نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد یازدهم، شماره سوم، پاییز ۹۷
۱-۱٤
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2019.10549.1827

اثر کاربرد کود بیولوژیک بر رشد و عملکرد ارزن پروسو (*Panicum miliaceum*) در شرایط شور

منصور سالکی[۱]، *اصغر رحیمی[۲]، بنیامین ترابی[۳]، عبدالرضا اخگر[۴] و امیر دادرسی[۵]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه زراعت، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، [۲]دانشیار گروه زراعت، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، [۳]دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [٤]دانشیار گروه خاک‌شناسی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، [۵]دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۱۱/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٦/۲/۲۰

چکیده

سابقه و هدف: ارزن یکی از غلات سنتی در نواحی خشک و نیمه خشک مناطق گرمسیری محسوب می‌شود که از تحمل بالایی نسبت به تنش خشکی و شوری برخوردار است. شوری یکی از مهمترین تنش‌های غیر زنده است، کاهش اثرات محدود کننده تنش شوری، تأثیر مثبتی بر تولید محصولات کشاورزی دارد. مواد هیومیکی به‌عنوان مهم‌ترین و پایدارترین بخش ماده آلـی به‌طـور مستقیم روی رهاسازی عناصر غذایی، ظرفیت تبادل کاتیونی، آزادسازی فسفر و مهار فلزات سنگین و سمی نقش اساسی دارند. ورمی‌کمپوست، نوعی کمپوست تولید شده به کمک کرم‌های خاکی است که در نتیجه تغییر و تحول و هضم بازمانده‌های آلی، ضمن عبور از دستگاه گوارشی این جانوران بوجود می‌آید. هدف از اجرای این تحقیق عبارتند از مقایسه تأثیر کود هیومیک گرانوله و ورمی‌کمپوست در افزایش عملکرد ارزن پروسو در شرایط شوری و بررسی تأثیر کاربرد کود اسیدهیومیک گرانوله و ورمی‌کمپوست در کاهش اثرات شوری خاک بود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثر کاربرد کودهای آلی از قبیل کودهای هیومیک و ورمی‌کمپوست در بهبود شرایط خاک و اصلاح خاک‌های شور و همچنین کاهش یا حذف تدیجی مصرف کودهای شیمیایی، آزمایش گلدانی در شهر یزد صورت گرفت. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در ٤ تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل شوری (۱ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر)، کود اسید هیومیک (صفر، ۲ و ٤ درصد وزنی) و کود ورمی‌کمپوست (صفر، ۵ و ۱۰ درصد وزنی) بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد وزن خشک بوته تحت تأثیر درصد اسید هیومیک و ورمی‌کمپوست قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده کلروفیل تنها تحت تأثیر اسیدهیومیک قرار گرفت و سطح برگ تنها تحت تأثیر ورمی‌کمپوست قرار گرفت. در این آزمایش اثرات متقابل بین ورمی‌کمپوست، شوری و اسیدهیومیک بر ارتفاع بوته، عملکرد دانه، معنی‌دار بود. مطابق نتایج به‌دست آمده مصرف ورمی‌کمپوست باعث افزایش وزن خشک بوته شد و بیشترین وزن خشک بوته با مصرف ۲ درصد اسید هیومیک به‌دست آمد. بنابراین به‌نظر میرسد با کاربرد کودهای آلی می‌توان اثرات سوء ناشی از تنش شوری را تعدیل نموده و گیاهان نسبتاً مقاوم به شوری را بدون کاهش معنی‌دار عملکرد کشت نمود.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، اسیدهیومیک و ورمی‌کمپوست باعث افزایش برخی از ویژگی‌های رشدی در ارزن شد. اثر متقابل بین اسیدهیومیک و ورمی‌کمپوست بر شاخص میزان کلروفیل، وزن خشک

*مسئول مکاتبه: Rahimiasg@gmail.com

بوته و عملکرد دانه، اثر معنی‌دار داشت. همچنین با اعمال تیمار شوری کمترین میزان عملکرد دانه به‌دست آمد که این امر تأثیر منفی شوری را بر گیاه نشان می‌دهد. هم‌زمان با کاربرد تیمار شوری در داخل خاک یون سدیم، فاز تبادلی برخی از کاتیون‌ها را اشغال کرده و غلظت آن‌ها را در محلول خاک افزایش داد که منجر به دسترسی آسان‌تر و جذب بیشتر آن‌ها توسط گیاه گردید. بنابراین می‌توان از کودهای بیولوژیک به‌منظور کاهش اثرات ناشی از تنش شوری استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: ارزن پرسو، اسید هیومیک، تنش شوری، ورمی‌کمپوست

مقدمه

یکی از عمده‌ترین تنش‌های محیطی که اغلب گیاهان با آن مواجه هستند تنش شوری می‌باشد. شوری به معنی اضافه شدن نمک‌هایی مثل سدیم کلرید، سدیم سولفات و ... به خاک یا آب است (۹). تنش شوری موجب تغییرات شیمیایی، فیزیولوژیک و مورفولوژیک متعددی در گیاهان می‌شود. این تنش رشد، فتوسنتز، سنتز پروتئین، متابولیسم لیپیدها، تنفس و تولید انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۸). گیاهان مکانیسم‌های متفاوتی برای مقاومت در برابر تنش شوری دارند که شامل تنظیم میزان سدیم ورودی به اندام هوایی، ترشح و دفع نمک در سطح برگ، تغییر در هورمون گیاهی و القای سنتز برخی پروتئین‌هاست (۱۳، ۱۲). در حال حاضر از ترکیباتی استفاده می‌شود که مقاومت گیاهان را به تنش‌های محیطی افزایش داده، موجب بهبود فعالیت‌های متابولیکی گیاه می‌شوند. همچنین با توجه به گستردگی اراضی شور در کشور، وجود حجم بسیار قابل ملاحظه از منابع آب شور، گستردگی اقلیم خشک در کشور، اثرات نامناسب تغییر اقلیم آینده ایران، افزایش جمعیت و معضلات اقتصادی-اجتماعی متعدد در جوامع ساکن در این مناطق، موفقیت برنامه‌های فقرزدایی کشور نیازمند توجه به رویکردها و فن‌آوری‌های جدیدی است که توام با کشاورزی رایج، استفاده پایدار از این منابع را نیز میسر کند. به‌منظور حفظ و ارتقاء امنیت غذایی کشور تولید محصولات با کشت گیاهانی که دارای ویژگی‌هایی از قبیل نیاز آبی کم، تولید ماده آلی (زیست توده) قابل ملاحظه، متحمل به تنش شوری، متحمل به سایر تنش‌های محیطی مانند خشکی و ماندابی بودن خاک‌ها ضروری است.

ارزن یکی از غلات سنتی در نواحی خشک و نیمه خشک مناطق گرمسیری محسوب می‌شود، که از تحمل بالایی نسبت به تنش خشکی و شوری برخوردار است. ارزن‌ها در بین غلات پس از گندم، برنج، ذرت، جو و سورگوم در رتبه ششم اهمیت قرار دارد. علی‌رغم اهمیت زراعی ارزن در زمان‌های گذشته و نیز جایگاه ویژه آن‌ها در کشاورزی سنتی، در رابطه با اثرات تنش خشکی و شوری بر عملکرد و اجزاء عملکرد و همچنین صفات مرفولوژیک و فیزیولوژیک مؤثر در عملکرد این گیاهان، تحقیقات اندکی صورت گرفته است. در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک که قسمت عمده کشور ایران را شامل می‌شوند، عدم وجود پوشش گیاهی کافی و مناسب موجب کاهش بازگشت بقایای گیاهی به خاک و در نتیجه کمبود مواد آلی گردیده است. مواد هیومیکی به‌عنوان مهم‌ترین و پایدارترین بخش ماده آلی به‌طور مستقیم روی رهاسازی عناصر غذایی، ظرفیت تبادل کاتیونی، آزادسازی فسفر و مهار فلزات سنگین و سمی نقش اساسی دارند. مواد هیومیکی نتیجه تجزیه مواد آلی بوده، ترکیبات آلی طبیعی هستند که ۵۰ تا ۹۰ درصد از ماده آلی پیت، لیگنیت‌ها، ساپروپل‌ها (نوعی لجن قهوه‌ای یا تیره رنگ با منشاء گیاهی یا جانوری) و مواد آلی غیرزنده

اکوسیستم‌های خاک و آب را تشکیل می‌دهند (۱۱). یکی دیگر از مواد آلی مؤثر در بهبود کیفیت خاک، ورمی‌کمپوست می‌باشد. رشد فزاینده جمعیت و الگوی زندگی مصرفی، تولید مقادیر بسیار زیادی از پسماندهای جامد را به دنبال دارد. دفع پسماندهای جامد در شهرها، به‌دلیل کمبود محل دفن و قوانین زیست محیطی، مشکل‌ساز است. بنابراین محققان به دنبال مدیریت دیگری هستند که از لحاظ اکولوژیکی و اقتصادی مناسب‌تر باشد (۳). ورمی‌کمپوست در واقع نوعی کمپوست تولید شده به کمک کرم‌های خاکی است که در نتیجه تغییر و تحول و هضم بازمانده‌های آلی، ضمن عبور از دستگاه گوارشی این جانوران به‌وجود می‌آید. بنابراین ورمی‌کمپوست، مجموعه‌ای از فضولات کرم به همراه مواد آلی تجزیه شده و نیز اجساد کرم‌ها بوده که برای گیاه ارزش غذائی فراوانی دارد. این کود حاوی آنزیم‌هایی از قبیل پروتئاز، لیپاز، آمیلاز، سلولاز، لیگناز و کیتیناز می‌باشد. علاوه بر این‌که از نظر ویتامین‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها و هورمون‌های رشد ماده‌ای غنی می‌باشد، همچنین عاری از عوامل بیماری‌زا نیز می‌باشد. لذا با توجه به گزارش اثرات مثبت کاربرد کودهای آلی از قبیل کودهای هیومیکی و ورمی‌کمپوست در بهبود شرایط خاک و اصلاح خاک‌های شور، جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی، ضروری است سطوح مناسب کودهای آلی یا ترکیب آن‌ها در شدت‌های مختلف شوری بررسی شود. به ویژه در رقم ارزن پروسو که اخیرا در تحقیق انجام شده به‌عنوان رقم متحمل به شوری معرفی شده است (۸). بدیهی است استفاده از روش‌های به‌زراعی نوین از جمله کاربرد کود اسیدهیومیک و ورمی‌کمپوست، نیز ممکن است بتواند با کاهش شوری خاک و افزایش تحمل ارزن پروسو به شوری، عملکرد آن را افزایش دهد. شوری سبب بروز تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی در گیاهان می‌شود. ضمن این که تحمل به شوری در گیاهان ویژگی پایداری نبوده و ممکن است در مراحل مختلف رشد هر گونه متفاوت باشد (۱۹). در آزمایشی ارزن معمولی یا پروسو نسبت به ارزن مرواریدی ودم روباهی به تنش شوری متحمل‌تر نشان داده است (۸). بنابراین هدف از اجرای این تحقیق شامل مقایسه تأثیر کود هیومیک گرانوله و ورمی‌کمپوست در افزایش عملکرد ارزن پروسو بر شرایط شوری و بررسی تأثیر کاربرد کود اسید هیومیک گرانوله و ورمی‌کمپوست در کاهش اثرات شوری خاک بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر کاربرد کودهای آلی از قبیل کودهای هیومیکی و ورمی‌کمپوست در بهبود شرایط خاک و اصلاح خاک‌های شور و همچنین کاهش یا حذف تدریجی مصرف کودهای شیمیایی، آزمایش گلدانی در خرداد سال ۱۳۹۳ در شهر یزد روی ارزن پروسو (ارزن معمولی) انجام شد. این تحقیق به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک کاملا تصادفی در چهار تکرار در تاریخ ۱۳۹۳/۰۳/۰۳ انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل دو سطح شوری (۱ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر)، سه سطح فاکتور اسیدهیومیک (۰، ۲ و ٤ درصد وزنی) (کود اسیدهیومیک مصرف شده در این تحقیق محصول تجاری شرکت گلسنگ کویر یزد با نام تجاری پارس هیومیک می‌باشد) و سه سطح فاکتور ورمی‌کمپوست (۰، ۵ و ۱۰ درصد وزنی) بودند. مقدار ۱۰ کیلوگرم خاک تهیه شده از منطقه با بافت لومی شنی را با سطوح موردنظر کود اسید هیومیک و ورمی‌کمپوست مخلوط سپس به داخل گلدان‌های پلاستیکی انتقال داده شدند. بستر کشت خاک با بافت لومی شنی و قابلیت هدایت الکتریکی ۱۱/۰۸ دسی‌زیمنس بر متر و کود ورمی‌کمپوست و اسید هیومیک بود. پس از تعیین درصدهای مختلف وزنی اسید هیومیک و

ورمی‌کمپوست با توجه به وزن گلدان، ورمی‌کمپوست و اسید هیومیک با خاک مخلوط و در گلدان‌هایی به ارتفاع ۱۹ سانتی‌متر و قطر ۲۳ سانتی‌متر با وزن یکسان ۱۰ کیلوگرم ریخته شد. به منظور جلوگیری از تجمع نمک در گلدان‌ها چهار سوراخ در ته گلدان‌ها به عنوان زه‌کش تعبیه شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 1. Physical and Chemical characteristics of soil.

بافت خاک (لومی شنی) Soil texture (sandy loam)			آهک (درصد) Lime (%)	ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	نسبت سدیم قابل جذب SAR	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC $dS.m^{-1}$
شن درصد Sand (%)	سیلت درصد Silt (%)	رس درصد Clay (%)				
73.5	12	14.5	30.7	0.12	9.88	11.08

پتاسیم (قسمت در میلیون) K (ppm)	فسفر (قسمت در میلیون) P (ppm)	سولفات SO_4	HCO_3	کلر CL	منیزیم Mg	کلسیم Ca	سدیم Na	پتاسیم K (%)	نیتروژن N (%)
		میلی‌اکی‌والان در لیتر meq/lit							
144	8.02	45.4	1.75	76.8	15.7	50.2	56.7	1.42	0.01

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی اسیدهیومیک.

Table 2. Chemical characteristics of humic acid.

کلر (میلی اکی والان در لیتر) Humic substance	پتاسیم اکسید K_2O (%)	فسفر پنتا اکسید P_2O_5 (%)	نسبت کربن به نیتروژن C/N	نیتروژن N (%)	کربن آلی O.C (%)	ماده آلی O.M (%)	اسیدیته pH 1/5DW	هدایت (دسی‌زیمنس بر متر) EC dS/m	مس Cu (ppm)	منگنز Mn (ppm)	روی (Zn ppm)	آهن Fe (ppm)
60	0.029	0.32	37	2-1	37.7	75	5-4	1.2	70	86	100	1000

توضیح: آنالیز اسید هیومیک به روش کالریمتریک انجام شده است.

جدول ۳- ویژگی‌های شیمیایی ورمی‌کمپوست.

Table 3. Chemical characteristics of vermicompost.

کلر (میلی اکی والان در لیتر) CL meq/lit	پتاسیم اکسید K_2O (%)	فسفر پنتا اکسید P_2O_5 (%)	نسبت کربن به نیتروژن C/N	نیتروژن N (%)	کربن آلی O.C (%)	ماده آلی O.M (%)	اسیدیته pH 1/5DW	هدایت (دسی‌زیمنس بر متر) EC dS/m	مس Cu (ppm)	منگنز Mn (ppm)	روی Zn (ppm)	آهن Fe (ppm)
15.5	0.7	0.61	15	2	25	55	7.5	9	50	275	110	5000

پس از آماده‌سازی گلدان‌ها (ابعاد گلدان‌ها ۲۵*۲۵ با گنجایش ۱۰ کیلوگرم خاک) در هر گلدان ۱۰ عدد بذر ارزن در عمق ۲ سانتی‌متری کاشته شد. گلدان‌ها از مرحله کاشت تا ٤ برگی با آب معمولی (شرب) با هدایت الکتریکی ۱ دسی زیمنس بر متر به‌صورت یک روز در میان آبیاری شدند. ۲ هفته پس از استقرار، عملیات تنک کردن صورت گرفت و تعداد بوته‌ها به ۵ بوته در گلدان کاهش یافتند. جهت اعمال تیمار

شوری از نمک کلرید سدیم استفاده شد. پس از سبز شدن کامل و استقرار گیاه در مرحله ٤ برگی تیمار شوری انجام شد. اعمال تیمار شوری به‌منظور جلوگیری از تنش اکسیداتیو تدریجی بوده و طی سه مرحله به شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر رسید. جهت جبران کمبود موادغذایی تیمار شاهد، محلول کودی حاوی ۲۰-۲۰-۲۰ درصد عناصر N, P, K و عناصر میکرو شامل آهن، روی، مس، منگنز و بور به مقدار ۱۰۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰، ۵۰۰ و ۲۰۰ قسمت در میلیون و کود نیترات کلسیم حاوی ۱۹ درصد نیتروژن و ۲۵ درصد کلسیم با غلظت‌های ۱ و ۰/۳ در هزار تهیه و به‌دلیل سبک بودن بافت خاک و جهت جلوگیری از آبشویی کوددهی طی سه نوبت به تمام گلدان‌ها داده شد. ۵۰ روز بعد از اعمال تنش شوری، از هر گلدان ۳ بوته کف‌بر گردید و صفات مورفولوژیک و عملکرد دانه اندازه‌گیری شدند. به‌منظور محاسبه وزن خشک بوته هر تیمار، بوته‌ها را پس از برداشت در پاکت‌های جداگانه قرار داده و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ٤٨ ساعت در آون قرار داده و در نهایت مقدار وزن خشک هر بوته و وزن دانه به‌دست آمد. جهت اندازه‌گیری شاخص میزان کلروفیل (عدد اسپد) در زمان گلدهی با دستگاه Spadmeter دستی از برگ‌های بالایی هر بوته (از هر تیمار ۳ گیاه و از هر گیاه ۵ برگ) اندازه‌گیری شده و میانگین آنها لحاظ گردید. در این آزمایش، تمام محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. قبل از تجزیه واریانس تست نرمال توسط روش Minitab14 انجام شد. در مرحله نخست تجزیه واریانس جهت صفات اندازه‌گیری شده انجام و پس از آن مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیک

شاخص میزان کلروفیل: با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس شاخص میزان کلروفیل برگ تنها تحت تأثیر اسیدهیومیک قرار گرفته و سایر اثرات اصلی و متقابل تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشته‌اند (جدول ٤). نتایج مقـایسه میانگین نشان داد با افزایش سطح اسیدهیومیک شاخص میزان کلروفیل برگ افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد اسیدهیومیک با توان دسترسی بیشتر گیاه به آهن توانسته محتوی کلروفیل برگ این گیاه را افزایش دهد و با توجه به این‌که اسیدهیومیک توان کلات کردن عناصر غذایی دارد، کاربرد آن در افزایش محتوی کلروفیل مؤثر بوده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود. بیشترین شاخص میزان کلروفیل برگ با مصرف ٤ درصد وزنی اسیدهیومیک به‌دست آمد که با مصرف ۲ درصد وزنی اسیدهیومیک اختلاف معنی‌داری نداشت. در این رابطه مصرف ورمی‌کمپوست بر کلروفیل برگ تأثیری نداشت. در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت که مصرف تنها ۲ درصد وزنی اسیدهیومیک می‌تواند محتوی کلروفیل برگ را به‌طور قابل توجهی افزایش دهد. در همین ارتباط کولیکوا و همکاران (۲۰۰۵) افزایش محتوی کلروفیل و بازده فتوسنتزی بوته گوجه فرنگی و گندم را با مصرف اسیدهیومیک مشاهده کردند و دلیل آن را ناشی از افزایش فراهمی عناصرغذایی به ویژه آهن و همچنین تاثیر مستقیم آنها بر فتوسنتز و حمایت‌شان از جریان انتقال الکترون دانستند (۱۱). خورمیزی و همکاران (۲۰۱۰) با مصرف ورمی‌کمپوست در شرایط شور مشاهده کردند ورمی‌کمپوست اثرات منفی تنش شوری بر سیستم فتوسنتزی گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) را محدود نمود. در این رابطه ساختار متخلخل، ظرفیت

نگه‌داری آب بالا، دارا بودن مواد شبه هورمونی و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و همچنین وجود مقادیر بالای عناصر ماکرو و میکرو را در بهبود شرایط تنش‌های محیطی از جمله شوری موثر می‌دانند (۱۰). هرچند در این آزمایش چنین نتیجه‌ای مشاهده نشد که ممکن است ناشی از شرایط آزمایش، نوع ورمی‌کمپوست یا مقدار مصرف باشد. گزارش شده ورمی‌کمپوست غنی از مواد مغذی میکرو و مواد هیومیکی می‌باشد که باعث بهبود زیست فراهمی عناصری مانند آهن و روی می‌شود که این عناصر در سنتز کلروفیل نقش اساسی دارند (۲۲، ۲۳). شیرو و همکاران (۲۰۰۲) مقدار کلروفیل برگ برنج را با میزان سدیم تجمع یافته در برگ متناسب دانستند (۲۱).

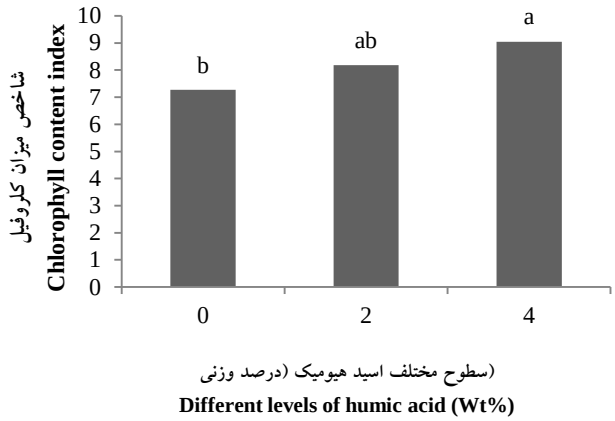
جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر سطوح مختلف اسیدهیومیک و ورمی‌کمپوست در شرایط شور و غیر شور بر صفات مرفولوژیکی و عملکرد دانه.

Table 4. Analysis of variance (mean square) effect of different levels of vermicompost and humic acid in saline non-saline conditions on morphological traits and grain yield.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	شاخص میزان کلروفیل Chlorophyll content index	سطح برگ Leaf area	تعداد پنجه Number of tillers	ارتفاع بوته Height plant	وزن خشک بوته Plant dry weight	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
شوری Salinity	1	0.60^{ns}	32938^{ns}	1.12^{ns}	1.12^{ns}	183.00^{ns}	27.76*	4.40^{ns}
اسیدهیومیک Humic acid	2	19.00*	40348^{ns}	0.01^{ns}	18.00^{ns}	712.00**	41.02**	4.53^{ns}
ورمی‌کمپوست Vermicompost	2	4.66^{ns}	210437**	1.84^{ns}	46.00^{ns}	879.00**	8.04^{ns}	16.10^{ns}
شوری ×اسیدهیومیک Salinity*Acid humic	2	13.98^{ns}	48893^{ns}	0.29^{ns}	43.00^{ns}	17.00^{ns}	18.37*	19.77^{ns}
شوری×ورمی‌کمپوست Salinity*Vermicompost	2	0.93^{ns}	17853^{ns}	0.04^{ns}	328**	86.00^{ns}	27.51*	1.68^{ns}
هیومیک×ورمی Humic acid * Vermi	4	5.32^{ns}	8717^{ns}	0.82^{ns}	24.00^{ns}	174.00^{ns}	14.93*	10.42^{ns}
شوری×هیومیک×ورمی Salinity* humic acid *Vermi	4	2.60^{ns}	14270.00^{ns}	0.64^{ns}	3.89^{ns}	83.00^{ns}	4.17^{ns}	14.29^{ns}
خطا Error	51	5.37	21529.00	1.62	59.00	104.53	5.75	23.30
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)	-	28.30	24.86	28.00	9.90	21.760	21.48	20.44

ns، ** و * به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح ۵ درصد و معنی‌داری در سطح ۱ درصد می‌باشد.

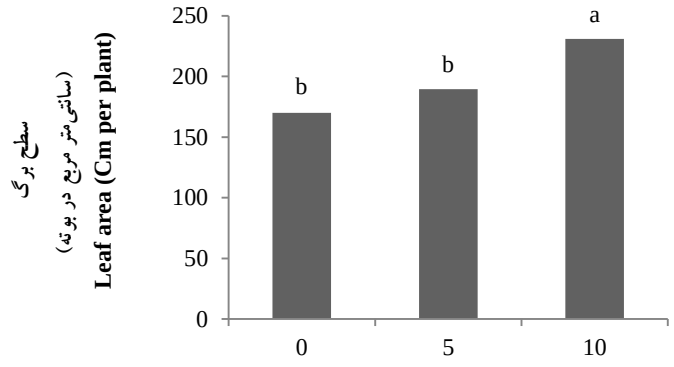
Ns, ** and * indicates not significant at 5% probability level, significant at 1 and 5 % probability level, respectively



شکل ۱- تأثیر سطوح مختلف تیمار اسیدهیومیک بر شاخص میزان کلروفیل برگ.

Figure 1. Effect of humic acid treatment on leaf chlorophyll content index.

سطح برگ در بوته: جدول تجزیه واریانس صفات نشان داد که تنها مصرف سطوح مختلف ورمی‌کمپوست برای سطح برگ بوته ارزن در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد و سایر اثرات اصلی و متقابل تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش سطح ورمی‌کمپوست میزان سطح برگ بوته ارزن افزایش می‌یابد که البته این افزایش تنها در تیمار ۱۰ درصد وزنی مشاهده گردید. به نظر می‌رسد حد آستانه جهت تأثیر ورمی کمپوست از ۱۰ درصد وزنی شروع می‌شود (جدول ٤). این امر بیانگر آن است که ورمی‌کمپوست توانایی بهبود شرایط تنش و افزایش فراهمی عناصر را که نقش موثری در افزایش کارایی فیزیولوژیک و رشد گیاه دارند، دارا است. تیمار شوری اگرچه تأثیر معنی‌داری بر سطح برگ نداشت؛ اما مقدار جزئی سطح برگ را در شرایط شور افزایش داد که احتمالا بیان‌کننده تحمل بالای ارزن پروسو به شوری می‌باشد. اسیدهیومیک نیز تأثیر معنی‌داری بر سطح برگ نداشت؛ در این رابطه سالاکو و همکاران (۲۰۰۹) با کاربرد ورمی‌کمپوست افزایش مقاومت به شوری را مشاهده کردند و علت آن را انباشت کمتر Na و Cl در برگ گیاهچه‌های خیار (*Cucmis sativus* L.) و افزایش فراهمی عنصر K دانستند (۲۰). همچنین آرانکون و همکاران (۲۰۰٤) علت افزایش سطح برگ توت‌فرنگی (*Fragariax ananassa Duch*) در حضور ورمی‌کمپوست را به افزایش جمعیت میکروبی خاک نسبت دادند (۲). همان‌طور که در شکل (۲) دیده شد بیشترین میزان سطح برگ گیاه ارزن با مصرف ۱۰ درصد وزنی ورمی‌کمپوست به‌دست آمد و مصرف ۵ درصد وزنی ورمی‌کمپوست با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت مصرف سطوح ورمی‌کمپوست در افزایش سطح برگ و بهبود شرایط رشد گیاه ارزن به‌طور معنی‌داری مؤثر می‌باشد.



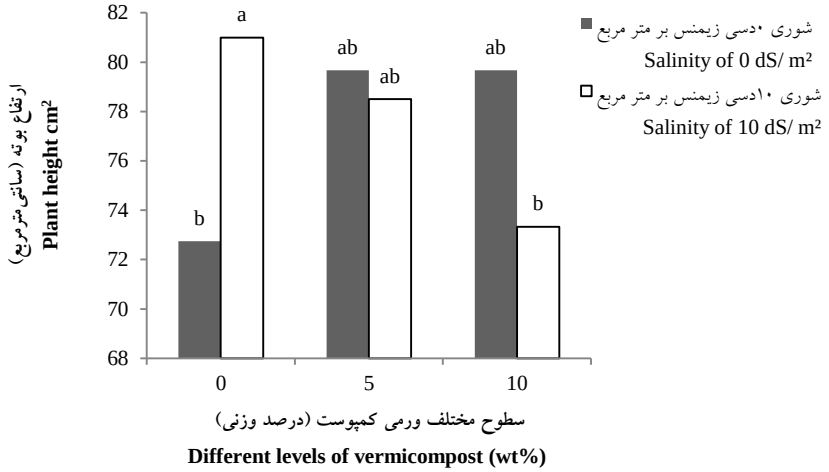
شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف تیمار ورمی‌کمپوست بر سطح برگ

Figure 2. Effect of different treatments of vermicompost on leaf area.

تعداد پنجه در بوته: جدول تجزیه واریانس صفات نشان داد که تأثیر مصرف سطوح مختلف کودی بر تعداد پنجه بوته ارزن در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نشد.

ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد ارتفاع گیاه تنها تحت تأثیر اثر متقابل مصرف سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و شوری قرار گرفت و سایر اثرات اصلی و متقابل تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشته‌اند (جدول ٤). همان‌طور که نتایج مقایسه میانگین در شکل (۳) نشان داد، در شرایط غیرشور افزودن ۵ و ۱۰ درصد وزنی ورمی‌کمپوست باعث افزایش ارتفاع شده درحالی‌که کمترین ارتفاع (۷۲/۷۵ سانتی‌متر) در تیمار شاهد مشاهده شد و بیشترین ارتفاع (۸۱ سانتی‌متر) در شرایط شور و عدم مصرف ورمی‌کمپوست به‌دست آمد. شاید به دلایلی مثل افزایش تورژسانس سلولی و تنظیم میزان باز و بسته شدن روزنه‌های برگ، شوری نقش تحریک کنندگی رشد را داشته باشد. در شرایط شور مصرف ورمی‌کمپوست در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت اما مصرف ۱۰ درصد ورمی‌کمپوست باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته ارزن شد (شکل ۳). این امر احتمالا ناشی از شوری زیاد ورمی‌کمپوست مصرف شده و همچنین ناشی از افزایش شدید فشار اسمزی و ایجاد سمیت باشد. تیمار شوری و مصرف اسیدهیومیک هرچند تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته ارزن نداشتند اما توانستند مقدار اندکی ارتفاع بوته را افزایش بدهند که می‌تواند بیانگر تحمل بالای گیاه ارزن به شوری و بهبود شرایط رشد گیاه ارزن با مصرف اسیدهیومیک باشد در این رابطه افشارمنش (۲۰۱٤) بیشترین ارتفاع بوته ذرت را با محلول‌پاشی چای کمپوست و مصرف هم‌زمان کود ورمی‌کمپوست به میزان ۲۵ درصد وزنی مشاهده نمود (۱). ناردی و همکاران (۲۰۰۲) بیان داشتند که تحریک تولید موادی شبیه به اکسین در زمان مصرف ورمی‌کمپوست، علت افزایش ارتفاع گیاه می‌باشد (۱٦). همچنین از آنجا که اسید آمینه تریپتوفان پیش نیاز سنتز ایندول استیک اسید می‌باشد و وجود عنصر روی در ساختمان این اسید آمینه ضروری است (۲٤) و نظر به این‌که ورمی‌کمپوست غنی از مواد مغذی از جمله روی می‌باشد، بنابراین این کود می‌تواند با تأثیر بر روی سنتز هورمون‌ها به‌ویژه اکسین باعث افزایش رشد و متعاقب آن ارتفاع گیاه شود. هاشمی مجد (۲۰۱٤) نیز گیاهان را از نظر استعدادشان در جذب Na^+ طبقه‌بندی کرده و گزارش داد که رشد گیاهانی با

توانایی بالای جذب Na^+، با کوددهی Na^+ افزایش می‌یابد (۸). زیرا Na^+ در ایفای بخشی از نقش K^+ می‌تواند جایگزین آن شود. گیاه ارزن در این طبقه‌بندی در ردیف گیاهانی با توانایی جذب کم Na^+ قرار می‌گیرد (۵).

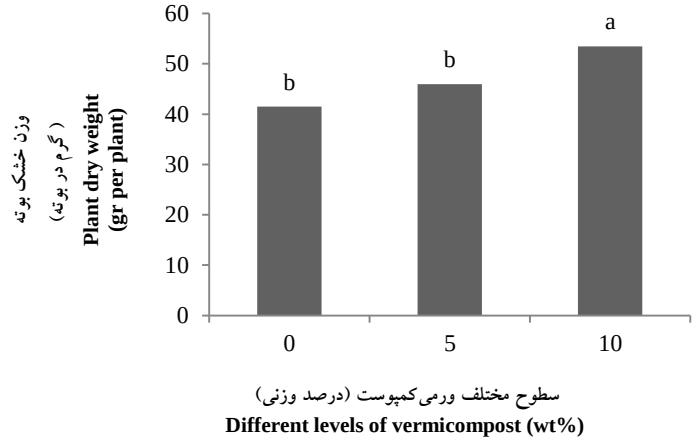


شکل ۳- اثرات متقابل بین سطوح مختلف تیمار شوری و ورمی‌کمپوست (۰ و ۵ و ۱۰ درصد وزنی) بر ارتفاع بوته.

Figure 3. The interaction between different levels of salinity and vermicompost (0, 5 and 10% by weight) on plant height.

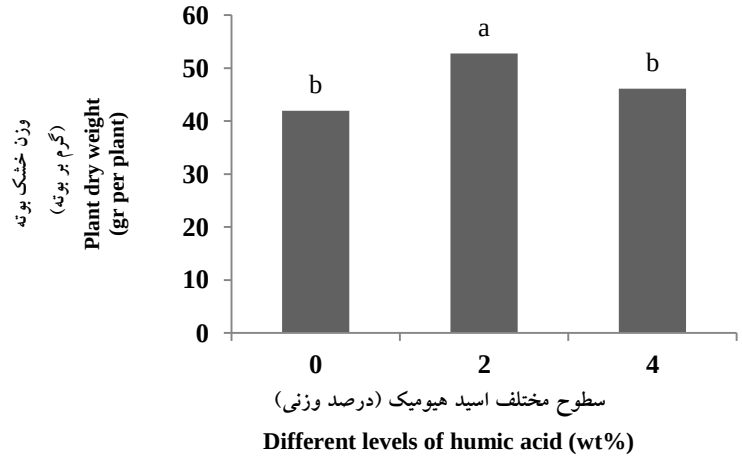
وزن خشک اندام هوایی در بوته: نتایج جدول تجزیه واریانس صفات نشان داد مصرف سطوح مختلف اسیدهیومیک و ورمی‌کمپوست بر وزن خشک اندام هوایی ارزن در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد و سایر اثرات اصلی و متقابل تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند. به‌نظر می‌رسد مصرف سطوح مختلف اسیدهیومیک و ورمی‌کمپوست احتمالاً با بهبود ساختمان خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک باعث بهبود زهکشی خاک شده و به دنبال آن رشد ریشه‌ها و در نتیجه جذب مواد غذایی و رشد اندام هوایی افزایش می‌یابد (جدول ٤). با توجه به نتایج مقایسه میانگین با کاربرد اسیدهیومیک بیشترین وزن خشک اندام هوایی در شرایط مصرف ۲ درصد وزنی اسیدهیومیک به‌دست آمد و تیمار ٤ درصد وزنی اسیدهیومیک یا شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. (شکل ۵). همچنین با کاربرد ورمی‌کمپوست بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی در تیمار ۱۰ درصد وزنی ورمی‌کمپوست به‌دست آمد و تیمار ۵ درصد وزنی ورمی‌کمپوست یا شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ٤). تیمار شوری به لحاظ آماری تأثیری بر وزن خشک بوته نداشت و گیاهان تحت تأثیر تیمار شوری، با گیاهان شاهد از نظر وزن خشک اندام هوایی تفاوت معنی‌داری نداشتند. با توجه به این‌که مکانیسم‌های تحمل به شوری معمولا از طریق اندازه‌گیری میزان تولید ماده خشک در شرایط شور در مقایسه با شاهد و در طی مدت زمان طولانی ارزیابی می‌شود. لذا گیاه ارزن پروسو را می‌توان رقم متحمل به شوری قلمداد کرد. کاربرد تیمار ٤ درصد وزنی اسیدهیومیک نسبت به تیمار ۲ درصد وزنی اسیدهیومیک باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی شد. با توجه به آزادسازی عناصر توسط مواد آلی و رقابت عناصر در جذب و همچنین سمیت یون سدیم در شرایط شوری- سدیمی و اختلال در جذب عناصر، لذا کاربرد مواد آلی با ظرفیت تبادل کاتیونی

بالا در مقادیر بالا ممکن است مشکلات تنش شوری- سدیمی را تشدید سازد. گزارش شده برخی از ویژگی‌های ورمی‌کمپوست که موجب افزایش رشد گیاه می‌شود مربوط به بهبود خواص فیزیکی و زیستی خاک می‌باشد (۷). بررسی‌ها نشان داده است که زیست توده تمبر هندی (*Tamarindus indica* L.) در حضور ورمی‌کمپوست در محیط تنش کلرید سدیم بیش از چهار برابر افزایش یافت (۱۷). همچنین بر اساس تحقیقات انجام شده در بعضی از گیاهان نظیر آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) ورمی‌کمپوست می‌تواند اثرات زیان‌آور شوری را کاهش دهد و سبب افزایش رشد و تولید محصول شود.



شکل ٤- تأثیر سطوح مختلف تیمار ورمی‌کمپوست بر وزن خشک بوته.

Figure 4. Effect of different vermicompost treatment on plant dry weight

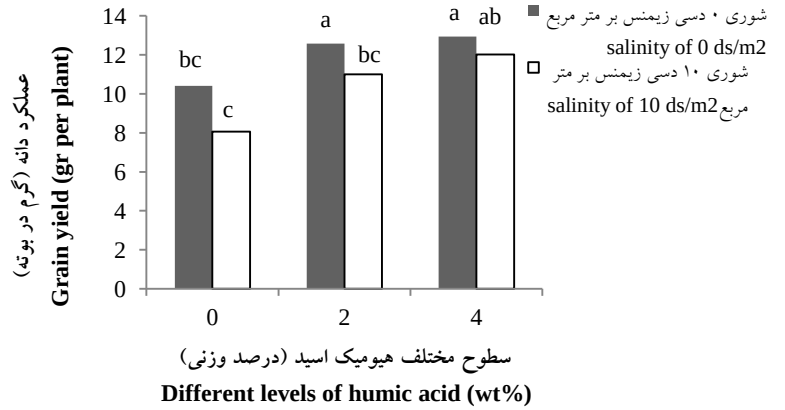


شکل ٥- تأثیر سطوح مختلف تیمار اسید هیومیک بر وزن خشک بوته.

Figure 5. Effect of different humic acid treatment on plant dry weight

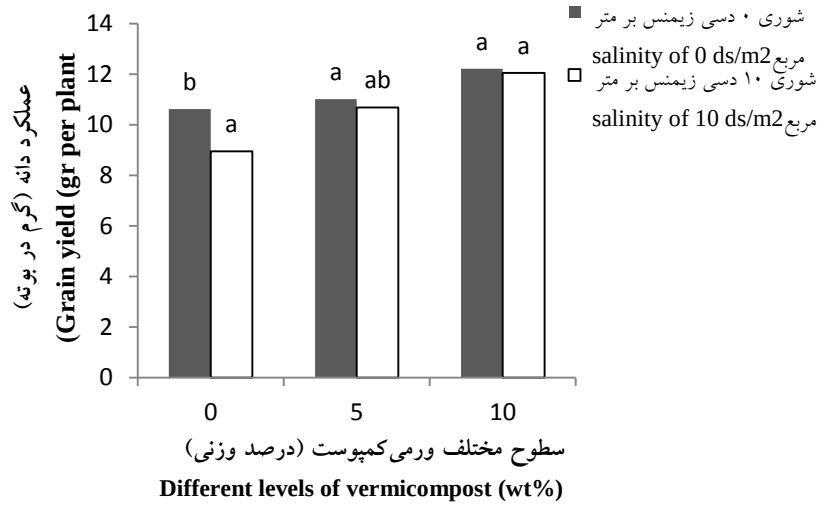
عملکرد دانه: جدول تجزیه واریانس صفات نشان داد که سطوح مختلف شوری، اسیدهیومیک، اثر متقابل بین شوری و اسیدهیومیک، اثر متقابل شوری و ورمی‌کمپوست و اثر متقابل بین اسیدهیومیک و ورمی‌کمپوست بر عملکرد دانه بوته ارزن در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد و سایر اثرات اصلی و

متقابل تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ٤). نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دوگانه بین تنش شوری و هیومیک‌اسید بیانگر آن بود که در اثر کاربرد هیومیک‌اسید اثرت سوء ناشی از تنش شوری کاهش یافته و میزان عملکرد در اثر افزایش مقدار مصرف اسیدهیومیک کاهش کمتری داشت و همان‌گونه که در شکل (٦) بیان شد با مصرف ٤ درصد وزنی هیومیک‌اسید و عدم تنش و شوری، بالاترین میزان عملکرد با میانگین ۱۲/۹٤ گرم در بوته به‌دست آمد که البته اختلاف معنی‌داری با تیمار ۲ درصد وزنی و عدم تنش شوری نداشت و کمترین عملکرد نیز با میانگین ۸/۰٦ گرم در بوته از تیمار عدم کاربرد هیومیک‌اسید و اعمال تنش شوری به‌دست آمد. با کمی دقت در میزان اختلاف عملکرد دانه بین تیمارهای مختلف کاربرد هیومیک اسید می‌توان دریافت که با کاربرد هیومیک‌اسید میزان کاهش در اثر تنش شوری کاهش یافته است. نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر ورمی کمپوست و تنش شوری نشان داد که بالاترین عملکرد با میانگین ۱۲/۲۲ گرم در بوته از تیمار عدم تنش شوری و کاربرد ۱۰ درصد وزنی ورمی کمپوست حاصل شد و کمترین میزان نیز با میانگین ۸/۹۵ گرم در بوته از تیمار تنش شوری و عدم کاربرد ورمی کمپوست به‌دست آمد. در خصوص تأثیر مثبت ورمی کمپوست در شرایط مواجه با تنش شوری همانند شرایط استفاده از هیومیک اسید بود (شکل ۷). نتایج مقایسه میانگین اثر هیومیک و ورمی کمپوست نشان داد که بالاترین میزان عملکرد دانه با میانگین ۱۳/۵۹ گرم در بوته از تیمار ۲ درصد وزنی هیومیک‌اسید و ۵ درصد وزنی ورمی کمپوست به‌دست آمد و کمترین میزان نیز با میانگین ۱۱/۱۵ گرم در بوته از تیمار عدم کاربرد هیومیک و ۵ درصد وزنی ورمی کمپوست به‌دست آمد. این چنین نتیجه‌ای حاکی از اثر افزینده این دو کود در تأثیر بر عملکرد دانه است. در این رابطه اتیه و همکاران (۲۰۰۲) بیان داشتند که ورمی‌کمپوست‌ها دارای تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه مانند هورمون‌های گیاهی و اسیدهای هیومیک هستند که این مواد باعث تأثیرات مفیدی مانند افزایش جوانه‌زنی و عملکرد می‌شوند (٤). همچنین مینارد (۱۹۹۳) نیز گزارش داد که با مصرف کمپوست در خاک، محصول گوجه فرنگی به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت (۱۵). در برخی از گزارش‌ها علت افزایش رشد گیاهان در اثر کاربرد کمپوست مواد آلی، بهبود خواص فیزیکی خاک و تأمین عناصر غذایی ذکر شده است (٦، ١٤).



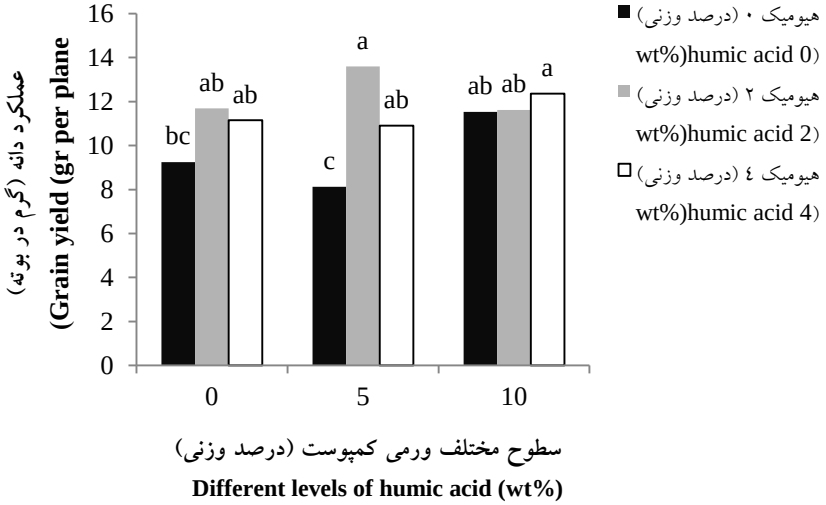
شکل ٦- اثر متقابل بین سطوح مختلف شوری اسیدهیومیک (۰ و ۲ و ٤ درصد وزنی) و بر عملکرد دانه.

Figure 6. The interaction between different levels of salinity and humic acid (0, 2 and 4 wt%) on grain yield.



شکل ۷- اثر متقابل سطوح مختلف شوری و ورمی کمپوست (۰ و ۵ و ۱۰ درصد وزنی) بر عملکرد دانه.

Figure 7. The interaction between different levels of salinity and application of vermicompost (0, 5 and 10 wt%) on grain yield



شکل ۸- اثر متقابل بین سطوح مختلف اسیدهیومیک (۰ و ۲ و ٤ درصد وزنی) و ورمی‌کمپوست (۰ و ۵ و ۱۰ درصد وزنی) بر عملکرد دانه.

Figure 8. The interaction between different levels of humic acid (2, 2 and 4 wt%) and vermicompost (0, 5 and 10 wt%) on grain yield

شاخص برداشت: جدول تجزیه واریانس صفات نشان داد که مصرف سطوح مختلف کودی بر شاخص برداشت ارزن معنی‌دار نبود.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، اسیدهیومیک و ورمی‌کمپوست باعث افزایش برخی از ویژگی‌های رشدی در ارزن شد. اثر متقابل اسیدهیومیک و ورمی‌کمپوست برشاخص میزان کلروفیل، وزن خشک بوته و عملکرد دانه، اثر معنی‌دار داشت. طبق نتایج به‌دست آمده با اعمال تیمار شوری کمترین میزان عملکرد دانه به‌دست آمد که این امر تأثیر منفی شوری را بر گیاه نشان می‌دهد ولی در اثر کاربرد هیومیک‌اسید و ورمی کمپوست میزان کاهش

نسبتا کمتر از شرایط عدم مصرف کودهای موردنظر بود. به‌نظر می‌رسد علاوه‌بر مقاومت گیاه ارزن نسبت به تنش شوری با توجه به اینکه ارزن یک گیاه C_4 است. هم زمان با کاربرد تیمار شوری در داخل خاک یون سدیم، فاز تبادلی برخی از کاتیون‌ها را اشغال کرده و غلظت آنها را در محلول خاک افزایش داد که منجر به دسترسی آسان‌تر و جذب بیشتر آنها توسط گیاه گردید. با توجه به تأثیر اسیدهیومیک در افزایش غلظت عناصر، خصوصا غلظت عناصر در برگ به نظر می‌رسد اسیدهیومیک علاوه‌بر اصلاح فیزیکی خاک و بهبود شرایط رشد گیاه با توانایی کلات کردن عناصر و نفوذ به داخل گیاه توسط بخش اسیدفولویک یعنی بخش ریز مولکول خود در جذب و انتقال آن‌ها تأثیر داشته است. تیمار ورمی‌کمپوست به‌کار رفته در این تحقیق ضمن تأثیر افزایشی بر پارامترهایی مثل میزان سطح برگ، ارتفاع بوته، نقش کاهش‌دهنده داشت. به‌نظر می‌رسد شوری ورمی‌کمپوست نقش ممانعت کنندگی در جذب عناصر داشته است.

منابع

1.Afsharmanesh, R. 2014. Effect of vermicompost application and spraying compost tea on the growth of corn, Master's thesis, University of vali-e-asr rafsanjan. (In Persian)

2.Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Welch, C., and Metzger, J.D. 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresource Technol., 93: 145-153.

3.Ashok, P., Carlos, R.S., and Christian, L. 2008. Current Developments in Solid-state Fermentation. Asiatech Publishers, INC. New Delhi., 517p.

4.Atiyeh, R.M., Lee, S., Edwards, C.A., Arancon, N.Q., and Metzger, J.D. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. Bioresource Tec. 84: 7-14.

5.Azizi, G., Rezvani Moghadam, P., and Sharifi Noori, M.S. 2008. Effects of salinity on some physiological characteristics and yield components of three species of millet, *Pennisetum glaucum*, *Setaria italiac* and *Panicum miliaceum* under greenhouse conditions, Agricultural Sciences of Iran, Tehran University 38p. (in Persian)

6.Gallardo-Lara, F., and Nogales, R. 1987. Effect of application of town refuse compost on the soil-plant system: A review. Biol. Wastes., 19: 35-62.

7.Hamidpoor, M., Fathi, S., and Roosta, H.R. 2012. Effect of zeolite and vermicompost application on growth characteristics and concentrations of some elements Petunia, J. Sci. Techn. greenhouse cultivation., 3(13): 102-95. (In Persian)

8.Hashemi Majd, K. 2014. Soil Fertility, Fertilizer Introduction to Nutrient Management. Publishing Aiyzh Tehran. (In Persian)

9.Kafi, M., and Mahdavi, A.M. 2002. Mechanisms of Plant Resistance to Environmental Stress, University Press Ferdowsi Mashhad. (In Persian)

10.Khormizi, B.A., Ganjali, A., Abrishamchi, P., and Parsa, M. 2010. The effect of vermicompost on photosynthesis, transpiration and water use efficiency red beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress. J. Agri. Ecol., 4(3): 223-234. (In Persian)

11.Kulikova, N.A., Stepanova, E.V., and Koroleva, O.V. 2005. Mitigating activity of humic substances: direct influence on biota. In use of humic substances to remediate polluted environments: from theory to practice (Pp: 285-309), Springer Netherlands.

12.Mahajan, S., and Tuteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. Arch. Biochem. Biophys., 444: 139-158.

13.Munns, R. 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline

soils, some dogmas and hypotheses. Plant Cell Environ., 16: 15-24.
14. Mynard, A.A. 1995. Cumulative effect of annual addition of Msw compost on the yield of field-grown tomatoes. Compost Sci. Utility., 3: 47-54.
15. Mynard, A.A. 1993. Evaluating the sustainability of MSW compost as a soil amendment in field-growth tomatoes. Compost Sci. Utility., 1: 34-36.
16. Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., and Vianello, A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biol. Biochem., 34 (11): 1527-1536.
17. Oliva, M.A., Zenteno, R.E., Pinto, A., Dendooven, L., and Gutierrez, F. 2008. Vermicompost role against sodium chloride stress in the growth and photosynthesis in tamarind plantlets (*Tamarindus indica* L.). Gayana Botanica., 65: 10-17.
18. Parida, A.K., and Das, A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants. a review. Efcotox Environ. Safe., 60: 324-349.
19. Sabet Teimouri, M., Khazaee, H., Nezami, A., and Nasiri, M. 2007. The effect of different levels of salinity on leaf antioxidant enzyme activities and physiological characteristics of sesame (*Sesmum indicum* L.). J. Res. Water Soil Plants Agri 7(4): 119-109.
20. Sallaku, G., Babaj, I., Kaciu, S., and Balliu, A. 2009. The influence of vermicompost on plant growth characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under saline conditions. J. Food, Agri. Environ. 7: 869-872.
21. Shiro, M., Katsuya, Y., Michio, K., Mitsutaka, T., and Hiroshi, M. 2002. Relationship between the distribution of Na and the damages caused by salinity in the leaves of rice seedling grown under a saline condition. Plant Product. Sci., 5: 269-274.
22. Theunissen, J., Ndakidemi, P., and Laubscher, C. 2010. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. Int. J. Physical Sci., 5: 1964-1973.
23. Theunissen, P.T., Schulpen, S.H.W., Van Dartel, D.A.M., Hermsen, S.A.B., Van Schooten, F.J., and Piersma, A.H. 2010. An abbreviated protocol for multilineage neural differentiation of murine embryonic stem cells and its perturbation by methyl mercury. Reproduct. Toxicol., 29(4): 383-392.
24. Tsui, D.C., Stormer, H.L., and Gossard, A.C. 1982. Two-dimensional magnetotransport in the extreme quantum limit. Phys. Rev. Lett., 48(22): 15-59.