۲) اثرات متقابل آبیاری و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۵٪ و کاربرد قارچ مایکوریزا در سطح احتمال ۱٪ بر میزان کلروفیل معنی‌دار شدند. در این آزمایش روند کاهش مقدار کلروفیل کل با افزایش تنش خشکی مشاهده شد (شکل ۳- ب) که این کاهش در تیمار آبیاری ۶۰٪ با شدت بیشتری همراه بود. کمترین مقدار کلروفیل در ترکیب تیمار آبیاری ۶۰٪ و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید ثبت شد (شکل ۳- ب) که نسبت به شاهد (تیمار آبیاری ۱۰۰٪ و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید) ۳۶/۷٪ کاهش نشان داد و در هر تیمار آبی با کاربرد سالیسیلیک اسید مقدار کلروفیل کل نسبت به عدم کاربرد آن افزایش یافت. بر اساس نتایج، محتوای کلروفیل با افزایش تنش خشکی کاهش یافت. کاهش کلروفیل تحت تنش خشکی شاخصی از تنش اکسیداتیو در گیاهان است، تخریب کلروپلاست با بسته شدن روزنه‌ها در شرایط خشکی برای مدت طولانی افزایش می‌یابد و مصرف نیتروژن و گلوتامات (سوبسترای تولید کلروفیل و پرولین) دلایل کاهش کلروفیل تحت تنش خشکی هستند که باعث تولید و تجمع بیشتر پرولین می‌شوند (۱۲). افزایش میزان کلروفیل با استفاده از قارچ مایکوریزا در خربزه (۳۲)، فلفل دلمه‌ای (۱۷) و کاهو (۳) گزارش شده است. همچنین افزایش میزان کلروفیل با کاربرد سالیسیلیک اسید در بادمجان (۴۱) و هندوانه (۴۷) گزارش شده است که با یافته‌های این تحقیق مطابقت دارد.



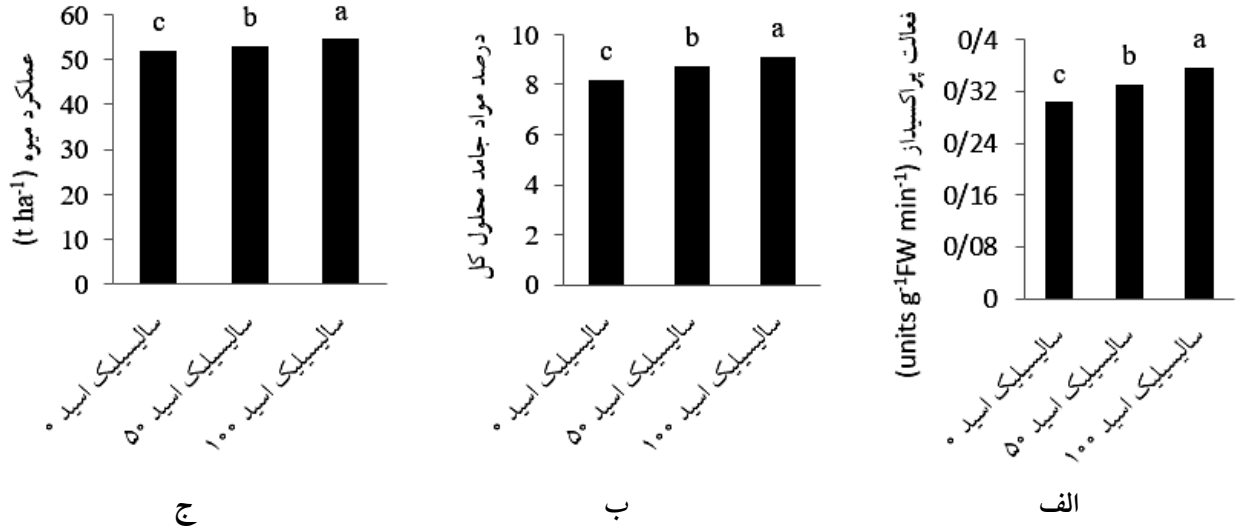
شکل ۳. اثرات متقابل آبیاری و سالیسیلیک اسید بر درصد نشت یونی (الف) و کلروفیل کل (ب) گیاه هندوانه. در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.



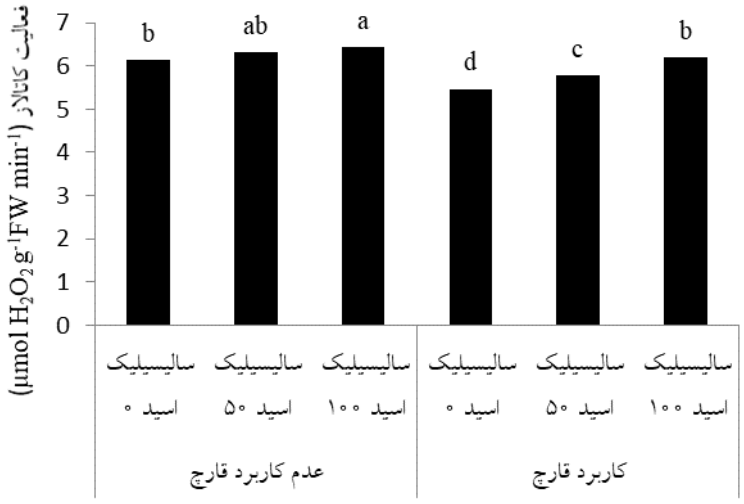
شکل ۴. اثرات ساده نیاز آبی بر فعالیت آنزیم کاتالاز (الف)، آنزیم پراکسیداز (ب) و درصد مواد جامد محلول کل (ج) گیاه هندوانه. در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که فقط اثرات ساده تیمارها بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شدند و مشخص شد که اثرات متقابل کاربرد قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۱٪ و تیمار آبیاری نیز در سطح احتمال ۱٪ بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز



شکل ۵. اثرات ساده سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم پراکسیداز (الف)، درصد مواد جامد محلول کل (ب) و عملکرد میوه(ج) گیاه هندوانه. در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۶. اثرات متقابل کاربرد قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم کاتالاز گیاه هندوانه. در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

معنی‌دار شدند. بر اساس نتایج مشخص شد، در شرایط تنش خشکی میزان تولید پراکسیداز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۴- ب). بیشترین میزان تولید پراکسیداز در تیمار آبیاری ٪۶۰ ثبت شد که نسبت به شاهد ٪۶۱/۵ افزایش نشان داد. با استفاده از سالیسیلیک اسید (شکل ۵- الف) به طور معنی‌داری میزان تولید پراکسیداز افزایش یافت، بیشترین مقدار پراکسیداز در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سالیسلیک اسید به‌دست آمد که نسبت به شاهد ٪۱۷/۸ افزایش یافت. در بررسی اثرات متقابل دو گانه قارچ مایکوریزا و سالیسیلیک اسید (شکل ۶)، بیشترین میزان تولید آنزیم کاتالاز در ترکیب عدم کاربرد قارچ مایکوریزا

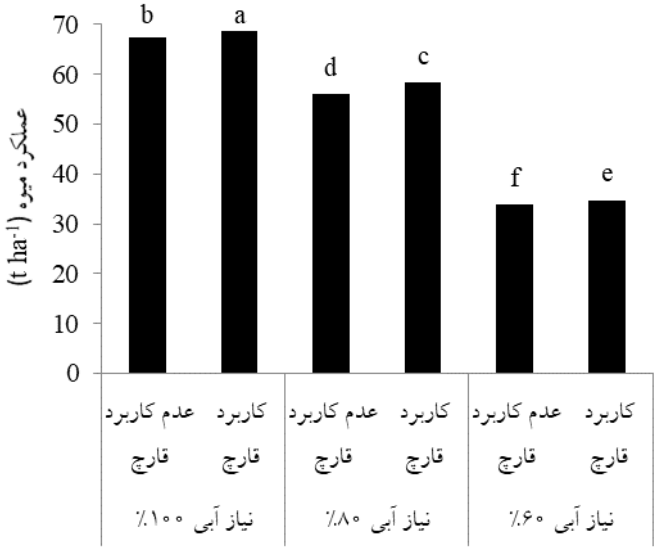
و مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سالیسلیک اسید ثبت شد که نسبت به شاهد ۴/۸٪ افزایش نشان داد. در بررسی اثرات ساده تیمار آبیاری (شکل ۴- الف) مشخص شد که با افزایش تنش خشکی به‌طور معنی‌داری میزان تولید آنزیم کاتالاز افزایش یافت و بیشترین میزان تولید آنزیم کاتالاز در تیمار آبیاری ۶۰٪ ثبت شد که نسبت به شاهد ۵۰/۱٪ افزایش نشان داد. بر اساس نتایج این تحقیق مشخص شد که میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در هندوانه تحت تنش خشکی افزایش یافت که با مطالعات مشابه یکسان است (۵، ۱۶ و ۳۵). سالیسیلیک اسید در القای پاسخ آنتی اکسیدانی نقش دارد و نقش محافظتی در پایداری غشاها داشته و از این رو تحمل آسیب را افزایش می‌دهد (۳۵). در بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر توت‌فرنگی (۲۱) و گوجه فرنگی (۲۶) تحت تنش خشکی، مشخص شد که سالیسیلک اسید باعث افزایش محتوای آنزیم‌های آنتی اکسیدانی می‌شود که با نتایج این مطالعه یکسان است. کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با تیمار قارچ مایکوریزا می‌تواند به‌دلیل افزایش جذب آب و عناصر غذایی باشد که اثرات تنش را کاهش می‌دهد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که تلقیح با قارچ مایکوریزا می‌تواند در کاهش تولید و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن مؤثر باشد (۴۲).

درصد مواد جامد محلول کل

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) فقط اثرات ساده تیمارها در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شدند. در این آزمایش بیشترین و کمترین مقدار مواد جامد محلول به‌ترتیب در تیمار آبیاری ۸۰٪ و ۱۰۰٪ ثبت شد (شکل ۴- ج). در بررسی اثرات تیمار سالیسیلک اسید (شکل ۵- ب) بین سطوح مختلف سالیسیلیک اسید اختلاف معنی‌داری مشاهده شد به‌طوری‌که تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سالیسلیک اسید به‌ترتیب باعث افزایش ۶/۷۰٪ و ۱۱/۲٪ مواد جامد محلول کل نسبت به شاهد شد. در این تحقیق، بیشترین مقدار مواد جامد محلول در تنش خشکی متوسط (۸۰٪) به‌دست آمد. برزگر و همکاران (۵) بیان کردند که تنش خشکی باعث افزایش مواد جامد محلول کل در هندوانه شد، همچنین زاهدیان و همکاران (۵۳) گزارش کردند که تنش خشکی باعث افزایش مواد جامد محلول در خربزه شد. این افزایش می تواند به‌دلیل کاهش جذب آب توسط میوه و افزایش نسبت قند باشد. علاوه بر این، کاهش فعالیت آنزیم اینورتاز در طول تنش خشکی باعث افزایش تجمع ساکارز و مواد جامد محلول کل در میوه‌ها می‌شود (۱). افزایش میزان مواد جامد محلول با کاربرد قارچ مایکوریزا توسط شیردل و همکاران (۴۶) گزارش شده است. قارچ‌های مایکوریزا از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی، سبب افزایش فتوسنتز و تولید فرآورده‌های فتوسنتزی بیشتری می‌شوند، همچنین قارچ‌های مایکوریزا باعث افزایش مقدار هورمون‌های گیاهی مانند سایتوکینین و جیبرلین در گیاهان تلقیح شده می‌شوند. افزایش در میزان این هورمون‌ها به ویژه سایتوکینین می‌تواند با انتقال یون‌های مؤثر در بازشدن روزنه‌ها و تنظیم سطح کلروفیل، موجب افزایش سرعت فتوسنتز و بالارفتن تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و ذخیره کربوهیدراتی در میوه‌ها شود (۴۳). گزارش‌هایی مبنی بر تأثیر کاربرد سالیسیلیک اسید در افزایش مواد جامد محلول روی خربزه (۳۶) و گوجه فرنگی (۲۷) موجود است. سالیسیلیک اسید به‌دلیل افزایش نفوذپذیری غشاء، میزان جذب و مصرف مواد معدنی را افزایش می‌دهد و درنتیجه سبب افزایش وزن و همچنین مواد جامد محلول می‌شود (۲۷). همچنین می‌توان گفت که سالیسیلیک اسید با افزایش سطح برگ، میزان کلروفیل کل و فتوسنتز باعث افزایش میزان تولید کربوهیدرات‌ها می‌شود و گزارش شده است که سالیسیلیک اسید در تنظیم قند از محل تولید و یا برگ به محل مصرف یا میوه موثر است (۵۱).

عملکرد میوه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) اثرات متقابل آبیاری و قارچ مایکوریزا در سطح احتمال ۵٪ و اثرات ساده تیمار سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۱٪ بر میزان عملکرد میوه



شکل ۷. اثرات متقابل نیاز آبی و کاربرد قارچ مایکوریزا بر عمکرد میوه گیاه هندوانه. در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

معنی‌دار شدند. نتایج نشان داد (شکل ۷) که با کاهش مقدار آبیاری عملکرد میوه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کمترین مقدار عملکرد میوه در ترکیب تیمار آبیاری ۶۰٪ و عدم کاربرد قارچ مایکوریزا به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۵۱/۵٪ کاهش نشان داد. بر اساس نتایج (شکل ۷) مشخص شد که با کاربرد قارچ مایکوریزا در هر تیمار آبیاری نسبت به عدم کاربرد آن عملکرد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در بررسی اثرات ساده تیمار سالیسیلیک اسید مشخص شد که تیمار سالیسیلیک اسید به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد شد (شکل ۵- ج) و بیشترین عملکرد در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سالیسیلیک اسید ثبت شد که نسبت به عدم کاربرد آن ۴/۷۴٪ افزایش نشان داد.

بهبود عملکرد به‌دلیل محلول پاشی با سالیسیلیک اسید تحت تنش خشکی قبلاً گزارش شده است (۳۶ و ۳۸). افزایش عملکرد هندوانه به‌دلیل تجمع بیشتر آسمیلات‌های آلی و افزایش فعالیت آنتی اکسیدان‌ها می‌باشد (۴۴). همچنین تأثیر مثبت سالیسیلیک اسید در افزایش رشد و عملکرد می‌تواند به‌دلیل تأثیر آن بر فعالیت هورمون‌های گیاه باشد، سالیسیلیک اسید با تغییر تعادل هورمون‌های اکسین، سیتوکنین و اسید آبسیزیک سبب افزایش رشد و عملکرد می‌شود (۴۵). همچنین افزایش عملکرد در نتیجه تغذیهٔ برگی با سالیسیلیک اسید ممکن است به دلیل تأثیرگذاری آن بر فتوسنتز باشد. سالیسیلیک اسید موجب افزایش سرعت فتوسنتز، افزایش غلظت CO_2 و افزایش کارآیی مصرف آب و در نهایت افزایش عملکرد می‌شود (۱۹). از طرفی به‌نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید با افزایش میزان کلروفیل در برگ‌هایی که در آغاز فرآیند پیری هستند می‌تواند سبب افزایش فتوسنتز و درنتیجه افزایش رشد و عملکرد شود (۱۵). افزایش عملکرد با استفاده از قارچ مایکوریزا توسط سهرابی (۴۸) و مو (۳۴) گزارش شده است. قارچ‌های مایکوریزا به‌عنوان یک کود زیستی با افزایش سلامت خاک از طریق بهبود رطوبت خاک، افزایش حاصلخیزی و کیفیت خاک، افزایش جذب مواد غذایی از طریق ایجاد حمل و نقل‌های خاص به‌وسیله انتقال از محیط خارجی به محیط داخلی با اصلاح موفولوژی ریشه و افزایش تحمل به تنش از طریق کاهش استرس اکیداتیو، کاهش نشت یونی، تنظیم بیان ژن‌های پاسخ به اسید آبسیزیک و تنظیم مسیرهای بیوسنتز هورمون‌های گیاهی باعث تحمل گیاه به شرایط تنش و افزایش عملکرد می‌شود (۷).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که در مناطق خشک و نیمه‌خشک و

مراکز تولید هندوانه می‌توان با استفاده از قارچ مایکوریزا به‌عنوان کود زیستی و سالیسیلیک اسید به‌عنوان تنظیم کننده رشد گیاهی، اثرات مخرب تنش را کاهش داد. همچنین با اعمال کم آبیاری تا میزان۸۰٪ نیاز آبی ضمن صرفه جویی و ذخیره آب از عملکرد و کیفیت قابل قبولی برخوردار شد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده از محل اعتبارات پژوهشی مجتمع آموزش عالی تربت جام می‌باشد که بدینوسیله از معاونت پژوهشی مجتمع تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Alam, A., B. Hariyanto, H. Ullah, K. R. Salin and A. Datta. 2021. Effects of silicon on growth, yield and fruit quality of cantaloupe under drought stress. *Silicon* 13(9): 1-10.
2. Auge, R. M. 2001. Water relation drought and vesicular arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhizae* 11: 3-42.
3. Badvi, H., N. A. Ansari, M. Mahmoodi Sorestani and F. Eskandari. 2015. Effects of drought stress and mycorrhizal fungi on some morphophysiological characteristics of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Plant Productions* 38(3): 27-39. (In Farsi).
4. Barnabás, B., K. Jäger and A. Fehér. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell & Environment* 31(1): 11-38.
5. Barzegar, T., H. Lotfi, V. Rabiei, Z. Ghahremani and J. Nikbakht. 2017. Effect of water-deficit stress on fruit yield, antioxidant activity, and some physiological traits of four Iranian melon genotypes. *Iranian Journal of Horticultural Science* 48: 13-25.
6. Bates, L. S., R. P. Waldren and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.
7. Begum, N., C. Qin, M. A. Ahanger, S. Raza, M. Ishfaq Khan, M. Ashraf, N. Ahmed and L. Zhang. 2019. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science* 10: 1-15.
8. Bhosal, K. S. and B. P. Shinde. 2011. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on proline and chlorophyll content in *Zingiber Officinale* rosc grown under water stress. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences* 3: 172-176.
9. Bidabadi, S. S. and M. Mehralian. 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation to enhance chilling stress tolerance of watermelon. *Gesunde Pflanzen* 72: 171-179.
10. Birhane, E., N. Fatumah, K. Gidey, A. Zenebe and S. Mohammed. 2018. Vegetation cover density and disturbance affected arbuscular mycorrhiza fungi spore density and root colonization in a dry Afromontane forest, northern Ethiopia. *Journal of Forestry Research* 29: 675-686.
11. Blum, A. and A. Ebercon. 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Science* 21: 43-47.
12. Bybordi, A. 2012. Study effect of salinity on some physiologic and morphologic properties of two grape cultivars. *Journal of Life Science* 9(4): 1092-1101.
13. Chance, B. and A. C. Maehly .1955. Assay of catalase and peroxidases. *Methods in Enzymology* 2: 764-775.
14. Dar, J. S., M. A. Cheema, M. I. A. Rehmani, S. Khuhro, S. Rajput, A. L. Virk S. Hussani, M. A. Bashir, S. M. Alghanem, F. M. Al-Zuaibr, M. J. Ansari and K. Hessini. 2021. Potassium fertilization improves growth, yield and seed quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress at different growth stages. *Plos One* 16(9): 1-16.
15. Delany, T. P., S. Uknes, B. Vernooij, L. Friedrich, K. Weymann, D. Negrotto, T. Gaffney, M. Gut-Rella, H. Kessmann, E. Ward and J. Ryals. 1994. A central role of salicylic acid in plant disease resistance. *Journal of Food Science* 266: 1247-1250.
16. Eliaspour, S., R. Seyed Sharifi, A. Shirkhani and S. Farzaneh. 2020. Effects of biofertilizers and iron nano-oxide on maize yield and physiological properties under optimal irrigation and drought stress conditions. *Food Science & Nutrition* 8: 5985-5998.
17. Enjili, M., B. Esmaielpour, H. Fatemi and P. Jalilvand. 2018. Effects of mycorrhizal fungi on growth and yield of sweet pepper (*Caspicum annuum* L.) under drought stress conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions* 9(2): 39-52. (In Farsi).

18. Esmaielpour, B., P. Jalilvand and J. Hadian. 2013. Effects of drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi on some morphophysiological traits and yield of savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Agroecology* 5(2): 169-177. (In Farsi).
19. Fariduddin, Q., S. Hayat and A. Ahmad. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brssica juncea. Photosynthetica* 41:281-284.
20. Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S. M. A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy* 29: 185-212.
21. Ghaderi, N., S. Normohammadi and T. Javadi. 2015. Morpho-physiological responses of strawberry (*Fragaria×ananassa)* to exogenous salicylic acid application under drought stress. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17: 167-178.
22. Guo, B., C. Liu, Y. Liang, N. Li and Q. Fu. 2019. Salicylic acid signals plant defense against cadmium toxicity. *International Journal of Molecular Sciences* 20(12): 2960.
23. Hanson, A. D. and W. D. Hitz. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Annual Review of Plant Biology* 33: 163-203.
24. Hasanuzzaman, M., M. H. M. Bhuyan, F. Zulfiqar, A. Raza, S. M. Mohsin, J. Al Mahmud, M. Fujita and V. Fotopoulos. 2020. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants* 9(8): 681.
25. Havir, E. A. and N. A. McHale. 1987. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. *Plant Physiology* 84 (2): 450-455.
26. Hayat, S., S. A. Hasan, Q. Fariduddin and A. Ahmad. 2008. Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. *Journal of Plant Interaction* 3(4): 297-304.
27. Javaheri, M., K. Mashayekhi, A. Dadkhah and F. Zaker Tavallaee. 2012. Effects of salicylic acid on yield and quality characters of tomato fruit (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *International Journal of Agriculture and crop Sciences* 4 (16): 1184-1187.
28. Kirnak, H., E. Dogan, L. Bilge and K. Berakatoglu. 2009. Effect of preharvest deficit irrigation on second crop watermelon grown in an extremely hot climate. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 135: 141-148.
29. Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods of Enzymology* 148: 350-380.
30. Liu, A., S. Chen, M. Wang, D. Liu, R. Chang, Z. Wang, X. Lin, B. Bai and G. J. Ahammed. 2016. Arbuscular mycorrhizal fungus alleviates chilling stress by boosting redox poise and antioxidant potential of tomato seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation* 35: 109-120.
31. Maghsoudi, K., Y. Emam, M. Ashraf and M. J. Arvin. 2019. Alleviation of field water stress in wheat cultivars by using silicon and salicylic acid applied separately or in combination. *Crop and Pasture Science* 70(1): 36-43.
32. Meddich, A., Y. A. Rahou, A. Boutasknit, M. Ait-El-Mokhtar, A. Fakhech, S. Lahbouki, W. Benaffari, R. Ben-Laouane and S. Wahbi. 2022. Role of mycorrhizal fungi in improving the tolerance of melon (*Cucumis melo*) under two water deficit partial root drying and regulated deficit irrigation. *Plant Biosystems* 156(2): 469-479.
33. Miura, K. and Y. Tada. 2014. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. *Frontiers in Plant Science* 5: 1-12.
34. Mo, Y., Y. Wang, R. Yang, J. Zheng, C. Liu, H. Li, J. Ma, Y. Zhang, C. Wei and X. Zhang. 2016. Regulation of plant growth, photosynthesis, antioxidation and osmosis by an arbuscular mycorrhizal fungus in watermelon seedlings under well-watered and drought conditions. *Frontiers in Plant Science* 7: 644.
35. Munsif, F., U. Farooq, M. Arif, T. Shah, M. Jehangir, S. Zaheer, A. Akhtar, M. Shahid Khan, L. Ahmad, W. Ahmad, S. Ali and R. Amir. 2021. Potassium and salicylic acid function synergistically to promote the drought resilience through upregulation of antioxidant profile for enhancing potassium use efficiency and wheat yield. *Annals of Applied Biology* 180(2): 1-10.
36. Nasrabadi, H. N., H. Nemati, M. Kafi and H. Arouei. 2015. Effect of foliar application with salicylic acid on two Iranian melons (*Cucumis melo* L.) under water deficit. *African Journal of Agricultural Research* 10(33): 3305-3309.
37. Nazari-Nasi1, H., R. Amirnia and M. Zardashti. 2018. Effect of drought stress and biofertilizers on some physiological characteristics and grain yield of medicinal pumpkin plants. *Crops Improvement* 20(1): 205-217. (In Farsi).
38. Noreen, S., M. Ashraf and N. A. Akram. 2012. Does exogenous application of salicylic acid improve growth and some key physiological attributes in sunflower plants subjected to salt stress? *Journal of Applied Botanical Food Quality* 84: 169-180.
39. Özmen, S., R. Kanber, N. Sari and M. Unlu. 2015. The effects of deficit irrigation on nitrogen consumption, yield, and quality in drip irrigated grafted and ungrafted watermelon. *Journal of Integrative Agriculture* 14(5): 966-976.
40. Prazeres, C. S. and C. Coelho. 2020. Osmolyte accumulation and antioxidant metabolism during germination of vigorous maize seeds subjected to water deficit. *Acta Scientiarum Agronomy* 42: e42476.

41. Raghami, M., A. Estaji, V. Bagheri and E. Aryakia. 2016. Effect of salinity stress and salicylic acid on some morphophysiological characteristics of eggplant (*Solanum melongena* var. Taki) in soilless culture. *Journal of Soil and Plant Interactions* 7(27): 77-87. (In Farsi).
42. Rostami, R., M. Daneshvar, A. Esmaili and M. Zahedi. 2019. Effect of mycorrhizal fungus on growth and physiological parameters of sunflower and safflower under Cd stress. *Plant Process and Function* 8(30): 195-205. (In Farsi).
43. Selvaraj, T. and P. Chellappan. 2006. Arbuscular mycorrhizae: A diverse personality. *Journal of Central European Agriculture* 7: 349-358.
44. Shahba, Z., A. Baghizadeh, S. M. A. Vakili, A. Yazdanpanah and M. Yousefi. 2011. The salicylic acid effect on the tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.), sugar, protein, and proline contents under salinity stress (NaCl). *Journal of Biophysics and Structural Biology* 2: 35-41.
45. Shakirova, F. M., A. R. Shakhabutdinova, M. V. Brzukova, R. A. Fatkhutdinova and D. R. Fatkhutdinova. 2003. Changes in the hormonal statas of wheat seedling induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science* 164: 317-322.
46. Shirdel, M., S. Eshghi, A. Gharaghani and M. Zarei, 2020. Morpho-physiological, quantitative and qualitative responses of two strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) cultivars to heat stress in presence of Arbuscular Mycorrhiza Fungus. *Plant Process and Function* 9(38): 245-263.
47. Silva, J. M., G. Júnior, A. Bonifácio, A. F. Dutra, R. Prado, F. Neto, A. M. Zuffo, R. S. Melo, T. Pereira and R. Sousa. 2022. Exogenous salicylic acid alleviates water stress in watermelon plants. *Annals of Applied Biology* 182: 121-130.
48. Sohrabi, Y., W. Weisany, G. Heidari, K. Mohammadi and K. Ghasemi Golezani. 2019. Effects of mycorrhiza fungi species application on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 12(2): 507-524. (In Farsi).
49. Tang, M., H. Chen, J. C. Huang and Z. Q. Tian. 2009. Arbuscular mycorrhiza fungi effects on the growth and physiology of (*Zea mays* L.) seedlings under diesel stress. *Soil Biology & Biochemistry* 41(5): 936-940.
50. Tuna, A. L., C. Kaya and M. Ashraf. 2010. Potassium sulfate improves water deficit tolerance in melon plants grown under glasshouse conditions. *Journal of Plant Nutrition* 33(9): 1276-1286.
51. Wang, L., S. H. Chen, W. Kong, S. H. Li and D. Archbold. 2006. Salicylic acid pretreatment alleviates chilling injury and affects the antioxidant system and heat shock proteins of peaches during cold storage. *Journal of Postharvest Biology* 41: 244-251.
52. Westphal, A., N. L. Snyder, L. Xing and J. J. Camberato. 2008. Effects of inoculations with mycorrhizal fungi of soilless potting mixes during transplant production on watermelon growth and early fruit yield. *HortScience* 43(2): 354-360.
53. Zahedyan, A., A. A. Jahromi, A. Zakerin, V. Abdossi and A. M. Torkashvand. 2022. Nitroxin biofertilizer improves growth parameters, physiological and biochemical attributes of cantaloupe (*Cucumis melo* L.) under water stress conditions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 21(1): 8-20.
54. Zou, Y. N. and Q. S. Wu. 2011. Efficiencies of five arbuscular mycorrhizal fungi in alleviating salt stress of trifoliate orange. *International Journal of Agriculture and Biology* 13 (6): 991-995.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 13, No. 3, Fall 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Improving Growth and Fruit Yield of Watermelon Using Mycorrhizal Fungi and Salicylic Acid under Different Irrigation Regimes

H. Nastari Nasrabadi[1*], S. F. Saberali[1] and Z. Shirmohammadi Aliakbarkhani[2]

(Received: April 17-2023; Accepted: September 23-2023)

Abstract

Water scarcity is the main natural limitation for agricultural production in arid and semi-arid regions. The aim of this study was to investigate the effect of mycorrhizal fungi and salicylic acid on yield and quality of watermelon under water stress. For this purpose, a split factorial experiment was conducted with three replications based on a randomized complete block design in two years. Irrigation treatment at three levels of receiving 100%, 80% and 60% of water requirement were placed as the main factor in the main plots. Mycorrhizal fungus in two levels (including no inoculation and soil inoculation by 20 g m^{-2}) along with spraying of salicylic acid in three levels (including 0, 50 and 100 mg L^{-1}) were designated to the subplots. The highest amounts of proline concentration, peroxidase and catalase enzymes activities were recorded in 60% irrigation treatment. Electrolyte leakage decreased by salicylic acid application, though in each irrigation treatment the lowest electrolyte leakage was recorded in 100 mg L^{-1} treatment of salicylic acid. Electrolyte leakage was significantly reduced by mycorrhizal fungi application. The highest (9.12%) and the lowest (8.08%) level of total soluble solids were recorded respectively in 80% and 100% irrigation treatments. The highest amount of TSS (9.07%) was obtained with mycorrhizal fungi. TSS was significantly increased by 6.70% and 11.20% with 50 and 100 mg L^{-1} salicylic acid treatments, respectively, compared to the control. The lowest fruit yield (34.76 t ha^{-1}) was obtained when the plants were exposed to 60% irrigation treatment and no mycorrhizal fungus inoculation conditions. Fruit yield increased significantly in the presence of mycorrhizal fungi inoculation across all irrigation treatment levels, with the highest fruit yield (68.82 t ha^{-1}) being obtained when plants were grown under 100% irrigation treatment and mycorrhizal fungi inoculation conditions. It may be concluded that using mycorrhizal fungus as a biofertilizer and salicylic acid as a plant growth regulator can reduce the harmful effects of drought stress and, hence, it can be recommended to increase the fruit yield and quality of watermelon at least in arid-semiarid conditions.

Keywords: Proline, Drought stress, Catalase and peroxidase, Crimson sweet

1* and 2: Assistant Professors, Department of Horticulture Science and Engineering and Department of Water Science and Engineering, Respectively, Faculty of Agriculture and Animal Science, University of Torbat-e Jam, Torbat e Jam, Khorasan Razavi, Iran.
*: Corresponding Author, Email: nastari@tjamcaas.ac.ir