نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و چهارم، شماره پنجم، ۱۳۹۶
http://jwsc.gau.ac.ir

ارزیابی اثر هم‌زمان کم‌آبیاری بخشی ریشه و افزودن ورمی‌کمپوست بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی ذرت دانه‌ای سینگل‌کراس ۷۰۴

سهراب عزیزپور[۱]، *علی شاهنظری[۲]، میرخالق ضیاتبار احمدی[۳] و فاطمه کاراندیش[۴]

[۱]دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۲]دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۳]استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۴]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۹

چکیده

سابقه و هدف: استفاده از روش‌های حفظ ذخیره رطوبت خاک همراه با اعمال شیوه‌های مدیریت آبیاری نقش مهمی در سازگاری با مسأله کم‌آبی و بحران آب خواهد داشت. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر هم‌زمان اعمال کم‌آبیاری بخشی ریشه و ورمی‌کمپوست بر میزان آب مصرفی، عملکرد، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و محتوای نسبی آب برگ (RWC) گیاه ذرت در منطقه ساری می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی به روش کرت یک‌بار خردشده و در سه تکرار طی دو فصل زراعی در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل تیمار آبیاری کامل و کود شیمیایی (FIT_1) به‌عنوان تیمار شاهد، تیمار آبیاری کامل و ۵۰ درصد کود شیمیایی+ ۵/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (FIT_2)، تیمار آبیاری کامل و ۱۱ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (FIT_3)، تیمار کم‌آبیاری معمولی در سطح ٦۵ درصد و کود شیمیایی (DIT_1)، تیمار کم‌آبیاری معمولی در سطح ٦۵ درصد و ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (DIT_2)، تیمار کم‌آبیاری معمولی در سطح ٦۵ درصد و ۱۱ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (DIT_3)، تیمار کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطح ٦۵ درصد و کود شیمیایی (PRD_1)، تیمار کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطح ٦۵ درصد و ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (PRD_2)، تیمار کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطح ٦۵ درصد و ۱۱ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (PRD_3) بود. به‌منظور تعیین مقدار رطوبت خاک از رطوبت‌سنج TDR مدل TRIME-FM استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد اثر تیمارهای آبیاری بر همه پارامترهای فیزیولوژیکی در نظر گرفته‌شده در این پژوهش معنی‌دار بود. اثر تیمارهای کودی بر همه پارامترها به‌جز RWC معنی‌دار بود. بیش‌ترین میزان عملکرد، برای تیمار FIT، در دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ به‌ترتیب برابر با ۸ و ۸/۲ تن در هکتار به‌دست آمد. اعمال تیمار PRD باعث افزایش معنی‌دار عملکرد، عملکرد بیولوژیک و RWC در مقایسه با تیمار DI شد. استفاده از ورمی‌کمپوست به‌صورت تلفیقی با کود شیمیایی باعث افزایش عملکرد، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت شد. اعمال ورمی‌کمپوست باعث افزایش RWC در مقایسه با تیمار کود شیمیایی شد.

* مسئول مکاتبه: aliponh@yahoo.com

نتیجه‌گیری: در راستای سازگاری با مسأله کم‌آبی، اعمال تیمار PRD_2 توصیه می‌شود زیرا نسبت به کاربرد جداگانه PRD و ورمی‌کمپوست، باعث صرفه‌جویی بیش‌تر در مصرف آب (۲٦/۳ درصدی) شد و با تیمار FIT_2 اختلاف معنی‌داری ازنظر عملکرد و سایر پارامترهای فیزیولوژیکی ذرت نداشت.

واژه‌های کلیدی: عملکرد، شاخص برداشت، محتوای نسبی آب برگ

مقدمه

ذرت یکی از مهم‌ترین غلات در تغذیه انسان‌ها و حیوانات است. رطوبت نقش مهمی در عملکرد ذرت داشته و کمبود آب یکی از عوامل محدودکننده کشت این گیاه به‌شمار می‌آید. با توجه به مسأله بحران آب در کشور، مدیریت کارا و بهره‌وری آب کشاورزی امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. در سال‌های اخیر شیوه نوینی تحت عنوان آبیاری بخشی ریشه ارائه شده است (۱۹). آبیاری بخشی ریشه یک شیوه مدیریت آبیاری می‌باشد که کارایی مصرف آب را بدون کاهش چشمگیری در عملکرد گیاه، بهبود می‌بخشد (۹ و ٤۱). در این روش، تنها بخشی از ریشه در هر نوبت، آبیاری شده و بخش دیگر خشک باقی می‌ماند. قسمتی از ریشه که خشک مانده است، به‌عنوان یک پاسخ فیزیولوژیکی در برابر تنش آبی، مقداری هورمون شیمیایی اسید آبسسیک در ریشه تولید می‌کند که انتقال این ماده به شیره گیاهی باعث قلیایی شدن آن و کاهش میزان بازشدگی روزنه شده و موجبات کاهش هدررفت آب را فراهم می‌سازد (۱۹).

نتایج بسیاری از مطالعات بیانگر افزایش میزان بهره‌وری مصرف آب و همچنین عدم کاهش معنی‌دار محصول درنتیجه اعمال کم‌آبیاری بخشی ریشه است (۲، ٤۰ و ٤۱). وانگ و همکاران (۲۰۱۲) افزایش کارایی مصرف آب در PRD را گزارش نمودند (۵۰). تاپکو و همکاران (۲۰۰۷) بیان نمودند که PRD در مقایسه با سایر روش‌های کم‌آبیاری معمولی برای حداقل کردن کاهش عملکرد تحت شرایط تنش خشکی می‌تواند مفید و سودمند باشد (٤۹). نتایج پژوهش‌های کاراندیش و همکاران (۲۰۱۲) بیانگر آن است که روش PRD برای حفظ توأم مسائل زیست‌محیطی و اقتصادی، راهکاری مناسب در راستای نیل به کشاورزی پایدار محسوب می‌شود (۲۲). لیو و همکاران (۲۰۰۷) بیان نمودند که تحت شرایط مشابه با پژوهش آن‌ها، PRD هیچ‌گونه مزیتی نسبت با کم‌آبیاری برای پارامترهای عملکرد و کارایی مصرف آب ندارد (۲۵). کانگ و ژانگ (۲۰۰٤) بیان نمودند که شرایط محیطی در سطح مزرعه مثل شرایط آب و هوایی، خاک و نوع گیاه می‌تواند بر نتایج حاصل از کم‌آبیاری بخشی ریشه تأثیر بگذارد (۱۹). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت حصول اطمینان از این روش در شرایط محیطی مختلف و برای گیاهان مختلف، نیازمند پژوهش‌های گسترده‌تری می‌باشد.

علاوه بر اعمال شیوه‌های مدیریت آبیاری، افزودن مواد آلی به‌منظور حفظ ذخیره رطوبت و افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک از جمله اقدامات مؤثر برای افزایش راندمان آبیاری و بهبود بهره‌وری آب است (۱۵ و ۳٤). ورمی‌کمپوست به‌دلیل وجود قارچ، باکتری، مخمر و اکینومیست‌ها فعالیت میکروبی بیش‌تری دارد که این ریزموجودات می‌توانند علاوه بر بهبود جذب عناصر غذایی از طریق تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی تأثیر مثبتی روی رشد و عملکرد گیاه داشته باشند (۱۸). نتایج مطالعات زیادی نیز بیانگر

تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست و کودهای آلی در بهبود رشد و عملکرد گیاهان است (۲٤، ۳۰، ٤۲ و ٤۳). لازکانو و همکاران (۲۰۰۹) بیان نمودند که ورمی‌کمپوست نقش مثبتی در رشد و عملکرد گیاه تحت شرایط تنش خشکی دارد (۲۳). از آن‌جایی‌که در پژوهش‌های انجام‌شده، روش کم‌آبیاری بخشی ریشه و اعمال ورمی‌کمپوست به‌طور هم‌زمان مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. بنابراین با توجه به اثرات مثبت کم‌آبیاری بخشی ریشه و ورمی‌کمپوست این پژوهش به‌منظور بررسی اثر هم‌زمان این دو عامل بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی ذرت تحت سیستم آبیاری قطره‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در زمینی به مساحت ۹۹۰ مترمربع، طی دو فصل زراعی در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ روی گیاه ذرت رقم ۷۰٤ سینگل‌کراس دانه‌ای انجام شد. طول و عرض جغرافیایی منطقه به‌ترتیب ۵۳/۰٤ درجه شرقی و ۳٦/۳۹ درجه شمالی و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۱- متر است. منطقه مطالعاتی با میانگین بارندگی سالانه ٦۷۳ میلی‌متر، در سیستم طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، منطقه‌ای مرطوب محسوب می‌شود. خصوصیات بافت خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- خصوصیات بافت خاک منطقه مورد مطالعه.

Table 1. Characteristics of the studied soil.

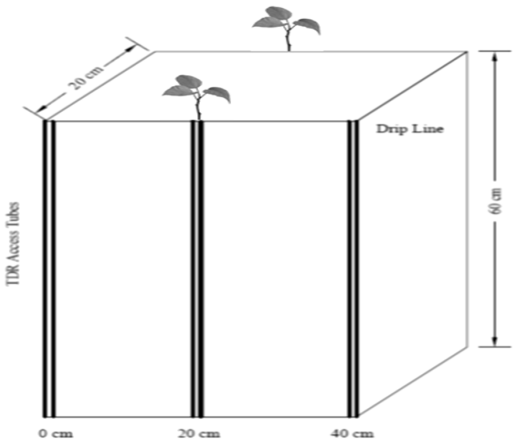
عمق خاک (cm) Soil depth (cm)	بافت خاک Soil texture	ظرفیت زراعی (٪) Field capacity (%)	نقطه پژمردگی (٪) Wilting point (%)	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm^3) Bulk Density (gr/cm^3)
0-20	لوم رسی (Clay loam)	32	14	1.38
20-40	لوم (Loam)	30	13	1.39
40-60	لوم رسی (Clay loam)	32	14	1.36
60-80	لوم رسی (Clay loam)	32	14	1.35

آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی به روش کرت یک‌بار خردشده با سه تیمار آبیاری (به‌عنوان کرت اصلی) و سه تیمار کود دهی (به‌عنوان عامل فرعی) با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل تیمار آبیاری کامل و کود شیمیایی (FIT_1) به‌عنوان تیمار شاهد، تیمار آبیاری کامل و ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (FIT_2)، تیمار آبیاری کامل و ۱۱ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (FIT_3)، تیمار کم‌آبیاری معمولی در سطح ٦۵ درصد و کود شیمیایی (DIT_1)، تیمار کم‌آبیاری معمولی در سطح ٦۵ درصد و ۵۰ درصد کود شیمیایی+ ۵/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (DIT_2)، تیمار کم‌آبیاری معمولی در سطح ٦۵ درصد و ۱۱ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (DIT_3)،

تیمار کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطح ٦٥ درصد و کود شیمیایی (PRD_1)، تیمار کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطح ٦٥ درصد و ٥٠ درصد کود شیمیایی + ٥/٥ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (PRD_2)، تیمار کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطح ٦٥ درصد و ١١ تن ورمی‌کمپوست در هکتار (PRD_3) بود. آبیاری با استفاده از روش قطره‌ای (تیپ) و با فواصل زمانی یک روز در میان انجام شد. تغییر شیفت آبیاری از یک طرف ریشه به‌سمت دیگر ریشه در آبیاری بخشی ریشه پس از سه نوبت آبیاری (شش روز) انجام می‌گرفت. به‌منظور تعیین دقیق حجم آب مصرفی مربوط به هر تیمار از کنتورهای حجمی استفاده شد. از آن‌جایی‌که ورمی‌کمپوست باعث افزایش قابلیت نگهداشت آب در خاک می‌شود، بنابراین نیاز آبی (I_n) در تیمار آبیاری کامل برای هر سه سطح کودی (T_1 و T_2، T_3) به‌طور جداگانه و بر اساس رابطه ١ محاسبه شد. در روش کم‌آبیاری معمولی و آبیاری بخشی ریشه، ٦٥٪ نیاز آبی محاسبه‌شده در آبیاری کامل اعمال شد.

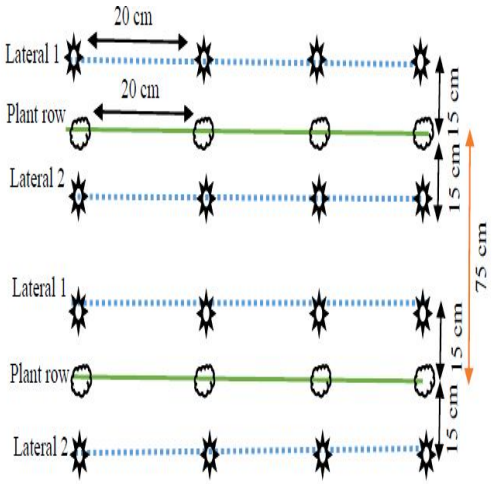
$$I_n = \sum_{i=1}^{n}((\theta_{FC} - \theta_w) \times D_i) \qquad (١)$$

که در آن، I_n نیاز آبی بر حسب میلی‌متر، Θ_{FC} درصد حجمی ظرفیت زراعی مزرعه، Θ_w درصد حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری، D_i عمق هر لایه از خاک بر حسب میلی‌متر، i شماره هر لایه از خاک می‌باشد. مقدار رطوبت خاک با استفاده از رطوبت‌سنج TDR مدل TRIME-FM به‌صورت روزانه سنجیده شد. شکل ١ به‌صورت شماتیک نحوه نصب لوله دسترسی TDR را نشان می‌دهد. روش آبیاری در این پژوهش، آبیاری قطره‌ای سطحی (TAPE) با در نظر گرفتن دو لوله آبده برای هر ردیف کشت و با فاصله قطره‌چکان ٢٠ سانتی‌متر و دبی خروجی دو لیتر بر ساعت بود. در تیمار آبیاری بخشی ریشه به‌صورت تناوبی در هر بار آبیاری، تنها دریکی از لوله‌های آبده جریان وجود داشت تا از خشک بودن نیمی دیگر از سامانه ریشه اطمینان حاصل شود. نحوه استقرار لوله‌های آبده و ردیف‌ها به‌صورت شماتیک در شکل ٢ نشان داده شده است. بذر ذرت رقم ٧٠٤ سینگل‌کراس دانه‌ای در اواخر اردیبهشت‌ماه با فاصله ردیف‌های کشت ذرت ٧٥ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ٢٠ سانتی‌متر کشت شد. طول دوره رشد تا زمان برداشت حدود ١١٠ روز بود. اعمال تیمارهای آبیاری در دو سال ١٣٩٣ و ٣٩٤ به‌ترتیب ٦٠ و ٥١ روز بعد از کاشت شروع شد. قبل از کاشت، آزمون خاک به‌منظور تعیین نیاز کودی گیاه انجام شد. میزان کود شیمیایی با توجه به آزمون خاک قبل از کاشت، ٢٧٠ کیلوگرم در هکتار اوره، ١٧٥ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل و ١٧٥ کیلوگرم در هکتار سولفات‌پتاسیم در سال اول و ٢٠٠ کیلوگرم در هکتار اوره، ١٥٠ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل و ١٥٠ کیلوگرم در هکتار سولفات‌پتاسیم در سال دوم بود. کودهای سوپرفسفات‌تریپل، سولفات‌پتاسیم و کود ورمی‌کمپوست به‌طور یک‌جا و قبل از کاشت به مزرعه داده شد. کود اوره به‌صورت سرک در دو نوبت در تاریخ‌های ١٥ و ٤٠ روز بعد از کاشت در سال ٩٣ و ١٢ و ٣٥ روز بعد از کاشت در سال ٩٤ با میزان یک‌سوم در نوبت اول و دوسوم در نوبت دوم به زمین داده شد.



شکل ۱- شماتیک نحوه نصب لوله‌های TDR.

Figure 1. Schematic installation of TDR tubes.



شکل ۲- شماتیک نحوه استقرار لوله‌های آبده و ردیف‌های کشت.

Figure 2. Schematic DIT1tribution of DIT1charge pipes and planting rows.

برای تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی در پایان فصل رشد با حذف ردیف‌های کناری و ابتدا و انتهای هر کرت از ردیف‌های وسط نمونه‌برداری به‌عمل آمد. ابتدا وزن کل اندام هوایی با استفاده از ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد. همچنین عملکرد دانه (بر اساس رطوبت ۱٤ درصد) محاسبه شد. شاخص برداشت که یکی از پارامترهای مهم در تحلیل‌های زراعی، است بر اساس رابطه ۲ محاسبه شد (۱۲).

$$HI = \frac{Biomass}{Yield} \qquad (۲)$$

که در آن، Biomass برابر با عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار) و Yield برابر با عملکرد اقتصادی (کیلوگرم در هکتار) است.

به‌منظور تعیین محتوای نسبی آب برگ (RWC) در مرحله ابریشم‌دهی، از آخرین برگ توسعه‌یافته سه بوته از تمامی تیمارهای آزمایشی نمونه‌برداری

صورت گرفت. پس از تعیین وزن تر، تمامی نمونه‌ها در آب مقطر قرار داده شده و به‌مدت ۲٤ ساعت در سردخانه (Cold Room) در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس رطوبت سطحی نمونه‌ها با دستمال حوله‌ای خشک و وزن آماس آن‌ها به‌دست آمد. نمونه‌ها به‌مدت ۲٤ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون قرار گرفته و وزن خشک هر نمونه اندازه‌گیری شد. در نهایت محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$RWC = \frac{(F_w - D_w)}{(S_w - D_w)} \times 100 \qquad (۳)$$

که در آن، F_w وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه‌برداری، D_w وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون، S_w وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر می‌باشد.

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

حجم آب آبیاری: مقادیر حجم آب مصرفی برای تیمارهای آبیاری در طول فصل رشد و دوره اعمال تیمار در جدول ۲ ارائه شده است. اعمال تیمار PRD در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ به‌ترتیب باعث کاهش ۳٤/۸ و ۳٤/۹ درصدی در مصرف آب در طول دوره اعمال تیمار و ۱۹/۵ و ۱٦/۵ درصد کاهش در کل فصل رشد در مقایسه با تیمار آبیاری کامل شد.

نتایج نشان داد که اعمال تیمار کودی T_2 در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ به‌ترتیب باعث کاهش ۹ و ۱۰/۹ درصدی در مصرف آب در تیمار FI و ۹ و ۱۱ درصد کاهش در تیمار PRD در کل فصل رشد در مقایسه با تیمار کودی T_1 شد. مقدار کاهش در طول دوره اعمال تیمار در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ به‌ترتیب برابر با ۹ و ۱۰/۵ درصد برای هر دو تیمار آبیاری کامل و PRD بود.

اعمال تیمار T_3 باعث کاهش ۱۹/۵ و ۲۱ درصدی در مصرف آب در تیمار FI و ۲۰/۹ و ۲۰/۵ درصد کاهش در تیمار PRD در کل فصل رشد و همچنین کاهش ۲۰ و ۱۹/۵ درصدی در طول دوره اعمال تیمار در تیمار FI و کاهش ۱۹/۹ و ۱۹/۳ درصدی در تیمار PRD به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ در مقایسه با تیمار کودی T_1 شد.

اعمال هم‌زمان PRD و تیمارهای کودی شامل ورمی‌کمپوست باعث صرفه‌جویی بیش‌تر در مصرف آب شد. به‌طوری‌که تیمار PRD_2 باعث کاهش ۲٦/۷ و ۲۵/۹ درصدی در مصرف آب در کل فصل رشد و ٤۰/٦ و ٤۱/۹ درصدی در طول دوره اعمال تیمار به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤در مقایسه با تیمار FIT_1 شد. همچنین تیمار PRD_3 باعث کاهش ۳٦/٤ و ۳۳/٦ درصدی در مصرف آب در کل فصل رشد و ٤۷/۸ و ٤۷/۵ درصدی در طول دوره اعمال تیمار به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤در مقایسه با تیمار FIT_1 شد.

جدول ۲- عمق آب مصرفی در تیمارهای آبیاری کامل (FI)، کم آبیاری معمولی (DI) و آبیاری بخشی ریشه (PRD).

Table 2. Water depth for full irrigation (FI), deficit irrigation (DI) and prtial root zone drying (PRD).

سال year	کل فصل رشد (mm) Total growth season (mm)						دوره اعمال تیمار (mm) treatment period (mm)					
	FIT1	FIT2	FIT3	PRD1	PRD2	PRD3	FIT1	FIT2	FIT3	PRD1	PRD2	PRD3
1393	522	475	420	420	382	332	293	266	234	191	174	153
1394	520	463	410	434	385	345	246	220	198	160	143	129

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عملکرد دانه در دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ در جدول‌های ۳ و ٤ ارائه شده است. اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر عملکرد در سطح احتمال یک درصد در دو سال انجام پژوهش معنی‌دار بود. بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه در بین تیمارهای آبی به‌میزان ٦۷۵۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار FI بود. کم‌ترین مقدار عملکرد دانه به‌میزان ٤۰۵۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار DI بود. اعمال تیمار PRD باعث افزایش معنی‌دار عملکرد در مقایسه با تیمار DI شد. همچنین اعمال تیمار کم‌آبیاری باعث کاهش معنی‌دار محصول ذرت شد. این نتیجه با نتایج پژوهش‌های بوزکارت (۲۰۰٦) و بوز (۲۰۰۱) همسو است (۵، ٦). برخی از پژوهشگران علت اصلی افت عملکرد دانه در اثر کم‌آبیاری را کاهش فتوسنتز و انتقال مجدد مواد طی دوره پر شدن دانه می‌دانند (۱٦ و ۳٦).

مظاهری‌لقب و همکاران (۲۰۰۱) طی پژوهش خود بیان نمودند که کم‌آبیاری ضمن کاهش سطح برگ‌ها و پیری زودرس آن‌ها، باعث افت عملکرد دانه می‌شود (۳۱). بنابراین یکی از دلایل بالاتر بودن مقادیر عملکرد در تیمار PRD در مقایسه با تیمار DI می‌تواند بالاتر بودن مقادیر شاخص سطح برگ در تیمار PRD و رابطه مستقیم بین میزان فتوسنتز و شاخص سطح برگ باشد.

اثر تیمارهای کودی نیز بر عملکرد ذرت معنی‌دار بود. به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان عملکرد در تیمار کودی T_2 به‌دست آمد. کم‌ترین مقدار عملکرد نیز در تیمار کودی T_3 به‌دست آمد. مالکی‌فراهانی و چاییچی (۲۰۱۲) بیان نمودند که کودهای ارگانیک به‌وسیله نگهداشت بیش‌تر آب در خاک اثرات تنش آبی را کاهش می‌دهند (۳۰). نتایج پژوهش‌های دوان (۲۰۱۵)، لی و همکاران (۲۰۱۰) و کلیک (۲۰۰٤) نشان می‌دهد که اضافه کردن ماده آلی به خاک باعث افزایش رطوبت در دسترس (AWC) می‌شود (۷، ۱۱ و ۲٤). از سویی دیگر ورمی‌کمپوست به‌دلیل وجود قارچ، باکتری، مخمر و اکینومیست‌ها فعالیت میکروبی بیش‌تری دارد که این ریزموجودات می‌توانند علاوه بر بهبود جذب عناصر غذایی از طریق تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند اکسین‌ها، جبیرلین‌ها، سیتوکینین‌ها، اتیلن و اسید آبسیزیک تأثیر مثبتی روی رشد و عملکرد گیاه داشته باشند. از سویی دیگر به‌علت نقاط ضعف موجود در ورمی‌کمپوست یا کودهای آلی از جمله تفاوت در محتوی عناصر غذایی (٤٤) کاربرد ورمی‌کمپوست به‌تنهایی نمی‌تواند عملکرد گیاه را به حداکثر مقدار آن برساند، ازاین‌رو برای به‌دست آوردن عملکردی مطلوب، کاربرد تلفیقی کودهای آلی همراه با کودهای شیمیایی الزامی است (جدول ۵).

بنابراین می‌توان گفت در استفاده تلفیقی ورمی‌کمپوست با کود شیمیایی با تأمین بهتر عناصر

غذایی همراه با بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، شرایط برای افزایش جذب عناصر غذایی، بهبود تولید و عرضه مواد پرورده به بلال و در نهایت افزایش میزان عملکرد دانه در واحد سطح فراهم می‌شود.

بیش‌ترین میزان عملکرد در دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ مربوط به تیمار FIT_2، به‌ترتیب برابر با ۸۰۰۰ و ۸۲۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که با تیمار PRD_2 اختلاف معنی‌داری ندارد (جدول ۵). کم‌ترین مقدار عملکرد در هر سه تیمار کودی مربوط به تیمار DI می‌باشد. بنابراین تیمار PRD_2 علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب، میزان مصرف کود شیمیایی را نیز کاهش داده و باعث عدم کاهش معنی‌دار عملکرد نیز می‌شود.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات عملکرد، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و محتوای نسبی آب برگ.

Table 3. Analysis of variance for yield, biological yield, harvest index and leaf relative water content.

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی (df)	عملکرد Yield		عملکرد بیولوژیک Biological yield		شاخص برداشت Harvest index		محتوای نسبی آب برگ Leaf relative water content	
		1393	1394	1393	1394	1393	1394	1393	1394
تکرار Replication	2	20	21	210	244	0.001	0.001	67.7	135.2
آبیاری Irrigation	2	14**	17**	168**	110**	0.0001^{ns}	0.003**	553.5**	523.6**
خطای آبیاری Error a	4	0.2	0.4	0.5	1.9	0.0001	0.0004	12.6	24
کود fertilizer	2	13**	15**	87.7**	87.7**	0.004**	0.0044**	367.2^{ns}	51.1^{ns}
آبیاری در کود irrigation× fertilizer	4	0.35^{ns}	0.26*	4.5 ^{ns}	5.9*	0.0007^{ns}	0.001^{ns}	5.1^{ns}	12.9^{ns}
خطای کل Total error	12	0.03	0.05	1.6	1.5	0.0003	0.0003	56.6	49.3

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد، ^{ns} برابر با عدم تفاوت معنی‌دار.

* ,** Significant at P<0.05 and P<0.01, respectively, ^{ns} None significant.

جدول ٤- میانگین مربعات عامل اصلی آبیاری و عامل فرعی کود بر عملکرد، عملکرد بیولوژیک و محتوای نسبی آب برگ.

Table 4. The mean squares of irrigation and fertilizer on yield, biological yield, harvest index and leaf relative water content.

عوامل آزمایشی treatment	عملکرد دانه ($ton.ha^{-1}$) Yield ($ton.ha^{-1}$)		عملکرد بیولوژیک ($ton.ha^{-1}$) Biological yield ($ton.ha^{-1}$)		شاخص برداشت Harvest index		محتوای نسبی آب برگ (٪) Leaf relative water content (%)	
	1393	1394	1393	1394	1393	1394	1393	1394
FI	6.5 ^{a}	7 ^{a}	23.3 ^{a}	22.2 ^{a}	0.27	0.31 ^{a}	87.4 ^{a}	88.5 ^{a}
DI	4 ^{c}	4.1 ^{c}	14.6 ^{c}	15.2 ^{c}	0.27	0.27 ^{b}	72.1 ^{b}	73.3 ^{b}
PRD	5 ^{b}	5.5 ^{b}	17.8 ^{b}	19.1 ^{b}	0.27	0.28 ^{b}	83 ^{a}	82.3 ^{a}
T_1	5.2 ^{b}	5.4 ^{b}	18.8 ^{b}	18.9 ^{b}	0.3 ^{b}	0.28 ^{b}	78.5	79.1
T_2	6.4 ^{a}	6.8 ^{a}	21.5 ^{a}	22 ^{a}	0.3 ^{a}	0.31 ^{a}	81.5	81.2
T_3	3.9 ^{c}	4.2 ^{c}	15.3 ^{a}	15.7 ^{c}	0.25 ^{b}	0.26 ^{b}	82.4	83.9

جدول ۵- اثر متقابل آبیاری و کود بر عملکرد، عملکرد بیولوژیک و محتوای نسبی آب برگ.

Table 5. The interaction effect of irrigation and fertilizer on yield, biological yield, harvest index and leaf relative water content.

محتوای نسبی آب برگ (درصد) Leaf relative water content (%)		شاخص برداشت Harvest index		عملکرد بیولوژیک ($ton.ha^{-1}$) Biological yield ($ton.ha^{-1}$)		عملکرد دانه ($ton.ha^{-1}$) Yield ($ton.ha^{-1}$)		عوامل آزمایشی treatment
1394	1393	1394	1393	1394	1393	1394	1393	
88.4 ab	86.6 a	0.31 a	0.29 abc	22.6 ab	23 ab	7 ab	6.7 ab	FIT_1
88.3 ab	87.7 a	0.31 a	0.28 a-d	26.6 a	27.6 a	8.2 a	8 a	FIT_2
88.8 a	87.8 a	0.3 ab	0.25 d	17.3 bc	19 bc	5.4 bc	5.2 bdc	FIT_3
70.8 c	69.7 d	0.26 cd	0.25 d	15.3 bc	15.6 bc	4.1 c	3.9 dc	DIT_1
73.1 c	72.5 cd	0.3 ab	0.31 a	17.3 bc	16.3 bc	5.2 bc	4.9 bdc	DIT_2
76.1 bc	74.2 bcd	0.24 d	0.25 d	13 c	12 c	3.2 c	3.1 d	DIT_3
78.1 abc	79.4 a-d	0.28 bc	0.27 bcd	18.6 abc	18 bc	5.2 bc	4.9 bdc	PRD_1
82.1 abc	84.4 abc	0.32 a	0.3 ab	21.8 abc	20.6 ab	7 ab	6.2 abc	PRD_2
86.7 ab	85.1 ab	0.25 cd	0.25 cd	16.8 bc	15 bc	4.2 c	3.9 dc	PRD_3

عملکرد بیولوژیک: اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد در هر دو سال انجام پژوهش معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس جدول ٤ در بین تیمارهای مختلف آبیاری، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار عملکرد بیولوژیک در هر دو فصل زراعی، به‌ترتیب مربوط به تیمارهای FI و DI بود. اعمال تیمار PRD باعث افزایش عملکرد بیولوژیک در مقایسه با تیمار DI شد. اعمال تیمار کم‌آبیاری باعث کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک ذرت در مقایسه با آبیاری کامل شد. افزایش مقاومت مزوفیلی و روزنه‌ای در شرایط تنش رطوبتی باعث کاهش ورود دی‌اکسیدکربن به درون گیاه شده و بالتبع آن فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد. بنابراین عملکرد بیولوژیک در اثر تنش رطوبت کاهش می‌یابد.

سپهری و همکاران (۲۰۰۲) بیان نمودند که اعمال کم‌آبیاری در دوره رشد زایشی و رویشی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک در گیاه ذرت می‌شود (۳۹). یازار و همکاران (۲۰۰۹) کاهش عملکرد بیولوژیک در تیمارهای تحت تنش خشکی را به عدم جذب رطوبت کافی و در نتیجه کوتاه شدن طول دوره رشد رویشی و زایشی مربوط دانسته‌اند (۵۲). کاهش میزان عملکرد بیولوژیک در نتیجه اعمال تیمار PRD در مقایسه با تیمار FI در نتایج مطالعات کانگ و همکاران (۲۰۰۱) و شاهنظری و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش شده است (۲۰ و ٤۱). بالا بودن مقدار جذب آب در تیمار PRD در مقایسه با سایر تیمارهای کم‌آبیاری می‌تواند زمینه لازم برای افزایش عملکرد بیولوژیک در این تیمار را فراهم سازد (۲۱).

اثر نوع تیمارهای کودی نیز بر عملکرد بیولوژیک ذرت معنی‌دار بود. به‌طوری‌که اعمال تیمار کودی T_2 بیش‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک را نتیجه داد. به‌نظر می‌رسد علت این امر بهبود شرایط فیزیکی خاک، دسترسی بهتر به عناصر غذایی، رشد و توسعه بهتر سیستم ریشه‌ای، انجام فتوسنتز بیش‌تر و در نتیجه افزایش رشد گیاه است. از سویی دیگر وجود هورمون‌های محرک رشد در ورمی‌کمپوست باعث افزایش رشد و افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه می‌شود (۱ و ۲۸). توماتی و همکاران (۱۹۸۷) و

توماتی و همکاران (۱۹۸۳) نیز بیان نمودند که استفاده از کود ورمی‌کمپوست به‌دلیل دارا بودن مواد بیولوژیکی فعال تحمل به تنش خشکی در گیاه را افزایش می‌دهد (٤۷ و ٤۸).

بیش‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک در دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ در تیمار FIT_2 مشاهده شد. اعمال تیمار PRD_2 اختلاف معنی‌داری با تیمار FIT_2 نداشت (جدول ۵). بر اساس جدول ۵ کم‌ترین مقدار عملکرد در هر سه تیمار کودی مربوط به تیمار DI بود.

شاخص برداشت: شاخص برداشت بیانگر چگونگی تسهیم مواد پرورده بین اندام‌های رویشی گیاه و دانه می‌باشد. از آن‌جائی‌که یکی از اجزای محاسبه شاخص برداشت عملکرد دانه است، تغییرات شاخص برداشت وابستگی زیادی به تغییرات عملکرد دانه دارد. بر اساس فرمول شاخص برداشت (نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد زیستی) هر عاملی که باعث شود عملکرد دانه بیش‌تر از وزن خشک کل تحت‌تأثیر قرار گیرد، باعث تغییر شاخص برداشت می‌شود. بر اساس جدول ٤ بین مقادیر شاخص برداشت در سال ۱۳۹٤ اختلاف معنی‌داری بین تیمار FI و تیمارهای PRD و DI وجود دارد. به‌طوری‌که اعمال کم‌آبیاری باعث کم‌شدن شاخص برداشت در گیاه ذرت شد. این نتیجه همسو با نتایج پژوهش‌های لودلو و ماچو (۱۹۹۰) و مجیدیان و همکاران (۱۳۸۷) است (۲٦ و ۲۹). اعمال تیمار PRD باعث افزایش معنی‌دار شاخص برداشت نسبت به DI نشد. بر اساس پژوهش‌های یازار و همکاران (۲۰۰۹) و شاهنظری و همکاران (۲۰۰۷) میزان شاخص برداشت در شرایط اعمال تنش رطوبتی در DI و PRD کاهش می‌یابد (٤۱ و ۵۲).

علت بالاتر بودن شاخص برداشت در تیمار PRD در مقایسه با DI می‌تواند بالاتر بودن شاخص سطح برگ و بالتبع آن افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش عملکرد باشد.

بر اساس جدول ۵ در سال ۱۳۹۳ بیش‌ترین مقدار شاخص برداشت برای تیمار DIT_2 به‌دست آمد که با سیستم کوددهی مشابه و سطوح آبیاری دیگر (FI و PRD) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). در سال ۱۳۹٤ بیش‌ترین مقدار شاخص برداشت برای تیمار PRD_2 به‌دست آمد که با سطوح آبیاری دیگر و سیستم کوددهی مشابه تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

محتوای نسبی آب برگ (RWC): محتوای نسبی آب برگ تعادل بین آب تأمین‌شده برای برگ و سرعت تعرق را بهتر از سایر اجزای روابط آبی منعکس کند، بنابراین شاخص مناسبی برای نشان دادن وضعیت آبی برگ است (۳۷). نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ در دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ در جدول‌های ۳ و ٤ ارائه شده است. اثر تیمارهای آبیاری در هر دو سال بر RWC در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. به‌طوری‌که اعمال تیمار DI باعث کاهش معنی‌دار RWC برگ گیاه ذرت نسبت به تیمار FI شد. نتایج سایر پژوهش‌ها نیز نشان‌دهنده کاهش RWC در اثر تنش خشکی برای گیاه ذرت (۲۷)، قهوه (٤۵)، سیب‌زمینی (۵۱)، گندم (۳۸)، بادرنجبویه (۳۲) و آفتابگردان (۳۵) است.

به‌نظر می‌رسد گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند، فضای بین‌سلولی و میزان آب در اندام خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از خاک با نیروی بیش‌تری وارد آن‌ها شود که این امر موجب کاهش میزان RWC در شرایط کم‌آبیاری می‌گردد.

کاهش RWC در تیمار PRD نسبت به FI معنی‌دار نبود و از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۳). این نتیجه همسو با نتایج پژوهش‌های

یاکتایو و همکاران (۲۰۱۳) و بیانکو و همکاران (۲۰۱۱) می‌باشد (٤ و ٥١). بعضی از تغییرات متابولیکی و سیگنال‌های شیمیایی ممکن است منجر به بهبود RWC در تیمار PRD شود (٤٥). در تیمار PRD بسته شدن روزنه به‌خاطر افزایش غلظت ABA در برگ (٨ و ١٠)، تغییرات pH شیره آوند چوبی (١٧ و ٤٦) و یا به‌وسیله سیگنال‌های هیدرولیکی (٣، ١٣ و ١٤) می‌تواند تلفات آب به‌وسیله تعرق را کاهش داده و آب داخل گیاه را حفظ کند.

بررسی مقایسه میانگین تیمارهای کودی بر RWC، نشان می‌دهد که ورمی‌کمپوست باعث افزایش RWC در مقایسه با تیمار کود شیمیایی شد. هر چند که این افزایش معنی‌دار نبود (جدول ٣). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار RWC به‌ترتیب در تیمار کودی V و S مشاهده شد (جدول ٤). از آن‌جایی‌که کاهش میزان RWC در اثر کم‌آبیاری دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با محتوای رطوبتی خاک می‌باشد (٣٣). بنابراین به‌نظر می‌رسد دلیل افزایش RWC در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست این نکته باشد که ورمی‌کمپوست باعث افزایش قابلیت نگهداشت آب در خاک شده و در نتیجه باعث افزایش محتوای رطوبتی خاک می‌شود.

اثر متقابل تیمارهای مختلف آبیاری و کود بر محتوای نسبی آب برگ ذرت در دو سال ١٣٩٣ و ١٣٩٤ در جدول ٥ آورده شده است. بیش‌ترین مقدار آماس نسبی در تیمار FIT_3 بوده و کم‌ترین مقدار آن در تیمار DIT_1 بود. اعمال هم‌زمان تیمار PRD و تیمارهای ورمی‌کمپوست باعث به‌وجود آمدن اختلاف معنی‌داری در RWC در مقایسه با تیمار FI نشده است. اعمال ورمی‌کمپوست در تیمار FI باعث افزایش چندانی در RWC نمی‌شود. اما این افزایش در تیمارهای PRD و DI بیش‌تر است.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، میزان آب مصرفی و برخی از صفات فیزیولوژیک گیاه ذرت با اعمال توأمان کم‌آبیاری بخشی ریشه و ورمی‌کمپوست مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر این مطلب است که روش PRD علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب، به‌دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود باعث کاهش کم‌تر صفات فیزیولوژیک بررسی‌شده در این پژوهش نسبت به DI در گیاه ذرت می‌شود. نتایج نشان داد که مصرف کودهای آلی به تنهایی نمی‌تواند عملکرد گیاه را به حداکثر مقدار آن برساند ولی با کاربرد تلفیقی کود آلی و شیمیایی با تأمین بهتر عناصر غذایی همراه با بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، بهبود تولید و عرضه مواد پرورده به بلال و در نهایت افزایش میزان عملکرد دانه در واحد سطح فراهم می‌شود. بیش‌ترین میزان عملکرد و عملکرد بیولوژیک در تیمار FIT_2 به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار PRD_2 نداشت. اعمال تیمار PRD_2 هم باعث صرفه‌جویی بیش‌تر در مصرف آب شد و هم این‌که مصرف کود شیمیایی را کاهش داد. بنابراین در مجموع می‌توان کاربرد توأمان شیوه مدیریتی آبیاری بخشی ریشه همراه با اضافه کردن ورمی‌کمپوست به خاک را در راستای سازگاری با معضل کم‌آبی و دستیابی به کشاورزی پایدار توصیه نمود.

منابع

1.Ahmad, R., and Jabeen, N. 2009. Demonstration of growth improvement in sunflower (*Helianthus annuus* L.) by the use of organic fertilizer under saline condition. Pak. J. Bot. 41: 1373-1384.

2.Ahmadi, S.H., Anderson, M.N., Plauborg, F., Poulsen, R.T., Jensen, C.R., Sepaskhah, A.R., and Hansen, S. 2010. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Yield and water productivity. Agricultural Water Management. 97: 1923-1930.

3.Auge, R.M., and Moore, J.L. 2002. Stomatal response to nonhydraulic root-to-shoot communication of partial soil drying in relation to foliar dehydration tolerance. Env. Exp. Bot. 47: 217-229.

4.Bianco, R.L., Talluto, G., and Farina, V. 2011. Effects of partial rootzone drying and rootstock vigour on dry matter partitioning of apple trees (Malus domestica cvar Pink Lady). Agric. Sci J. 150: 75-86.

5.Boz, B. 2001. Validation of the Ceres-Maize Growth Model under Cukurova Region Conditions. Department of Agricultural Structures and Irrigation, Institute of Natural and Applied Sciences, Cukurova University, M.Sc. Thesis, Adana.

6.Bozkurt, Y., Yazar, A., Gencel, B., and Sezen, S.M. 2006. Optimum lateral spacing for drip-irrigated corn in the Mediterranean Region of Turkey. Agricultural Water Management. 85: 113-120.

7.Celik, I., Ortas, I., and Kilic, S. 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. Soil and Tillage Research. 78: 59-67.

8.Davies, W.J., Bacon, M.A., Thompson, D.S., Sobeih, W., and Gonzalez, R.L. 2000. Regulation of leaf and fruit growth on plants in drying soil: exploitation of the plants' chemical signaling system and hydraulic architecture to increase the efficiency of water use in agriculture. J. Exp. Bot. 51: 1617-1626.

9.Davies, W.J., and Hartung, W. 2004. Has extrapolation from biochemistry to crop functioning worked to sustain plantproduction under water scarcity? Proceeding of the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia, Published on CDROM, http://www.cropscience.org.au/icsc2004/.

10.Davies, W.J., and Zhang, J. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 42: 55-76.

11.Doan, T.T., Henry-des-Tureaux, T., Rumpel, C., Janeau, J.L., and Jouquet, P. 2015. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam; a three year mesocosm experiment. Science of the Total Environment. 514: 147-154.

12.Donald, C.M., and Hamblin, J. 1976. The biological yield and harvest index of cereal as agronomic and plant breeding criteria. Adv. Agron. 28: 361-405.

13.De Souza, C.R., Maroco, J.P., dos Santos, T.P., Rodrigues, M.L., Lopes, C.M., Pereira, J.S., and Chaves, M.M. 2003. Partial root zone drying: regulation of stomatal aperture and carbon assimilation in field grown grapevines (Vitis vinifera cv. Moscatel). Funct Plant Biol. 30: 653-662.

14.Dos Santos, T.P., Lopes, C.M., Rodrigues, M.L., de Souza, C.R., Maroco, J.P., Pereira, J.S., Silva, J.R., and Chaves, M.M. 2003. Partial root zone drying: effects on fruit growth and quality of field grown grapevines (Vitis vinifera). Funct Plant Biol. 30: 663-671.

15.Edwards, L.M., Burney, J.R., Richter, G., and Mac Rae, A.H. 2000. Evaluation of compost and straw mulching on soil-loss characteristics in erosion plots of potatoes in Prince Edward Island. Agric. Ecosyst. Environ. 81: 217-222.

16.Gianquinto, G., Sambo, P., and bona, S. 2003. The use of SPAD-502 chlorophyll meter for dynamically optimizing the nitrogen supply in potato crop: a methodological approach. Acta Horticulturae. 627: 225-230.

17.Gollan, T., Schurr, U., and Schulze, E.D. 1992. Stomatal response to drying soil in relation to changes in the xylem sap composition of Helianthus annuus. I. The concentration of cations, anions, amino acids in and pH of the xylem sap. Plant Cell Environ. 15: 551-559.

18.Joshi, R., and Palvig, A. 2010. Effect of vermicompost on growth, yield and quality of tomato (*Lycopersicum esculentum* L). Afric. J. Bas. Appl. Sci. 2: 3-4. 117-123.
19.Kang, S., and Zhang, J. 2004. Controlled alternate partial root- Zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. Experimental Botany. 55: 2437-2446.
20.Kang, S., Zhang, L., Hu, X., Li, Z., and Jerie, P. 2001. An improved water use efficiency for hot pepper grown under controlled alternate drip irrigation on partial roots. Scientia Horticulturae. 89: 257-267.
21.KaranDIT1h, F., Mirlatifi, S.M., Shahnazari, A., Abbasi, F., and Gheysari, M. 2013. Effect of partial root-zone drying (PRD) and deficit irrigation on water use efficiency, yield, yield components in maize. Iran. J. Soil Water Res. 44: 1. 33-44. (In Persian)
22.KaranDIT1h, F., Mirlatifi, S.M., Shahnazari, A., Gheysari, M., and Abbasi, F. 2012. Effect of partial root-zone drying (PRD) and deficit irrigation on Nitrogen uptake and leaching in maize. Water and Irrigation Management. 2: 2. 85-91. (In Persian)
23.Lazcano, C., Arnold, J., Tato, A., Zaller, J.G., and Domínguez, J. 2009. Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. Span. J. Agric. Res. 7: 4. 944-951.
24.Li, F., Yu, J., Nong, M., Kang, S., and Zhang, J. 2010. Partial root-zone irrigation enhanced soil enzyme activities and water use of maize under different ratios of inorganic to organic nitrogen fertilizers. Agricultural Water Management. 97: 231-239.
25.Liu, F., Savic, S., Jensen, C.R., Shahnazari, A., Jacobsen, S.E., Stikic, R., and Andersen, M.N. 2007. Water relations and yield of lysimeter-grown strawberries under limited irrigation. Scientia Horticulturae. 111: 128-132.
26.Ludlow, M.M., and Muchow, R.C. 1990. A critical evaluations of traits for improving crop yield in waterlimited environment. Adv. Agron. 43: 107-153.
27.Madeh Khaksar, A., Naderi, A., Ayeneh Band, A., and Lack, Sh. 2014. Simultaneous effect of deficit irrigation and irrigation-off on physiological traits related with yield of maize S.C 704. J. Crop Prod. Res. 6: 1. 63-79. (In Persian)
28.Maheshbabu, H.M., Hunje, R., Biradarpatil, N.K., and Babalad, H.B. 2008. Effect of organic manures on plant growth, seed yield and quality of soybean. Karnataka J. Agric. Sci. 21: 2. 219-221.
29.Majidian, M., Ghalavand, A., Karimian, N., and Kamgar Haghighi, A.A. 2008. Effect of drought stress, nitrogen fertilizer and manure on grain yield, yield components and water use efficiency in grain maize cv. SC 704. Agriculture and Natural Resources Science and Technology. 12: 45. 417-432. (In Persian)
30.Maleki Farahani, S., and chaichi, M.R. 2012. Application of biological and integrated fertilizers mitigates the adverse effects of drought stress on barley. Inter. Res. J. Appl. Bas. Sci. 3: 7. 1508-1519.
31.Mazaheri Laghab, H., Noori, F., Zare Abyaneh, H., and Vafaii, M.H. 2001. Effect of supplemental irrigation on agronomic traits of three sunflower cultivars in dry farming. Agricultural Research magazine. 3: 1. 33-43.
32.Munne, S., and Alegre, L. 1999. Role of dew on the recovery of water stressed *Melissa officinallis* L. J. Plant Physiol. 154: 5. 759-766.
33.Nautiyal, P.C., Rachaputi, N.R., and Joshi, Y.C. 2002. Moisture deficit –induced changes in leaf water content, leaf carbon exchange rate and biomass production in groundnut cultivars differing in specific leaf area. Field crop Research. 74: 67-79.
34.Porter, G.A., Opena, G.B., Bradbury, W.B., McBurnie, J.C., and Sisson, J.A. 1999. Soil management and supplemental irrigation effects on potato: I. Soil properties, tuber yield and quality. Agron. J. 91: 416-425.
35.Razi, H., and Assad, M.T. 1999. Comparison of selection criteria in normal and limited irrigation in sunflower. Euphytica. 105: 83-90.

36. Rodriguez, I.R., and Grady, L.M. 2000. Using a Chlorophyll Meter to Determine the Chlorophyll Concentration, Nitrogen Concentration and Visual Quality of St. Augustine grass. Horticultural Science. 35: 751-754.
37. Sanchez-Rodrıguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., Romero, L., and Ruiz, J.M. 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. Plant Science. 178: 30-40.
38. Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carver, B., and Morhinweg, D.W. 1988. Water relation in winter wheat as drought resistance indicator. Crop Science. 28: 526-531.
39. Sepehri, A., Modareres Sanavi, S.A., Gharehyazi, B., and Yamini, Y. 2002. Effect of water deficit and different nitrogen rates on growth and development stages, yield and yield component of maize. Crop Sciences. 4: 3. 184-201. (In Persian)
40. Sezen, S.M., Yazar, A., Kapur, B., and Kapur, S. 2011. Comparison of drip and sprinkler irrigation strategies on sunflower seed and oil yield and quality under Mediterranean climatic conditions. Agricultural Water Management. 98: 1153-1161.
41. Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E., and Jensen, C.R. 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. Field Crops Research. 100: 117-124.
42. Singh, R., Singh, R., Soni, S.K., Singh, S.P., Chauhan, U.K., and Kalra, A. 2013. Vermicompost from biodegraded DIT1tillation waste improves soil properties and essential oil yield of Pogostemon cablin (patchouli) Benth. Applied Soil Ecology. 70: 48-56.
43. Sohrabi Yourtchi, M., Haj Seyyed Hadi, M., and Darzi, M.T. 2013. Effect of nitrogen fertilizer and vermicompost on vegetative growth, yield and NPK uptake by tuber of potato (Agria CV.). Intl. J. Agri. Crop Sci. 5: 18. 2033-2040.
44. Sujatha, M.G., Lingaraju, B.S., Palled, Y.B., and Ashalatha, K.V. 2008. Importance of integrated nutrient management practices in maize under rain fed condition. Karnataka J. Agri. Sci. 21: 334-338.
45. Tesfaye, G.S., Ismail, M.R., Kausar, H., Marziah, M., and Ramlan, M.F. 2013. Plant water relations, crop yield and quality in coffee (*Coffea arabica* L.) as influenced by partial root zone drying and deficit irrigation. Austr. J. Crop Sci. 7: 9. 1361-1368.
46. Thompson, D.S., Wilkinson, S., Bacon, M.A., and Davies, W.J. 1997. Multiple signals and mechanisms that regulate leaf growth and stomatal behavior during water deficit. Physiol Planta. 100: 303-313.
47. Tomati, U., Grappelli, A., and Galli, E. 1983. Fertility factors in earthworm humus. In Proceedings of the International Symposium on Agricultural Environment. Prospects in Earthworm Farming. Publication Ministero Della Ricerca Scientifica e Technologia, Rome, Pp: 49-56.
48. Tomati, U., Grappelli, A., and Gall, E. 1987. The hormone-like effect of earthworm castson plant growth. Biology and Fertility of Soils. 5: 288-294.
49. Topcu, S., Kirda, C., Dasgan, Y., Kaman, H., Cetin, M., Yazici, A., and Bacon, M.A. 2007. Yield response and N-fertiliser recovery of tomato grown under deficit irrigation. Europ. J. Agron. 26: 64-70.
50. Wang, Z., Liu, F., kang, S., and Jensen, R.C. 2012. Alternate partial root-zone drying irrigation improves nitrogen nutrition in maize (*Zea mays* L.) leaves. Environmental and Experimental Botany. 75: 36-40.
51. Yactayo, W., Ramírez, D.A., Gutiérrez, R., and Mares, V. 2013. Effect of partial root-zone drying irrigation timing on potato tuber yield and water use efficiency. Agricultural Water Management. 123: 65-70.
52. Yazar, A., Gokcel, F., and Sezen, M.S. 2009. Corn yield response to partial root zone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. Plant and soil environ. 55: 11. 494-503.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(5), 2018
http://jwsc.gau.ac.ir

Evaluation of simultaneous effect of partial root zone drying and vermicompost on some physiological characteristics of maize (*Zea mays* L.) SC704

S. Azizpour[1], *A. Shahnazari[2], M.Kh. Ziatabar Ahmadi[3] and F. Karandish[4]

[1]Ph.D. Student, Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, [2]Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, [3]Professor, Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, [4]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Zabol

Received: 03/13/2017; Accepted: 12/30/2017

Abstract

Background and Objectives: Using soil moisture storage techniques, simultaneously with irrigation management practices play an important role in coping with the problem of water shortage and water crisis. Therefore, the aim of this study was to evaluate the simultaneous effect of partial root zone drying and vermicompost on the water use, yield, biological yield, harvest index and leaf relative water content (RWC) of maize in Sari.

Materials and Methods: The experiment was arranged in split plots based on complete randomized block with 3 replications were carried out during years 2015 to 2016. The experiment treatments were full irrigation and chemical fertilizer (FIT_1) as control treatments, full irrigation and 50% chemical fertilizer+ 5.5 tons per ha of vermicompost (FIT_2), full irrigation and 11 tons per ha of vermicompost (FIT_3), deficit irrigation and chemical fertilizer (DIT_1), deficit irrigation and 50% chemical fertilizer+ 5.5 tons per ha of vermicompost (DIT_2), deficit irrigation and 11 tons per ha of vermicompost (DIT_3), partial root zone drying irrigation and chemical fertilizer (PRD_1), partial root zone drying irrigation and 50% chemical fertilizer+ 5.5 tons per ha of vermicompost (PRD_2), partial root zone drying irrigation and 11 tons per ha of vermicompost (PRD3); while in DI and PRD 65% water of FI was irrigated. TDR access tubes were installed in the soil profile to measure soil water content.

Results: The results showed that the effect of irrigation treatments was significant on all physiological parameters considered in this study. The effect of fertilizer treatments was significant on all parameters except of RWC. The highest yield was recorded in FIT_2 treatment, equal with 8 and 8.2 tons per ha in 2015 and 2016, respectively. The PRD treatments was caused to significant increase in yield, biological yield and RWC compared with the DI treatment. The use of vermicompost in combination with chemical fertilizer increased yield, biological yield and harvest index. Vermicompost increased RWC was compared to chemical fertilizer.

Conclusion: Simultaneous use of PRD and vermicompost was saved more water (26.3%) than using them separately. Compared with FIT_2 treatment was no significant difference in the values of yield and other physiological parameters of maize. Therefore, PRD_2 is recommended to compatibility with the problem of water shortage.

Keywords: Yield, Harvest index, Leaf relative water content

* Corresponding Author; Email: aliponh@yahoo.com