مجله علمی-پژوهشی زراعت و اصلاح نباتات ایران
جلد ١٤، شماره ٢، تابستان ١٣٩٧، صفحات ٦٧-٤٩

ISSN NO: 2008-8485

تأثیر کاربرد ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد گیاه دارویی ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) در شرایط مختلف آبیاری

The effect of application of vermicompost and salicylic acid on activity of antioxidant enzymes and yield of milk thistle (*Silybum Marianum* L.) in different irrigation conditions

مرتضی شلالوند[1]، علیرضا پازکی[2]*، رضا منعم[3] و مجید عبدلی[4]

تاریخ دریافت: ١٣٩٦/٠٨/٠٧ تاریخ پذیرش: ١٣٩٦/١٢/٢٠

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثر روش‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) در شرایط کاربرد ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در منطقه شهرری طی سال زراعی ٩٤-١٣٩٣ به اجرا درآمد. روش‌های آبیاری در چهار سطح (آبیاری قطره‌ای، جوی و پشته‌ای، کرتی و جوی و پشته‌ای یک‌درمیان) به‌عنوان عامل اصلی و کاربرد ورمی کمپوست در دو سطح (صفر و ١٥ تن در هکتار) و سالیسیلیک اسید در دو سطح (صفر و یک میلی‌مولار) به‌عنوان عوامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شامل کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون پراکسیداز در وضعیت آبیاری جوی و پشته یک‌درمیان و مصرف توأم ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید مشاهده شد و کمترین آن‌ها در آبیاری قطره‌ای به دست آمد. مقدار مالون دی آلدئید در تیمار آبیاری جوی و پشته یک‌درمیان بیشتر از آبیاری قطره‌ای بود و مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید به‌طور هم‌زمان میزان مالون دی آلدئید را کاهش داد. بیشترین عملکرد دانه و محتوای کلروفیل نیز در تیمار آبیاری قطره‌ای با مصرف توأم ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید حاصل گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید در رفع اثرات منفی تنش نقش دارند و می‌توانند موجب بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و افزایش عملکرد گیاه ماریتیغال شود.

کلمات کلیدی: سالیسیلیک اسید، ماریتیغال، ورمی کمپوست، تنش خشکی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان.

١- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

٢- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

٣- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۴- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران.

*- مکاتبه کننده E-mail: pazoki_agri@yahoo.com

www.japbkiau.ac.ir

مجله علمی - پژوهشی زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج

مقدمه

گیاهان دارویی در حیطه‌های مختلف پزشکی، صنعت، کشاورزی، غذا و غیره کاربردهای بسیاری دارند. ماریتیغال گیاهی یک‌ساله یا دوساله از جنس *Silybum* و متعلق به خانواده کاسنی (Asteraceae) است که عصاره حاصل از برگ و به‌خصوص دانه آن (سیلیمارین) در درمان بیماری‌های کبد، یرقان، سیروز و هپاتیت مؤثر است و محرک، اشتهاآور، هضم‌کننده و مقوی معده می‌باشد (Patrick, 1999; Rainone, 2005; Ghavami and Ramin, 2008).

همانند گیاهان زراعی در مورد گیاهان دارویی نیز نحوه آبیاری بر مکانیسم‌های تولیدی گیاه مؤثر است. در این ارتباط راجاک و همکاران (Rajak *et al*., 2006) طی ارزیابی واکنش پنبه به روش آبیاری نشتی و قطره‌ای طی سه سال در خاک شور دریافتند که رشد و عملکرد پنبه‌های رشد یافته در آبیاری نشتی بسیار ضعیف‌تر از آبیاری قطره‌ای بود. رانا و همکاران (Rana *et al*., 2006) در بررسی اثر روش‌های کشت کرتی، جوی پشته‌ای و آبیاری بارانی بر کارایی آبیاری، آب شویی نیترات و عملکرد آفتابگردان بیان کردند که کارایی مصرف آب و عملکرد دانه در گیاهان آبیاری شده با روش بارانی بیشتر و آب شویی نیترات کمتر از دو روش دیگر بود، همچنین در مقایسه روش کرتی و جوی پشته‌ای، روش جوی پشته‌ای بهتر از کرتی است.

عدم مدیریت مناسب آب منجر به بروز تنش خشکی در گیاه می‌شود. در شرایط تنش خشکی، تشکیل رادیکال‌های آزاد افزایش می‌یابد که منجر به تنش اکسیداتیو می‌گردد. هنگامی‌که تنش اکسیداتیو رخ می‌دهد آسیب به بافت‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک افزایش و میزان پراکسیداسیون اسیدهای چرب و لیپیدها تشدید می‌یابد و غلظت بیومارکرهایی همچون مالون دی آلدئید، دی تیروزین و دی هیدروکسی گوآنوزین افزایش می‌یابد (پور اسماعیل، ۱۳۸۵). بررسی‌های انجام‌شده توسط پور اسماعیل (۱۳۸۵) و سانوکا و همکاران (Saneoka *et al*., 2004) نشان می‌دهد که با کاهش میزان آب و بروز تنش خشکی میزان این بیومارکرها افزایش پیدا کرد. آزمایش‌های صورت گرفته بر روی ذرت (Mohammdkhani *et al*., 2007; Pan *et al*., 2013)، یونجه (Li *et al*., 2006) و سویا (Zhang *et al*., 2006) نیز نشان داد که میزان مالون دی آلدئید در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط نرمال افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات حبیبی و همکاران (Habibi *et al*., 2009) بر روی خردل نشان داد که حجم بیومارکر مالون دی آلدئید و دی تیروزین در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد. یافته‌های جین و همکاران (Jin *et al*., 2006) نشان‌دهنده افزایش دی هیدروکسی گوآنوزین در شرایط تنش خشکی به خاطر آسیب به ساختارهای ژنتیکی گیاه و تخریب اسیدهای نوکلئیک است.

برای کاهش خسارات ناشی از تنش اکسیداتیو، سیستم دفاعی گیاه نقش مهمی دارد. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مختلفی نظیر سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز جزوی از سیستم دفاعی می‌باشد که در حذف گونه‌های فعال اکسیژن ایفای نقش می‌کنند (پسندی پور و همکاران، ۱۳۹۲). در آزمایش‌های انجام‌شده بر روی گیاهان ذرت دانه‌ای (دولت‌آبادیان و همکاران، ۱۳۸۸) و سورگوم علوفه‌ای (ساعی و همکاران، ۱۳۸۴) فعالیت آنزیم کاتالاز با تشدید تنش افزایش یافت. همچنین آسکوربات پراکسیداز یکی از مهم‌ترین حذف‌کننده‌های پراکسید هیدروژن محسوب می‌شود که این عمل را با تبدیل پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن انجام می‌دهد (Dixit *et al*., 2001). آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز نیز یکی از آنزیم‌هایی است که در مقابله با تنش‌های محیطی نقش بسزایی را ایفا می‌نماید. این آنزیم، کاهش پراکسید هیدروژن را با استفاده از گلوتاتیون احیاشده (GSH) کاتالیز می‌کند و بدین‌وسیله از سلول‌ها در برابر آسیب های ناشی از اکسایش حفاظت می‌کند (ساعی و همکاران، ۱۳۸۴).

دراین‌بین کاربرد ترکیبات و هورمون‌های رشد گیاهی احتمالاً در کاهش خسارات ناشی از تنش اکسیداتیو مؤثر باشد. سالیسیلیک اسید یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی است که در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیک مختلف شرکت کرده و همچنین باعث حفاظت گیاه در مقابل تنش‌های محیطی می‌شود (بیان و همکاران، ۱۳۹۲؛ Hayat *et al*., 2010). در آزمایشی روی آفتابگردان مشاهده شد که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و اسیدهای آمینه سبب کاهش میزان دی تیروزین و افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی گردید (قهرمانی، ۱۳۸۸). حیات و همکاران (Hayat *et al*., 2010) و حیات و احمد (Hayat and Ahmad, 2007) بیان کردند که کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش، میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مثل کاتالاز و پراکسیداز را افزایش می‌دهد و باعث کاهش اثرات مخرب تنش

www.jopb.kiau.ac.ir

می‌گردد. گمان می‌رود که کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید موجب تولید سیگنال‌هایی می‌شود که شرایط تنش را به گیاه القا می‌کند و این امر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهد (Hayat *et al*., 2010). افزایش فعالیت آنزیم-های آنتی‌اکسیدان تحت تأثیر تیمار سالیسیلیک اسید در گیاه گوجه‌فرنگی تحت شرایط تنش محیطی گزارش شده است (He and Zhu, 2008). گزارش‌هایی نیز مبنی بر عدم تأثیر سالیسیلیک اسید بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان یا کاهش فعالیت این آنزیم‌ها وجود دارد (Eraslan *et al*., 2008; Palma *et al*., 2009).

استفاده از کودهای بیولوژیک به‌منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه مصرف نهاده‌های شیمیایی یکی از ارکان سیستم کشاورزی پایدار است. در این بین، ورمی کمپوست یکی از کودهای بیولوژیک است که از ضایعات آلی به کمک گونه‌های معین کرم خاکی (Eisenia fetida) تولید می‌شود. ورمی کمپوست با ظرفیت نگهداری زیاد آب و دارای مقادیر مناسب عناصر غذایی قابل دسترس می‌باشد و نیز متابولیت‌های میکروبی موجود در آن ممکن است سبب افزایش تعداد کلروپلاست‌ها در واحد سطح برگ و افزایش تراکم کلروفیل، میزان فتوسنتز و در نهایت عملکرد شود (سعیدنژاد و رضوانی مقدم، ۱۳۸۹). همچنین روئستی و همکاران (Roesty *et al*., 2006) از دلایل افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد کود ورمی کمپوست به حفظ و نگهداری عناصر غذایی خاک، جلوگیری از آب شویی نیتروژن، افزایش فعالیت میکروبی و بهبود ساختمان خاک اشاره کرده‌اند. در بررسی‌های هانی و همکاران (۱۳۹۴) بر روی گیاه ماریتیغال مشخص گردید که کاربرد ورمی کمپوست توانست اثرات منفی تنش خشکی را تعدیل بخشد. با توجه به مطالب بیان‌شده، هدف از انجام این آزمایش بررسی تأثیر مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید بر مکانیسم‌های دفاعی و عملکرد گیاه دارویی ماریتیغال تحت سیستم‌های مختلف آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در اراضی واحد کشاورزی و دامپروری عباس‌آباد در منطقه شهرری با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۴ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه با ارتفاع ۱۰۶۸ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالیانه ۱۶۵ میلی‌متر در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انجام شد. قبل از اجرای آزمایش از خاک محل اجرای آزمایش نمونه‌برداری جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن صورت گرفت (جدول ۱). این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار به اجرا درآمد و روش‌های آبیاری در چهار سطح (آبیاری قطره‌ای، کرتی، جوی و پشته‌ای و جوی و پشته-ای یک‌درمیان) به‌عنوان عامل اصلی و مصرف ورمی کمپوست در دو سطح (صفر و ۱۵ تن در هکتار) و سالیسیلیک اسید در دو سطح (صفر و یک میلی‌مولار) به‌عنوان عوامل فرعی در نظر گرفته شدند. نحوه اعمال تیمارها به‌طوری بود که قبل از کاشت بذر، ورمی کمپوست هر کرت به‌طور مستقل وزن شده و در داخل کرت با خاک مخلوط گردید. به‌منظور کاشت ابتدا محلول سالیسیلیک اسید با غلظت یک میلی‌مولار (۰/۱۳۸ گرم در یک لیتر آب مقطر) تهیه و نیمی از بذرها با محلول سالیسیلیک اسید به مدت ۱۰ دقیقه آغشته گردیدند. پس از ایجاد کرت‌ها در ابعاد ۵×۲ متر، پشته‌هایی به طول ۵ متر و با فاصله ۵۰ سانتی‌متر تهیه و کاشت بذور به‌صورت دستی در فروردین ۱۳۹۴ و دقیقاً در وسط پشته‌ها با تراکم زیاد صورت گرفت. سپس در مرحله ۴ تا ۶ برگی یعنی در هفته سوم و چهارم رشدی ماریتیغال، تنک بوته‌ها صورت گرفت، به‌طوری‌که فاصله دو بوته روی خط به ۱۰ سانتی‌متر رسید و به تراکم مورد نظر یعنی ۲۰ بوته در مترمربع رسید. جهت آبیاری کرت‌های آزمایشی مجموعاً ۱۳ مرتبه آبیاری انجام شد که این میزان در مورد آبیاری کرتی به دلیل سله بستن سطح خاک ۱۵ مرتبه صورت گرفت (پس از آبیاری اول به فاصله ۳ روز بعد آبیاری دوم و بعد از آن هم در روز ششم آبیاری سوم انجام شد) تا تمام بذرهای کاشته شده سبز شوند.

در دو مرحله نموی گیاه (مرحله روزت و ساقه رفتن) با استفاده از محلول یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید محلول‌پاشی صورت گرفت (گیاهان شاهد اصلاً محلول‌پاشی نشدند). در طول فصل رشد هیچ‌گونه عملیات سم‌پاشی علیه آفات و علف‌های هرز و کود دهی صورت نگرفت. جهت حذف علف‌های هرز در کرت‌های آزمایشی، وجین دستی طی دو مرحله در ۴ و ۱۰ هفته پس از کشت اعمال گردید.

www.japb.kiau.ac.ir

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در عمق صفر-۳۰ سانتیمتری.

Table 1- Chemical and physical characteristics of experimental field at soil depth of 0-30 cm.

هدایت الکتریکی	اسیدیته	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
EC (dS/m)	pH	O.C. (%)	N (%)	P (ppm)	K (%)
2.14	7.8	0.65	0.05	7.6	388.4

نوع بافت	بافت خاک			سدیم	مس	منگنز
	رس	سیلت	شن			
Soil texture	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Na (Meq/L)	Cu (ppm)	Mn (ppm)
لومی رسی Clay loam	36	46	18	40.8	1.14	7.1

دو هفته پس از اعمال آخرین محلول‌پاشی (در مرحله گلدهی) جهت سنجش‌های بیوشیمیایی و اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، نمونه‌گیری از برگ‌ها به‌صورت تصادفی از قسمت بالایی گیاه انجام گرفت که بلافاصله در فویل آلومینیومی پیچیده و در نیتروژن مایع غوطه‌ور گردید و به‌سرعت به آزمایشگاه منتقل و جهت اندازه‌گیری صفات فوق در فریزر با دمای ۷۰- سانتی‌گراد نگهداری شد.

نحوه اعمال تیمارها به‌طوری بود که قبل از کاشت بذر، ورمی کمپوست هر کرت به‌طور مستقل وزن شده و در داخل کرت با خاک مخلوط گردید. به‌منظور کاشت ابتدا محلول سالیسیلیک اسید با غلظت یک میلی‌مولار (۰/۱۳۸ گرم در یک لیتر آب مقطر) تهیه و نیمی از بذرها با محلول سالیسیلیک اسید به مدت ۱۰ دقیقه آغشته گردیدند. پس از ایجاد کرت‌ها در ابعاد ۵×۲ متر، پشته‌هایی به طول ۵ متر و با فاصله ۵۰ سانتی‌متر تهیه و کاشت بذور به‌صورت دستی در فروردین ۱۳۹۴ و دقیقاً در وسط پشته‌ها با تراکم زیاد صورت گرفت. سپس در مرحله ۴ تا ۶ برگی یعنی در هفته سوم و چهارم رشدی ماریتیغال، تنک بوته‌ها صورت گرفت، به‌طوری‌که فاصله دو بوته روی خط به ۱۰ سانتی‌متر رسید و به تراکم مورد نظر یعنی ۲۰ بوته در مترمربع رسید. جهت آبیاری کرت‌های آزمایشی مجموعاً ۱۳ مرتبه آبیاری انجام شد که این میزان در مورد آبیاری کرتی به دلیل سله بستن سطح خاک ۱۵ مرتبه صورت گرفت (پس از آبیاری اول به فاصله ۳ روز بعد آبیاری دوم و بعد از آن هم در روز ششم آبیاری سوم انجام شد) تا تمام بذرهای کاشته شده سبز شوند.

در دو مرحله نموی گیاه (مرحله روزت و ساقه رفتن) با استفاده از محلول یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید محلول‌پاشی صورت گرفت (گیاهان شاهد اصلاً محلول‌پاشی نشدند). در طول فصل رشد هیچ‌گونه عملیات سم‌پاشی علیه آفات و علف‌های هرز و کود دهی صورت نگرفت. جهت حذف علف‌های هرز در کرت‌های آزمایشی، وجین دستی طی دو مرحله در ۴ و ۱۰ هفته پس از کشت اعمال گردید. دو هفته پس از اعمال آخرین محلول‌پاشی (در مرحله گلدهی) جهت سنجش‌های بیوشیمیایی و اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، نمونه‌گیری از برگ‌ها به‌صورت تصادفی از قسمت بالایی گیاه انجام گرفت که بلافاصله در فویل آلومینیومی پیچیده و در نیتروژن مایع غوطه‌ور گردید و به‌سرعت به آزمایشگاه منتقل و جهت اندازه‌گیری صفات فوق در فریزر با دمای ۷۰- سانتی‌گراد نگهداری شد.

سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز به روش چاکماک و هورست (Cakmak and Horst, 1991) در طول موج ۲۴۰ نانومتر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد و واحد فعالیت آنزیمی به‌صورت واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بیان گردید.

برای سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از روش گیانوپولیتس و رایس (Giannopolitis and Ries, 1977) استفاده شد. قرائت نمونه‌ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر صورت گرفت و واحد فعالیت آنزیمی نسبت به میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بیان شد.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش قناتی و همکاران (Ghanati *et al*., 2002) در طول موج ۴۷۰ نانومتر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد و فعالیت آنزیمی به ازای میلی-گرم پروتئین در دقیقه بیان گردید.

میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با استفاده از روش رانیری و همکاران (Ranieri *et al*., 2001) سنجیده شد و فعالیت آنزیمی به ازای میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بیان شد.

اندازه‌گیری آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز بر اساس روش پاجلیا و ولنتاین (Paglia and Valentine, 1967) انجام گرفت و جذب در ۳۴۰ نانومتر در ۳۰ درجه سانتیگراد توسط دستگاه

www.japb.iaut.ac.ir

اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیمی به ازای میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بیان شد.

اندازه‌گیری مالون دی آلدئید

این شاخص بر اساس روش استوارت و بولی (Stewart and Bewley, 1980) اندازه‌گیری شد. جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۵۳۲ و ۴۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر ثبت گردید. میزان پراکسیده شدن لیپیدها از اختلاف بین طول موج‌های جذبی و ضریب خاموشی ۱۵۵ میلی‌مول بر سانتیمتر به دست آمد.

اندازه‌گیری کلروفیل

برای سنجش غلظت کلروفیل از روش آرنون (Arnon, 1949) بهره گرفته شد و جذب نوری کلروفیل a و b به ترتیب در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. در نهایت با استفاده از رابطه‌ی زیر غلظت کلروفیل a و b و کلروفیل کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم برگ تر برآورد شد.

$$\text{کلروفیل a} = [12.7 \times (A663) - 2.69 \times (A645)] \times \frac{V}{1000W}$$

$$\text{کلروفیل b} = [22.9 \times (A645) - 4.68 \times (A663)] \times \frac{V}{1000W}$$

$$\text{کلروفیل کل (مجموع کلروفیل a+b)} = [20.2 \times (A645) + 8.02 \times (A663)] \times \frac{V}{1000W}$$

A: میزان جذب نوری هر نمونه که در اسپکتروفتومتر خوانده شده و بر حسب نانومتر است. V: میزان استونی است که عصاره به‌وسیله‌ی آن به حجم رسانده شده است و بر حسب میلی‌لیتر می‌باشد. W: مقدار نمونه‌ی برگی که به‌منظور تهیه‌ی عصاره استفاده می‌شود و بر حسب گرم است.

عملکرد دانه

جهت برآورد عملکرد دانه، عملیات برداشت در ۲۵ تیرماه ۱۳۹۴ به‌صورت دستی و پس از حذف حاشیه‌ها (حذف خط اول و آخر و ۵۰ سانتیمتر از ابتدا و انتهای هر کرت) از سطحی به وسعت یک مترمربع انجام شد.

تجزیه آماری

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد توسط نرم‌افزار MSTATC صورت گرفت. برای رسم شکل‌ها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار اثرات اصلی و برهمکنش سه‌گانه مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید در تمامی روش‌های آبیاری بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه، روند تغییرات تیمارها در تمامی سطوح آبیاری به‌صورت یکسانی بود به‌طوری‌که عدم کاربرد سالیسیلیک اسید و ورمی کمپوست کمترین میزان را در هر یک از روش‌های آبیاری داشت ولی با کاربرد سالیسیلیک اسید و ورمی کمپوست به بیشترین میزان خود رسید. به‌طورکلی بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در آبیاری جوی و پشته یک‌درمیان با مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید به میزان ۲۷/۶ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه و کمترین آن در روش آبیاری قطره‌ای با مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید به میزان ۱۱/۹ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه مشاهده شد (شکل ۱). بیان شده که آنزیم‌هایی مانند کاتالاز و پراکسیداز از آنزیم‌های مهم سیستم دفاعی در گیاهان می‌باشند (دولت‌آبادیان و همکاران، ۱۳۸۸). اگرچه سوپراکسید دیسموتاز در خط مقدم دفاع علیه گونه‌های فعال اکسیژن عمل می‌نماید، اما برخی آنزیم‌ها نظیر کاتالاز و پراکسیداز در حذف محصول آن یعنی پراکسید هیدروژن (H_2O_2) که همچنان برای سلول سمی است، نقش مهمی دارند (پسندی پور و همکاران، ۱۳۹۲). در این آزمایش همان‌طور که ملاحظه می‌گردد آبیاری قطره‌ای دارای کمترین سطح از تنش در بین تیمارها و بالعکس آن آبیاری جوی و پشته یک‌درمیان سبب افزایش تنش در بین تیمارها نسبت به سایرین شده است. در آزمایش‌های دولت‌آبادیان و همکاران (۱۳۸۸) که بر روی گیاه ذرت دانه‌ای انجام شد مشخص گردید که فعالیت آنزیم کاتالاز با تشدید تنش افزایش یافت. تغییر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان یکی از مکانیسم‌هایی است که در گیاهان برای افزایش تحمل به تنش رخ می‌دهد (Hernandez *et al.*, 2000). گیاهان در مواجهه با تنش‌های محیطی با افزایش تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان با تنش‌های محیطی منجمله خشکی مقابله می‌نمایند که به طبع هزینه این مبارزه کاهش عملکرد خواهد بود. لذا به نظر می‌رسد گیاهان مقاوم به خشکی الزاماً عملکرد بیشتری ندارند. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در کاهش خسارات ناشی از تنش‌های محیطی در گیاهان زراعی منجمله گندم، جو، سویا و نخود نقش مهمی دارند (کافی و مهدوی دامغانی، ۱۳۸۶). نتایج مطالعه ساعی و همکاران (۱۳۸۴) بر روی سورگوم علوفه‌ای نشان داد که فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر تنش خشکی نسبت به شاهد

www.iapb.kiau.ac.ir

به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد که با نتایج حاصله مطابقت دارد.

در این مطالعه کاربرد سالیسیلیک اسید موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز گردید (شکل ۱). دراین‌ارتباط حیات و همکاران (Hayat *et al*., 2010) بیان کردند که کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان مثل کاتالاز و پراکسیداز را زیاد می‌کند و به‌عنوان یک سوبسترا دهنده الکترون برای کاتالاز و پراکسیداز عمل نموده و باعث کاهش اثرات تنش می‌گردد. همچنین مصرف ورمی کمپوست سبب افزایش میزان فعالیت کاتالاز گردید (شکل ۱). ازآنجایی‌که ورمی کمپوست دارای عناصر ریزمغذی با قابلیت جذب زیاد می‌باشد و از طرفی این عناصر (خصوصاً آهن و روی) در ساختارهای مختلف این آنزیم‌ها شرکت دارند، بنابراین می‌توان افزایش فعالیت این آنزیم‌ها را احتمالاً با افزایش و بهبود جذب این عناصر توسط گیاه مرتبط دانست (آدمی پور و همکاران، ۱۳۹۵). از طرفی ورمی کمپوست با داشتن مواد هومیک و برخی هورمون‌ها نظیر آبسیزیک اسید، اکسین و سیتوکینین‌ها می‌تواند در افزایش فعالیت این آنزیم‌ها مؤثر باشد، به‌طوری‌که در تحقیقی گزارش شده است که محلول‌پاشی با اکسین، آبسیزیک اسید و بنزیل آدنین سبب افزایش میزان آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز شده است (Pan *et al*., 2013). پس ورمی کمپوست به‌طور غیرمستقیم بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تأثیر مثبت دارد. در این مورد، قلی نژاد و همکاران (۱۳۹۳) بیان کردند که بیشترین مقدار آنزیم-های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز در شرایط تنش شدید و عدم کاربرد کود بود و کمترین آن‌ها در شرایط بدون تنش (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و کاربرد کمپوست به دست آمد.

سوپراکسید دیسموتاز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار اثرات اصلی و همچنین برهمکنش مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید در روش‌های مختلف آبیاری بر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در گیاه ماریتیغال بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش عوامل سه‌گانه، بالاترین میزان فعالیت سوپراکسید دیسموتاز مربوط به روش آبیاری جوی و پشته یک‌درمیان در حالت مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید به مقدار ۲۶/۳ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه و پایین‌ترین آن مربوط به روش آبیاری قطره‌ای در صورت عدم مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید به مقدار ۷/۹۶ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه مشاهده شد (شکل ۲). نتایج نشانگر این مطلب بود که در تیمار روش آبیاری جوی و پشته‌ای کاربرد تنها و توأم ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید سبب تغییرات محسوسی نسبت به عدم مصرف آن‌ها شده است، درحالی‌که در بقیه روش‌های آبیاری این تغییرات در فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با این شدت نبوده است (شکل ۲). این موضوع نشان می‌دهد که کاربرد توأم ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید در بهبود فعالیت آنزیم فوق نقش مؤثری دارد و از طرفی گیاهان برای مقابله با خشکی و حذف کردن گونه‌های فعال اکسیژن و مبارزه با تنش اکسیداتیو حادث‌شده میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان خود را افزایش می-دهند. این افزایش آنزیم سبب صرف انرژی در گیاه خواهد شد و لذا به‌طور غیرمستقیم عملکرد را تحت تأثیر قرار خواهد داد (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۱). آزمایش‌های قبلی انجام گرفته توسط عطایی (۱۳۸۳) بر روی نخود و ساعی و همکاران (۱۳۸۴) بر روی سورگوم علوفه‌ای نشان داد که فعالیت این آنزیم در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط نرمال بیشتر می‌شود بنابراین از این آنزیم می‌توان جهت شناسایی گونه‌های مقاوم به خشکی استفاده نمود. از سویی دیگر در راستای نتایج این تحقیق، بیان شده که کاربرد سالیسیلیک اسید موجب بهبود فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز شد و در شرایط مواجهه گیاه با تنش میزان فعالیت این آنزیم افزایش یافت (Hayat *et al*., 2010).

پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی و برهمکنش سه‌گانه مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید در تمامی روش‌های آبیاری بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج به‌دست‌آمده در مورد میزان فعالیت پراکسیداز نیز مشابه نتایج به‌دست‌آمده در مورد آنزیم کاتالاز بوده و در شرایط تنش‌های اکسیداتیو افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش، در تمامی روش‌های آبیاری کاربرد تنها و توأم ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید سبب افزایش فعالیت آنزیم یادشده نسبت به شاهد (بدون مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید) شد اما در روش آبیاری کرتی این‌گونه نبود و کاربرد ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری نداشت (شکل ۳). به عبارت‌دیگر بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در روش آبیاری

www.rapd.kiau.ac.ir

جوی و پشته یک‌درمیان در شرایط مصرف توأم ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید به مقدار ۸۴/۸ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بود و کمترین آن در روش آبیاری قطره‌ای در حالت عدم مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید به مقدار ۳۳/۳ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه به دست آمد (شکل ۳). نتایج حاصل از این تحقیق با یافته‌های نورن و همکاران (Noreen *et al*., 2009) و منوچهری‌فر (۱۳۸۹) در مورد تأثیر مثبت سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مطابقت دارد. گمان می‌رود که کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید موجب تولید سیگنال‌هایی می‌شود که شرایط تنش را به گیاه القا می‌کند و این امر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهد (Hayat *et al*., 2010).

آسکوربات پراکسیداز

مطابق نتایج تجزیه واریانس، اثرات اصلی و برهمکنش مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید در تمامی روش‌های آبیاری بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز گیاه ماریتیغال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه مشخص گردید که کاربرد توأم ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید سبب بیشترین تغییرات آنزیم یادشده در شرایط آبیاری کرتی و آبیاری جوی و پشته‌ای یک‌درمیان گردید ولی در روش آبیاری قطره‌ای این تغییرات کم بود (شکل ۴)، همچنین بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در روش آبیاری جوی و پشته یک‌درمیان در زمان مصرف توأم ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید به میزان ۳۶/۳ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بود و کمترین میزان فعالیت آن در روش آبیاری قطره‌ای در زمان مصرف توأم ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید به مقدار ۱۱/۵ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه مشاهده شد (شکل ۴). آسکوربات پراکسیداز آنزیمی است که در شرایط تنش به‌ویژه تنش‌های اکسیداتیو تحت تأثیر خشکی، شوری و غیره فعال می‌گردد. با توجه به لب شور بودن بیش از ۶۰ درصد از مزارع ایران (به‌ویژه منطقه مورد آزمایش) اندازه‌گیری این آنزیم در روش‌های آبیاری مختلف تحت تأثیر تیمارهای مورد آزمون منطقی به نظر می‌رسد. آسکوربات پراکسیداز یکی از مهم‌ترین حذف‌کننده‌های پراکسید هیدروژن محسوب می‌شود که این عمل را با تبدیل پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن انجام می‌دهد (Dixit *et al*., 2001). گزارش‌های متعددی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به تأثیر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ژنوتیپ‌های انیسون اشاره کرد (اسدی کاوان و همکاران، ۱۳۸۸). در آزمایشی مشخص گردید که میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در شرایط تنش افزایش می‌یابد (Parida *et al*., 2004). بیان شده که در گیاهان کلزای قرارگرفته در تنش کاربرد سالیسیلیک اسید منجر به افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ازجمله آسکوربات پراکسیداز گردید (Keshavarz *et al*., 2016). مطابق با نتایج این تحقیق، سایر محققین نیز به تأثیر مثبت ورمی کمپوست بر میزان فعالیت آنزیم‌های دخیل در مکانیسم دفاعی گیاه اشاره کرده‌اند (هانی و همکاران، ۱۳۹۴؛ آدمی پور و همکاران، ۱۳۹۵).

گلوتاتیون پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس نشانگر این مطلب بود که اثرات اصلی و برهمکنش مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید در روش‌های مختلف آبیاری بر میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه تیمارها، بالاترین سطح از فعالیت این آنزیم در روش آبیاری جوی و پشته یک‌درمیان با مصرف توأم ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید به میزان ۱۳/۷ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه حاصل شد و کمترین آن در روش آبیاری قطره‌ای در زمان عدم استفاده ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید به میزان ۸/۵۳ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بود (شکل ۵). این مطلب نشان می‌دهد که گیاهان برای مقابله با خشکی سیستم آنتی‌اکسیدانی خود را بکار می‌گیرند حال اگر در این شرایط عوامل محرکی مثل کاربرد ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید باشد بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دوچندان خواهد بود. آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز نیز یکی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کلیدی در مقابله با تنش‌های محیطی است که این آنزیم، کاهش پراکسید هیدروژن را با استفاده از گلوتاتیون احیاشده (GSH) کاتالیز می‌کند و بدین‌وسیله از سلول‌ها در برابر آسیب‌های ناشی از اکسایش حفاظت می‌کند (ساعی و همکاران، ۱۳۸۴). گلوتاتیون پراکسیداز واکنش بین GSH و پراکسید هیدروژن را به شکل آب و گلوتاتیون اکسیدشده کاتالیز می‌کند که شکل پایدار است (Lamma and Moftah, 2016). دراین‌ارتباط بیان‌شده که ورمی کمپوست سبب حفاظت فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز می‌شود که سطح GSH را حفظ می‌کند، بنابراین مانع پراکسیداسیون لیپید می‌گردد و با کاهش رادیکال‌های آزاد باعث

www.jpb.kiau.ac.ir

سرعت بخشیدن به مکانیسم‌های حفاظتی و ترمیمی در گیاهان در برابر تنش می‌شود (Zhao *et al.*, 2007; Garcia *et al.*, 2012).

مالون دی آلدئید

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات اصلی و برهمکنش مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید در تمامی روش‌های آبیاری بر میزان بیومارکر مالون دی آلدئید گیاه ماریتیغال معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه، کمترین میزان مالون دی آلدئید متعلق به روش آبیاری قطره‌ای در زمان مصرف توأم ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید به میزان ۳۴/۴ نانو مول بر میلی‌گرم پروتئین و بیشترین میزان آن متعلق به روش آبیاری جوی و پشته یک‌درمیان در حالت عدم مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید به میزان ۷۸/۹ نانو مول بر میلی‌گرم پروتئین بود (شکل ۶). در زمان تنش خشکی میزان تشکیل رادیکال‌های آزاد افزایش می‌یابد که منجر به تنش اکسیداتیو و در نهایت آسیب به بافت‌های گیاهی می‌گردد. هنگامی‌که تنش اکسیداتیو رخ می‌دهد پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع و لیپیدها افزایش می‌یابد و در اثر حمله رادیکال‌های آزاد به لیپیدها، آلدئیدهای گوناگونی از جمله مالون دی آلدئید تولید می‌شود (پور اسماعیل، ۱۳۸۵). بررسی‌های صورت گرفته در آزمایش‌های پور اسماعیل (۱۳۸۵) نشان می‌دهد که در ارقام لوبیای مورد آزمایش با کاهش میزان آب و تنش خشکی میزان مالون دی آلدئید افزایش پیدا کرد. به‌طورکلی کاربرد سالیسیلیک اسید و ورمی کمپوست در تمامی روش‌های آبیاری سبب کاهش میزان مالون دی آلدئید شد (شکل ۶). دراین‌ارتباط بیان‌شده که مصرف اسید سالیسیلیک باعث کاهش میزان مالون دی آلدئید گردید که می‌تواند بیانگر نقش حفاظتی اسید سالیسیلیک بر غشاهای سلولی باشد (نظام دوست و همکاران، ۱۳۹۵). دراین‌ارتباط حبیبی (۱۳۹۱) بیان کرد که تیمار اسید سالیسیلیک باعث کاهش مالون دی آلدئید از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در ارقام انگور شد. این نتایج در سازگاری با کاهش مالون دی آلدئید تحت تأثیر تیمار اسید سالیسیلیک در تحقیقات مو و همکاران (Mo *et al.*, 2008) نیز گزارش شده است. کاهش مقادیر مالون دی آلدئید میزان آسیب به غشاها و در نتیجه پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء را کاهش می‌دهد (Tao *et al.*, 2010). کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء باعث حفظ تمامیت غشاء گردیده و از تخریب بافت‌ها ممانعت می‌کند (حبیبی، ۱۳۹۱).

کلروفیل کل (مجموع کلروفیل a+b)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار اثرات اصلی و برهمکنش مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید در تمامی روش‌های آبیاری بر میزان کلروفیل کل در گیاه ماریتیغال بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید در روش‌های مختلف آبیاری بر میزان کلروفیل کل نشان داد که بیشترین میزان آن در آبیاری قطره‌ای با مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید به میزان ۶/۷۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و کمترین آن در آبیاری به روش جوی و پشته یک‌درمیان و عدم مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید (شاهد) به میزان ۲/۰۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر مشاهده شد (شکل ۷). در همین رابطه طی آزمایشی بر روی گیاه انیسون (*Pimpinella anisum* L.) تحت شرایط خشکی، نتایجی مشابه تحقیق حاضر به دست آمد و گزارش شد محلول‌پاشی سالسیلیک اسید و مصرف ورمی کمپوست نسبت به عدم مصرف آن‌ها میزان کلروفیل کل گیاه را افزایش داد (اسدی کاوان و همکاران، ۱۳۸۸). به‌طورکلی افزایش تعداد برگ‌ها به‌منزله افزایش سطح جذب نوری و سطح فتوسنتزی گیاه است. با افزایش میزان جذب نور و سرعت فتوسنتز، مواد هیدروکربنی بیشتری در برگ‌های گیاه ساخته می‌شود. به‌طوری‌که افزایش کربوهیدارت‌ها موجب افزایش قابل توجه خواص کمی و کیفی گیاه مانند کلروفیل a، b، کلروفیل کل و محتوای کلروفیل برگ می‌شود (احمدپور سفید کوهی و همکاران، ۱۳۹۱). افزایش میزان کلروفیل با مصرف سالیسیلیک اسید احتمالاً به دلیل تأثیر سالیسیلیک اسید بر بازدارندگی تولید رادیکال‌های آزاد باشد که از تخریب کلروفیل جلوگیری می‌کند (کشاورز و مدرس ثانوی، ۱۳۹۳).

عملکرد دانه

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس مشخص گردید که اثرات اصلی و برهمکنش مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید در تمامی روش‌های آبیاری بر عملکرد دانه گیاه ماریتیغال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که بیشترین عملکرد دانه در روش آبیاری قطره‌ای با مصرف ورمی‌کمپوست و سالیسیلیک اسید به میزان ۱۲۶۰ کیلوگرم در هکتار بود و کمترین آن در

www.japb.kiau.ac.ir

روش آبیاری جوی و پشته یک‌درمیان و عدم مصرف سالیسیلیک اسید و ورمی کمپوست به میزان ۵۶۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (شکل ۸). دراین‌ارتباط حامدی و همکاران (۱۳۸۴) در تحقیقات خود بر روی مقایسه سیستم‌های آبیاری قطره‌ای-نواری و سطحی بر عملکرد ذرت دریافتند که در روش قطره‌ای عملکرد دانه ذرت، ۲۰۱۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به روش سطحی افزایش یافته است. با توجه به نتایج این تحقیق، مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید در کلیه روش‌های آبیاری موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گردیده است (شکل ۸). مطابق با این نتایج، مشاهدات جت و اهلاوات (Jat and Ahlawat, 2008) بر روی گیاه نخود حاکی از آن بود که مصرف ورمی کمپوست باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. همچنین هانی و همکاران (۱۳۹۴) افزایش عملکرد را در اثر کاربرد ورمی کمپوست در گیاه ماریتیغال بیان کرده‌اند. آن‌ها اشاره کردند که افزایش عملکرد ماریتیغال احتمالاً به خاطر تأثیر مثبت ورمی کمپوست بر تعداد کاپیتول در بوته و تعداد دانه در کاپیتول است. از عوامل مؤثر ورمی کمپوست در بهبود عملکرد می‌توان به افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک نظیر قارچ‌های مایکوریزا شده و بهبود فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه اشاره کرد (Arancon *et al*., 2004; Roesty *et al*., 2006). همچنین ورمی کمپوست با بهبود وضعیت تهویه خاک باعث افزایش اکسایش گوگرد شده و به‌عنوان منبع کربن، فعالیت ریز جانداران حل‌کننده فسفات و اکسیدکننده گوگرد را تشدید می‌کند (محمدی آریا و همکاران، ۱۳۸۹). از طرفی، نتایج تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که استفاده از سالیسیلیک اسید منجر به افزایش تثبیت دی‌اکسید کربن می‌شود که احتمالاً به علت تأثیر آن در فرآیندهای مختلف فتوسنتز شامل افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، افزایش غلظت و فعالیت بیشتر آنزیم روبیسکو و در نهایت تأمین بیشتر ATP و NADPH برای تثبیت کربن و تولید بیشتر آسیمیلات باشد (Khan *et al*., 2003). در مورد تأثیر سالیسیلیک اسید در افزایش عملکرد، افزایش میزان کارایی فتوسنتز در ذرت مثالی از تأثیر سالیسیلیک اسید بر رشد و نمو گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد می‌باشد (Zhou *et al*., 1999). با توجه به این‌که جمع‌آوری و حذف گونه‌های فعال اکسیژن توسط سیستم دفاعی آنزیمی هزینه‌بر است احتمالاً در روش آبیاری قطره‌ای، کاربرد سالیسیلیک اسید و ورمی کمپوست منجر به کارآمدی مکانیسم دفاعی غیر آنزیمی شده و بنابراین از فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاسته شده که پیامد آن افزایش عملکرد بوده است.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع، نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که بالاترین عملکرد در روش آبیاری قطره‌ای و پایین‌ترین آن در روش آبیاری جوی و پشته یک‌درمیان به دست آمد. این موضوع علاوه بر اهمیت اقتصادی از اصول راهبردی کشاورزی پایدار است و باعث حفظ منابع آب در شرایط کمبود آب و کاهش فرسایش خاک می‌گردد. در واقع روش آبیاری قطره‌ای با مصرف کمتر آب و توزیع آب به‌صورت مفید برای گیاه موجب دسترسی مناسب گیاه به آب می‌شود. در این میان، مصرف ورمی کمپوست به‌عنوان کود زیستی و سالیسیلیک اسید به‌عنوان هورمون رشد موجب تأمین عناصر غذایی گیاه و کاهش اثرات مخرب تنش بر گیاه و افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و عملکرد می‌گردد. در شرایط کم آبیاری (آبیاری جوی و پشته یک‌درمیان) مصرف توأم سالیسیلیک اسید و ورمی کمپوست منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش مقاومت گیاه به این شرایط گردید، این در حالی است که در این شرایط میزان عملکرد نسبت به بقیه تیمارها کاهش یافت. در روش آبیاری قطره‌ای با کاربرد سالیسیلیک اسید و ورمی کمپوست میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کم بود که این امر احتمالاً به خاطر کارآمدی مکانیسم دفاعی غیر آنزیمی تحت این شرایط است؛ بنابراین توصیه می‌گردد به‌منظور حداکثر بهره‌وری و دستیابی به بالاترین عملکرد از روش آبیاری قطره‌ای همراه با کاربرد ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید استفاده نمود.

www.agbkiau.ac.ir

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر روش‌های آبیاری، ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، مالون دی آلدئید، کلروفیل کل و عملکرد دانه در گیاه ماریتیغال.

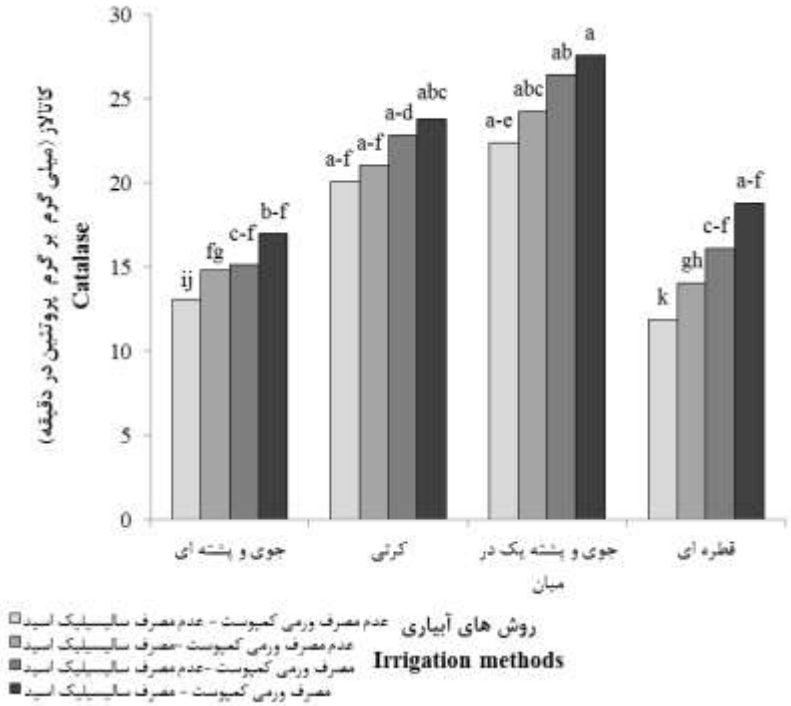
Table 2- Analysis of variance (mean square) of the effect of irrigation methods, vermicompost and salicylic acid on activity of antioxidant enzymes, malondialdehyde (MDA), total chlorophyll and seed yield of milk thistle (*Silybum marianum* L.).

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean squares)							
		کاتالاز Catalase	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	پراکسیداز Peroxidase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase	گلوتاتیون پراکسیداز Glutathione peroxidase	مالون دی آلدئید Malondialdehyde	کلروفیل کل Total chlorophyll	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replication (R)	2	0.18 ns	2.57 ns	4.55 ns	2.34 ns	0.20 ns	53.3 ns	0.63 **	101.1 ns
روش آبیاری Irrigation methods (Ir)	3	215.5 **	405.4 **	4236.2 **	866.2 **	33.9 **	2805.2 **	3.24 **	161.2 **
خطای a R × a	6	1.24	4.60	4.15	1.04	0.21	17.3	0.61	98.0
ورمی کمپوست Vermicompost (Vc)	1	16.4 **	102.0 **	198.7 **	89.7 **	1.66 **	215.7 *	0.64 **	54.1 **
سالیسیلیک اسید Salicylic acid (SA)	1	33.2 **	28.6 **	118.9 **	17.1 **	3.87 **	41.5 **	3.15 **	24.4 **
روش آبیاری × ورمی کمپوست Ir × Vc	3	2.87 **	10.0 **	23.4 **	0.24 **	0.98 **	0.98 **	0.22 *	610.1 **
روش آبیاری × سالیسیلیک اسید Ir × SA	3	6.08 **	0.61 **	6.26 **	2.79 **	0.20 **	0.44 **	0.64 **	268.6 **
ورمی کمپوست × سالیسیلیک اسید Vc × SA	1	1.30 **	1.90 **	74.6 **	4.66 **	1.50 **	0.26 **	0.35 **	714.6 **
روش آبیاری × ورمی کمپوست × سالیسیلسک اسید Ir × Vc × SA	3	0.92 **	0.48 **	111.8 **	6.93 **	1.87 **	1.17 **	0.98 **	405.7 **
خطا Error	24	31.9	61.5	576.5	119.2	4.96	387.9	0.29	695.0
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	10.1	14.8	10.5	12.9	11.1	9.49	11.5	18.1

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

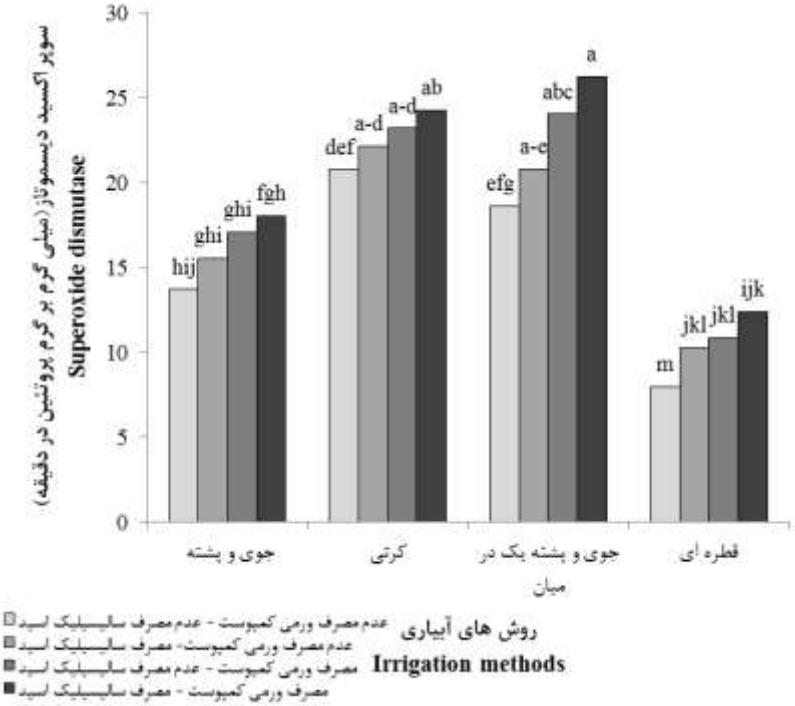
ns,* and**: non-significant and significant at 5 and 1% probability level, respectively.

www.iapb.kiau.ac.ir



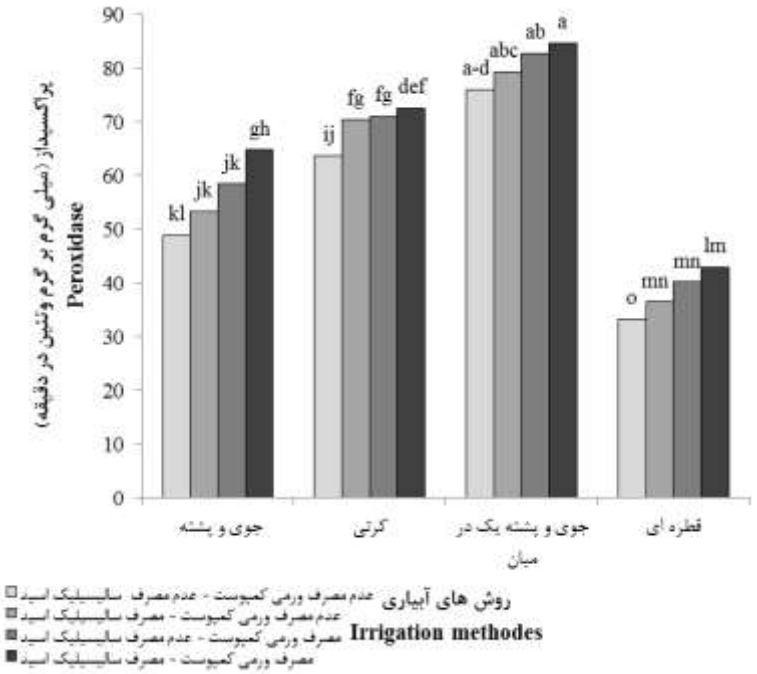
شکل ۱- برهمکنش روش‌های آبیاری، مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاه ماریتیغال. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 1- Mean comparison of interactions between irrigation methods, vermicompost and salicylic acid on activity of catalase enzyme of milk thistle (*Silybum marianum* L.). Columns of followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level using Duncans multiple range test.



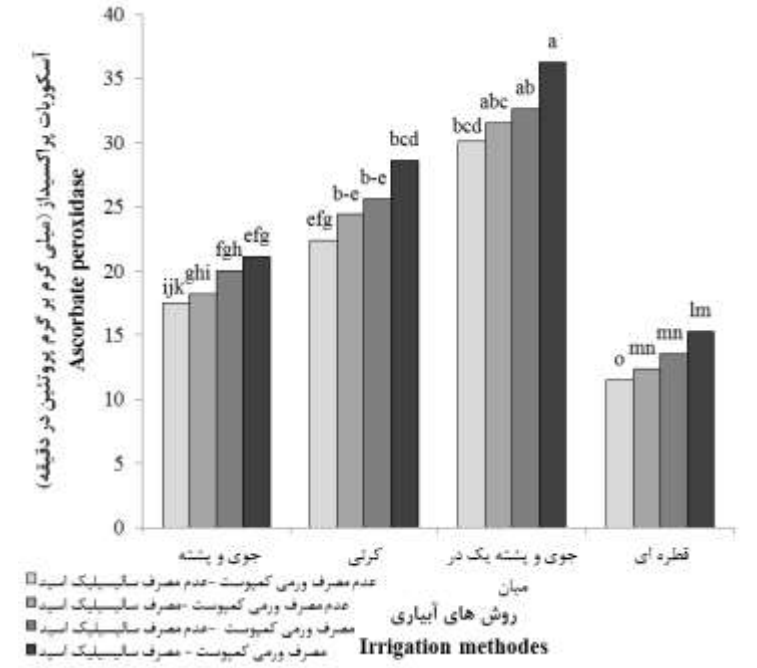
شکل ۲- برهمکنش روش‌های آبیاری، مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید بر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در گیاه ماریتیغال. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 2- Mean comparison of interactions between irrigation methods, vermicompost and salicylic acid on activity of superoxide dismutase enzyme of milk thistle (*Silybum marianum* L.). Columns of followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level using Duncans multiple range test.



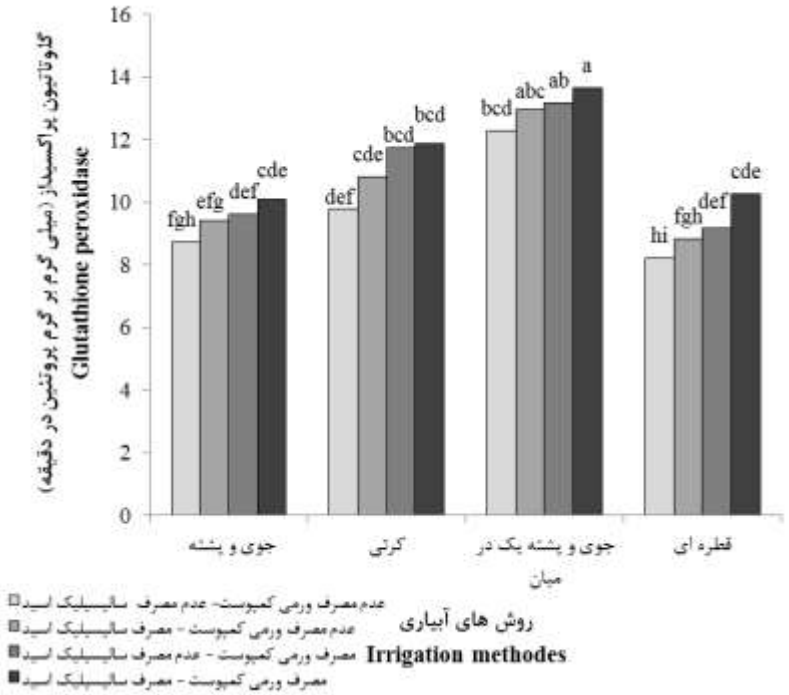
شکل ۳- برهمکنش روش‌های آبیاری، مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیدار در گیاه ماریتیغال. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 3- Mean comparison of interactions between irrigation methods, vermicompost and salicylic acid on activity of peroxidase enzyme of milk thistle (*Silybum marianum* L.). Columns of followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level using Duncans multiple range test.



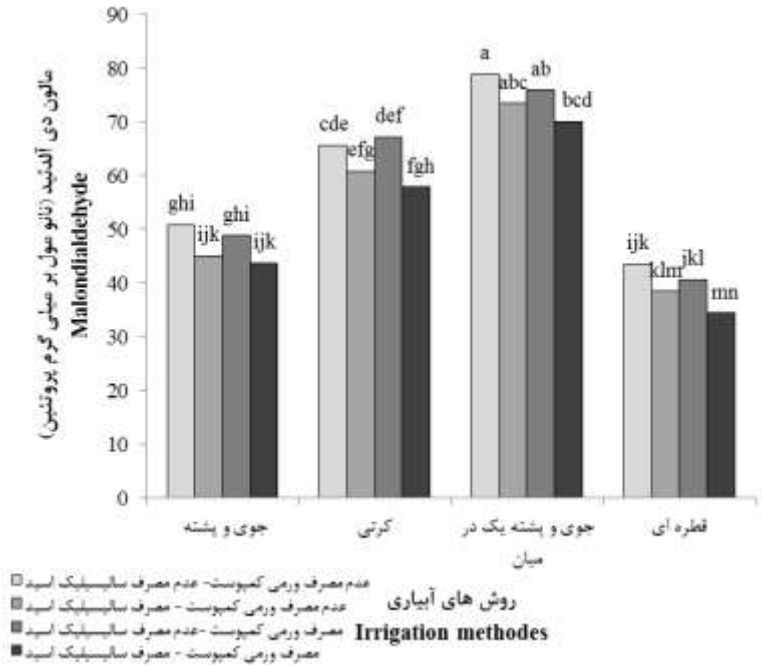
شکل ۴- برهمکنش روش‌های آبیاری، مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در گیاه ماریتیغال. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 4- Mean comparison of interactions between irrigation methods, vermicompost and salicylic acid on activity of ascorbate peroxidase enzyme of milk thistle (*Silybum marianum* L.). Columns of followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level using Duncans multiple range test.



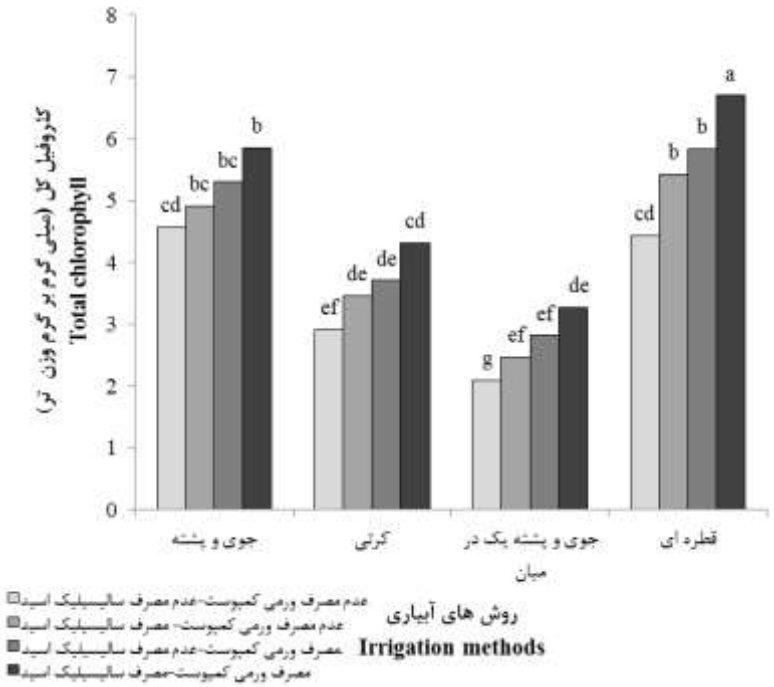
شکل ۵- برهمکنش روش‌های آبیاری، مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید بر میزان آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز در گیاه ماریتیغال. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 5- Mean comparison of interactions between irrigation methods, vermicompost and salicylic acid on activity of glutathione peroxidase enzyme of milk thistle (*Silybum marianum* L.). Columns of followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level using Duncans multiple range test.



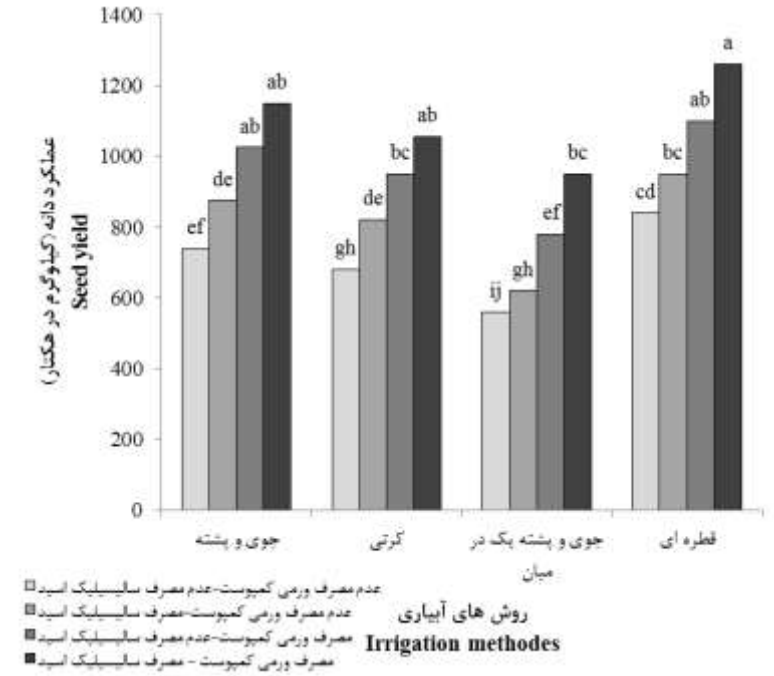
شکل ۶- برهمکنش روش‌های آبیاری، مصرف ورمی کمپوست و مصرف سالیسیلیک اسید بر میزان مالون دی آلدئید در گیاه ماریتیغال. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 6- Mean comparison of interactions between irrigation methods, vermicompost and salicylic acid on malondialdehyde (MDA) content of milk thistle (*Silybum marianum* L.). Columns of followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level using Duncans multiple range test.



شکل ۷- برهمکنش روش‌های آبیاری، مصرف ورمی کمپوست و سالیسیلیک اسید بر میزان کلروفیل کل در گیاه ماریتیغال. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 7- Mean comparison of interactions between irrigation methods, vermicompost and salicylic acid on total chlorophyll of milk thistle (*Silybum marianum* L.). Columns of followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level using Duncans multiple range test.



شکل ۸- برهمکنش روش‌های آبیاری، مصرف ورمی کمپوست و مصرف سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه در گیاه ماریتیغال. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 8- Mean comparison of interactions between irrigation methods, vermicompost and salicylic acid on seed yield of milk thistle (*Silybum marianum* L.). Columns of followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level using Duncans multiple range test.

فهرست منابع

References

احمدپور سفیدکوهی، ا.، م. قاجار سپانلو و م. ع. بهمنیار. ۱۳۹۱. تأثیر کاربرد چند دوره متوالی کودهای آلی و شیمیایی بر جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم و برخی ویژگی‌های رشد گندم. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۲(۴): ۷۱-۸۶.

آدمی پور، ن.، م. ب. حیدریان پور و م. زارعی. ۱۳۹۵. ارزیابی کاربرد ورمی کمپوست جهت کاهش اثرهای مخرب تنش شوری بر سبز فرش چمانواش بلند (*Festuca arundinacea Schreb.* 'Queen'). مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۷(۱): ۳۵-۴۶.

اسدی کاوان، ژ.، م. قربانلی و آ. ساطعی. ۱۳۸۸. اثر تنش خشکی و آسکوربات خارجی بر روی رنگیزه‌های فتوسنتزی، فلاونوئیدها، ترکیب‌های فنلی و میزان پراکسیداسیون لیپیدی در گیاه انیسون (*Pimpinella anisum* L.). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۵(۴): ۴۵۶-۴۶۹.

بیان، م.، ف. امینی و م. عسکری. ۱۳۹۲. تأثیر پیش تیمار اسید سالیسیلیک بر تجمع اسمولیت‌های آلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه قره‌داغ (*Nitraria shoberi* L.) در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۰(۴): ۱۷۷-۱۸۸.

پسندی پور، ا.، ح. فرح‌بخش، م. صفاری و ب.کرامت. ۱۳۹۲. اثر سالیسیلیک اسید بر برخی واکنش‌های فیزیولوژیک گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) تحت تنش شوری. نشریه علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، ۷(۲): ۲۱۵-۲۲۸.

پور اسماعیل، پ. ۱۳۸۵. تأثیرات پلیمر سوپر جاذب بر کارایی مصرف آب و عملکرد در لوبیای قرمز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران.

حامدی، ف.، ح. جعفری، ج. قادری و ر. زنگنه. ۱۳۸٤. مقایسه سیستم آبیاری قطره‌ای نواری و سطحی از طریق سطوح مختلف نیاز آبی بر عملکرد ذرت. نهمین کنگره علوم خاک ایران. مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران.

حبیبی، د.، س. عروج نیا، د. فتح‌الله طالقانی، ع. ر. پازکی و م. داودی فرد. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و عملکرد در ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند تحت شرایط تنش خشکی. مجله زارعت و اصلاح نباتات، ۸(۴): ۶۳-۸۲.

حبیبی، ق. ۱۳۹۱. اثر اسید سالیسیلیک بر سیستم آنتی اکسیداتیو چند رقم انگور پس از اعمال سرما. مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی-مولکولی، ۹: ۱۰۱-۱۰۵.

دولت‌آبادیان، آ.، ع. مدرس ثانوی و م. شریفی. ۱۳۸۸. اثر تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک بر میزان فعالیت آنزیم-های آنتی‌اکسیدان و برخی تغییرات بیوشیمیایی در برگ ذرت دانه‌ای. مجله زیست‌شناسی ایران، ۲۲(۳): ۴۰۷-۴۲۲.

ساعی، م.، د. حبیبی، ا. بوجار مشهدی، ع. محمودی و م. ر. اردکانی. ۱۳۸٤. تعیین سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت به‌عنوان یک پارامتر در تعیین‌های مقاوم سورگوم علوفه‌ای به تنش خشکی. چکیده مقالات اولین همایش بین‌المللی علوم زیستی ایران.

سعیدنژاد، ا. ح. و پ. رضوانی مقدم. ۱۳۸۹. ارزیابی اثر مصرف کمپوست، ورمی کمپوست کودهای دامی روی عملکرد، اجزای عملکرد و درصد اسانس زیره سبز (*Cuminum cyminum*). نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۴(۲): ۱۴۲-۱۴۸.

عطایی، ش. ا. ۱۳۸۳. بررسی تنش خشکی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در ارقام مختلف نخود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران.

www.iaqb.kiau.ac.ir

قلی نژاد، ر.، ع. ر. سیروس مهر و ب. فاخری. ١٣٩٣. تأثیر تنش خشکی و کودهای آلی بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، رنگدانه‌های فتوسنتزی، پرولین و عملکرد گاوزبان (*Borago officinalis*). نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ٢٨(٣): ٣٣٨-٣٤٦.

قهرمانی، ع. ١٣٨٨. بررسی محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و اسید سالیسیلیک بر رشد و عملکرد آفتابگردان تحت تنش خشکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، ایران.

کافی، م. و ع. م. مهدوی دامغانی. ١٣٨٦. مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش خشکی. (ترجمه) مؤلفان: آرمارجیت بسرا و رانجیت بسرا. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. چاپ سوم. ۴۷۲ صفحه.

کشاورز، ح. و س. ع. م. مدرس ثانوی. ١٣٩٣. اثر سالیسیلیک اسید بر کلروفیل، برخی خصوصیات رشدی و عملکرد دو رقم کلزا. نشریه تولید گیاهان زراعی، ٧(۴): ١٦١-١٧٨.

محمدی آریا، م.، آ. لکزیان و ج. حق نیا. ١٣٨٩. تأثیر مایه تلقیحی حاوی باکتری تیوباسیلوس و قارچ آسپرژیلوس بر رشد گیاه ذرت. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، ٨(١): ٨٢-٨٩.

منوچهری‌فر، پ. ١٣٨٩. بررسی تأثیر خارجی اسید سالیسیلیک در گیاهان. نخستین همایش منطقه‌ای یافته‌های نوین شیمی و مهندسی شیمی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه، ایران.

نظام دوست، س.، ع. ر. فرخزاد و م. ح. رسولی صدقیانی. ١٣٩٥. تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی انگور رقم بیدانه سفید تحت سمیت بور. مجله پژوهش در میوه کاری، ١(١): ١٥-٢٩.

هانی، ع.، ا. ح. محمودی توانا و پ. مرادی. ١٣٩٤. تأثیر کاربرد ورمی کمپوست بر صفات کمی و درصد روغن گیاه دارویی ماریتیغال در شرایط تنش خشکی. نهمین کنگره علوم باغبانی ایران. دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

Arancon, N., C. A. Edwards, P. Bierman, C. Welch and J. D. Metzger. 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: I. Effects on growth and yields. Bioresource Technology, 93: 145-153.

Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts; polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*. Journal of Plant Physiology, 24: 1-15.

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

Dixit, V., V. Pandey and R. Shyam. 2001. Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum*). Journal of Experimental Botany, 52: 1101-1109.

Eraslan, F., A. Inal, D. J. Pilbeam and A. Gunes. 2008. Interactive effects of salicylic acid and silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (*Spinacia oleracea* L. CV. Matador) grown under boron toxicity and salinity. Journal of Plant Growth Regulation, 55: 207-219.

Garcia, A. C., L. A. Santos, F. G. Izquierdo, M. V. L. Sperandio, R. N. Castro and R. L. L. Berbara. 2012. Vermicompost humic acids as an ecological pathway to protect rice plant against oxidative stress. Ecological Engineering, 47: 203-208.

Ghanati, F., A. Morita and H. Yokota. 2002. Induction of suberin and increase of lignin content by excess boron in tabacco cell. Soil Science and Plant Nutrition, 48: 357-364.

Ghavami, N. and A. A. Ramin. 2008. Grain yield and active substances of milk thistle as affected by soil salinity. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39: 2608-2618.

Giannopolitis, C. N. and S. K. Ries. 1977. Superoxide dismutase: occurrence in higher plants. Journal of Plant Physiology, 59(2): 309-314.

www.rpb.kiau.ac.ir

Habibi, D., M. Rahmani, A. H. Shirani, J. Daneshian, A. Valadabadi, P. Moaveni and M. Mashadi Akbar Boojar. 2009. Effect of superabsorbent polymers on yiled antioxidant enzymes activity of mustard (*Sinapis alba* L.) under drought stress. The 3rd International Conference on Integrated Approaches to Improve Crop Production under Drought-prone Environments. Shanghai-China.

Hayat, Q., S. Hayat, M. Irfan and A. Ahmad. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. Environmental and Experimental Botany, 68(1): 14-25.

Hayat, S. and A. Ahmad. 2007. Salicylic Acid - A Plant Hormone. Springer Press.

He, Y. and Z. Y. Zhu. 2008. Exogenous salicylic acid alleviates NaCl toxicity and increases antioxidative enzyme activity in *Lycopersicum esculentum*. Biologia Plantarum, 52: 792-795.

Hernandez, J. A., A. Jimenez, P. Mullineaux and F. Sevilla. 2000. Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long term stress is associated with induction of antioxidant defences. Plant, Cell & Environment, 23: 853-862.

Jat, R. S. and I. P. S. Ahlawat. 2008. Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers and phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea-fodder maize sequence. Journal of Sustainable Agriculture, 28(1): 41-54.

Jin, J., S. H. Ningwei, B. Jinhe and G. Junping. 2006. Regulation of ascorbate peroxidase at the transcript level is involved in tolerance to postharvest water deficit stress in the cut Rose (*Rose hybrida* L.) cv. Samantha. Postharvest Biology and Technology, 40(3): 236-243.

Keshavarz, H., S. A. M. Modarres Sanavy and R. Sadegh Ghol Moghadam. 2016. Impact of foliar application with salicylic acid on biochemical characters of canola plants under cold stress condition. Notulae Scientia Biologicae, 8(1): 98-105.

Khan, W., B. Prithiviraj and D. L. Smith. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. Journal of Plant Physiology, 160: 485-492.

Lamma, O. A. and M. A. Moftah. 2016. Effect of Vermicompost on Antioxidant levels in *Andrographis Paniculata*. International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture, 3(2): 160-164.

Li, W. R., S. Q. Zhang and L. Shan. 2006. Effect of water stress on chlorophyll fluorescence parameters and activity of antioxidant enzyme in alfalfa (*Medicago sativa* L.) seedlings. The first International Conference on the Theory and Practices in Biological Water Saving (ICTPB), Beijing China.

Mo, Y. W., D. Q. Gong, G. B. Liang, R. H. Han, J. H. Xie and W. C. Li. 2008. Enhanced preservation effects of sugar apple fruits by salicylic acid treatment during postharvest storage. Journal of the Science of Food and Agriculture, 88(15): 2693-2699.

Mohammdkhani, N. and R. Heidari. 2007. Effects of drought stress on protective enzyme activities and lipidperoxidation in two maize cultivars. Pakistan Journal of Biological Sciences, 10(21): 3835-3840.

Noreen, S., M. Ashraf, M. Hussain and A. Jamil. 2009. Exogenous application of salicylic acid enhances antioxidative capacity in salt stressed sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. Pakistan Journal of Botany, 41(1): 473-479.

Paglia, D. E. and W. N. Valentine. 1967. Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase. Journal of Laboratory and Clinical Medicine, 70: 158-169.

Palma, F., C. Liuch, C. Iribarne, J. M. Garcia-Garrido and N. A. T. Garcia. 2009. Combined effect of salicylic acid and salinity on some antioxidant acyivities, oxidative stress and metabolite accumulation in *Phaseolus vulgaris*. Journal of Plant Growth Regulation, 58: 307-316.

Pan, S., F. Rasul, W. Li, H. Tian, Z. Mo, M. Duan and X. Tang. 2013. Roles of plant growth regulators on yield, grain qualities and antioxidant enzyme activities in super hybrid rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Rice, 6: 9-14.

Patrick, L. N. D. 1999. Hepatitis C: Epidemiology and review of complementary/alternative medicine treatments. Europe PMC, 4(4): 220-238.

Rainone, F. 2005. Milk thistle. American Family Physician, 72: 1285-1288.

www.iaubkrau.ac.ir

Rajak, D., M. V. Mamjunatha, G. R. Rajkumar, M. Hebbara and P. S. Minhas. 2006. Comparative effects of drip and Furrow irrigation on the yield and water productivity on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in saline and waterlogged vertisol. Agricultural Water Management, 83: 30-36.

Rana, M. A., M. Arshad and J. Masud. 2006. Effect of basin, furrow and ringun sprinkler irrigation systems on irrigation efficiencies, nitrate-nitrogen leaching and yeild of sunflower. Pakistan Journal of Water Resources, 10(2): 2-6.

Ranieri, A., A. Castagna, B. Baldan and G. F. Soldatini. 2001. Iron deficiency differently affects peroxidase isoforms in sunflower. Journal of Experimental Botany, 354: 25-35.

Roesty, D., R. Gaur and B. N. Johri. 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. Soil Biology and Biochemistry, 38(5): 1111-1120.

Saneoka, H., R. E. A. Moghaieb, G. S. Premachandra and K. Fujita. 2004. Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in Agrosist palutris Huds. Environmental and Experimental Botany, 52: 131-138.

Stewart, R. and J. Bewley. 1980. Lipid peroxidation associated aging of soybean axes. Journal of Plant Physiology, 65: 245-248.

Tao, L., F. Hong, S. Xin, D. Q. Lin, Z. Fan, L. H. Guo and L. H. Hui. 2010. The alternative pathway in cucumber seedlings under low temperature stress was enhanced by salicylic acid. Journal of Plant Growth Regulation, 60(1): 35-42.

Zhang, M., L. Duan, X. Tian, Z. He, J. Li, B. Wang and Z. Li. 2006. Uniconazole-induced tolerance of soybean to water deficit stress in relation to changes in photosynthesis, hormones and antioxidant system. Journal of Plant Physiology, 164: 709-717.

Zhao, X., T. Iwamoto and E. E. Carey. 2007. Antioxidant capacity of leafy vegetables as affected by high tunnel environment, fertilization and growth stage. Journal of the Science of Food and Agriculture, 87: 2692-2699.

Zhou, X., A. Mackeuzie, C. Madramootoo and D. Smith. 1999. Effect of some injected plant growth regulators with or without sucrose on grain production, biomass and photosynthetic activity of field grown corn plants. Journal of Agronomy and Crop Science, 183: 103-109.

www.iaqb.kiau.ac.ir

ISSN NO: 2008-8485

Journal of Agronomy and Plant Breeding
Vol 14. No. 2, 2018

Iranian Journal of Agronomy & Plant Breeding Islamic Azad University, Karaj Branch

The effect of application of vermicompost and salicylic acid on activity of antioxidant enzymes and yield of milk thistle (*Silybum Marianum* L.) in different irrigation conditions

Morteza Shalalvand[1], Alireza Pazoki[2*], Reza Monem[3] and Majid Abdoli[4]

Received date: 29 October 2017 Accepted date: 11 March 2018

Abstract

In order to investigate the effects of different irrigation methods on yield and some physiological characteristics and activity of antioxidant enzymes of milk thistle (*Silybum marianum* L.) under using of vermicompost and salicylic acid, a field experiment was conducted as split-factorial based on randomized complete block design (RCBD) with three replicates on Shahr-e-Rey station during 2014-15 growing seasons. Irrigation methods as the main factor were conducted on four levels (including drip irrigation, basin irrigation, furrow irrigation, and alternate middle irrigation) and using of vermicompost on two levels (0 and 15 ton/ha) and application of salicylic acid on two levels (0 and 1 mM) were performed as minor factors. The results showed the highest activity of antioxidant enzymes including catalase, superoxide dismutase, peroxidase, ascorbate peroxidase, and glutathione peroxidase were observed in alternate middle irrigation with the combined consumption of vermicompost and salicylic acid and the lowest them activity in drip irrigation. The amount of malondialdehyde was higher in alternate middle irrigation than drop irrigation and application of vermicompost and salicylic acid simultaneously was decreased amount of malondialdehyde. Also, the highest seed yield and chlorophyll content were observed in drip irrigation with the combined consumption of vermicompost and salicylic acid. The results of this study showed that consumption of vermicompost and salicylic acid has a role in eliminating the negative effects of stress, and can improve the activity of antioxidant enzymes and increase the yield of milk thistle plant.

Keywords: Salicylic acid, Milk thistle, Vermicompost, Drought stress, Antioxidant enzymes.

www.iapb.kiau.ac.ir

1- Former Ms.C. student of Agronomy, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahr-e-Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Department of Agronomy and Plant Breeding, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahr-e-Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3- Department of Agronomy and Plant Breeding, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahr-e-Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

4- Young Researchers and Elite Club, Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran.

* Corresponding Author: pazoki_agri@yahoo.com