تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره سوم، پائیز ۱۳۹۸
۷۸۱-۷۹۱
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2018.542.1332

مقاله پژوهشی

اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد و کیفیت دانه ذرت در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی

علی شیرخانی[1*]، صفر نصراله‌زاده[2]، سعید زهتاب سلماسی[3]

۱. استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات گیاهان زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی

۲. دانشیار آموزشی گروه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه تبریز

۳. استاد آموزشی گروه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۲/۳۱

چکیده

این تحقیق باهدف بررسی امکان استفاده از ازتوباکتر و ورمی کمپوست به‌عنوان کودهای زیستی به‌منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی در زراعت ذرت و در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ به مدت دو سال در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه انجام شد. تحقیق به صورت دو آزمایش در دو سایت به فاصله ۱۰ متر از یکدیگر اجرا گردید. سایت‌ها شامل آبیاری کامل و تنش خشکی بر اساس ۶۵ درصد نیاز آبی گیاه بودند. هر آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمار مصرف ازتوباکتر در کرت‌های اصلی در دو سطح (مصرف و عدم مصرف) و کودهای شیمیایی و ورمی کمپوست در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. تیمارهای کودی دیگر شامل کود شیمیایی N.P.K در سه سطح (بدون مصرف، ۵۰ درصد و مصرف ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک) و ورمی کمپوست در چهار سطح (صفر، ۲، ۴ و ۶ تن در هکتار) بودند. نتایج نشان داد با استفاده از شش تن در هکتار ورمی کمپوست می‌توان تا ۵۰ درصد مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داد و عملکرد دانه در تیمار مصرف توأم شش تن در هکتار ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی به میزان ۵۰ درصد نیاز گیاه بر اساس آزمون خاک با تیمار مصرف کودهای شیمیایی به میزان ۱۰۰ درصد نیاز گیاه تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین مصرف ورمی کمپوست کیفیت بذر ذرت را افزایش داد.

***واژه‌های کلیدی*: ذرت، سطوح آبیاری، عملکرد دانه، کیفیت دانه، ورمی کمپوست**

مقدمه

به اعتقاد برخی از محققین یکی از بزرگ‌ترین دستاوردهای زراعی بشریت، زراعت و توسعه کشت ذرت در سرتاسر جهان است (O'Leary, 2016). سطح زیر کشت، تولید و بهره‌برداری از ذرت در پنج دهه گذشته چندین برابر افزایش‌یافته و در آسیا سریع‌ترین رشد سالانه را در مقایسه با سایر غلات داشته است (Hearn, 2014). اگرچه بر اساس برآوردهای سازمان غذا و کشاورزی[1] و مرکز بین‌المللی تحقیقات گندم و ذرت[2] پیش‌بینی‌شده بود که تولید جهانی ذرت در سال ۲۰۲۰ به بیش از ۸۳۰ میلیون تن خواهد رسید، ولی در عمل به دلیل بحران مالی چند سال اخیر کشورهای صنعتی و افزایش جهانی قیمت حامل‌های انرژی، میزان تقاضا و تولید ذرت که فرآورده‌های آن قابل‌استفاده به‌عنوان سوخت زیستی یا بیودیزل است، به‌شدت از میزان پیش‌بینی‌شده فراتر رفته است. بر اساس آمار، ایران در سال ۲۰۱۵ با واردات حدود

1. FAO

2. CIMMYT

* نگارنده پاسخگو: علی شیرخانی. پست الکترونیک: Ali.shirkhani@gmail.com

پنج میلیون تن، پنجمین کشور واردکننده عمده ذرت در جهان بوده است (USDA, 2016). ذرت یکی از محصولات اساسی در تأمین نیازهای غذایی و علوفه‌ای ایران به شمار می‌رود. این گیاه ازلحاظ سطح زیر کشت در بین گیاهان زراعی پس از گندم و برنج مقام سوم و نظر تولید مقام اول را دارد. در استان کرمانشاه ذرت یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی استان به شمار می‌رود که میانگین سطح زیر کشت آن در ۱۰ سال گذشته بیش از ۴۵۰۰۰ هکتار بوده است. استان کرمانشاه پس از فارس و خوزستان رتبه دوم سطح زیر کاشت و با عملکرد نه تن در هکتار ازنظر عملکرد، رتبه نخست در کشور را دارا بود؛ اما سال ۱۳۹۴ سطح زیر کاشت ذرت در استان کرمانشاه با کاهشی ۳۰ هزار هکتاری به ۱۵۵۸۰ هکتار رسید که دلیل اصلی آن کمبود آب در منطقه است. از سوی دیگر به‌منظور تولید محصول کمی و کیفی بالا، باید ترکیب مناسبی از مواد غذایی را در اختیار گیاه باشد. کاربرد کودهای شیمیایی در کشاورزی رایج مشکلات شدید زیست‌محیطی، مصرف انرژی فسیلی، افزایش هزینه‌های تولید و اثرات مخرب بر چرخه‌های زیستی را در پی دارد. همچنین وابستگی سیستم‌های زراعی به نهاده‌های خارج از مزرعه و ناپایداری نظام‌های زراعی و تأمین غذای کافی و باکیفیت مناسب برای جمعیت روزافزون جهان، از عواقب مصرف کودهای شیمیایی است.

تیلمن و همکاران (Tilman et al., 2002) بیان کردند تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان ۵۰ درصد افزایش‌یافته و بزرگ‌ترین چالش در آن زمان، دو برابر کردن تولید غذا است آن‌هم به طریقی که به محیط‌زیست و سلامت مصرف‌کنندگان آسیب وارد نشود. کشاورزی زیستی در جستجوی راه‌هایی است که فرآیندهای بوم‌شناختی مسئول تغذیه گیاه را ضمن حفظ منابع خاک و آب، تشدید کند. کاربرد منابع و نهاده‌های تجدید پذیر، یکی از اصول کشاورزی پایدار است که موجب حداکثر بهره‌وری زراعی و کمترین خطرات زیست‌محیطی می‌شود (Kizilkaya, 2008). این امر، یعنی دسترسی به عملکرد مطلوب و کاهش مخاطرات، نیازمند به‌کارگیری راهکارهای نوین زراعی است که از این میان می‌توان به کودهای زیستی اشاره کرد (Hegde et al., 1999). اصطلاح کودهای زیستی منحصراً به مواد حاصل از کودهای دامی، بقایای گیاهی، کود سبز و غیره اطلاق نمی‌گردد، بلکه ریز جانداران باکتریایی و قارچی به‌ویژه رایزوباکتری های محرک رشد گیاه و مواد حاصل از فعالیت آن‌ها، ازجمله مهم‌ترین کودهای زیستی محسوب می‌گردند. کاربرد کودهای کود زیستی باعث افزایش رشد و عملکرد غلات می‌شود. امروزه به دلیل افزایش اهمیت مسائل زیست‌محیطی توجه بیشتری به کودهای بیولوژیک یا زیستی برای جایگزینی کودهای شیمیایی شده است (Kader et al., 2002)، آرودا و همکاران (Arrudaa et al., 2013) معتقدند یکی از ارکان اساسی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم‌های زراعی باهدف حذف یا کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی است. امروزه به دلیل در دسترس بودن و استفاده آسان، ورمی کمپوست و ازتوباکتر از پرکاربردترین کودهای زیستی محسوب می‌شوند.

به عقیده اکباسوا و همکاران (Akbasova et al., 2015) مواد غذایی شامل نیتروژن، فسفر و پتاس و اسیدهای هیومیک موجود در ورمی‌کمپوست بیشتر از کمپوست است. برتری ورمی کمپوست نسبت به سایر کودهای آلی این است که به‌خوبی تغییر ساختار یافته و تعداد ریز موجودات بیماری‌زای گیاهی در آن به شدت کاهش‌یافته است، فرآیند هوموسی شدن در مرحله رسیدگی ورمی کمپوست در سطح وسیع‌تری صورت می‌گیرد که درنهایت کود تولیدی در این روش به علت بالا بودن نسبت کربن به نیتروژن فاقد بوی نامطبوع و فعالیت حشرات مزاحم است (Ahmad abadi et al., 2012).

باکتری‌های ریزوسفری تحریک‌کننده رشد گیاه[1] نیز می‌توانند فراهمی و جذب عناصر غذایی و سوبستراهای رشد گیاه را افزایش دهند (Jahan et al., 2009). باکتری‌های جنس ازتوباکتر و آزوسپیریلوم از مهم‌ترین باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌باشند که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن، توانایی تولید قابل‌ملاحظه هورمون‌های محرک رشد به‌ویژه انواع اکسین و جیبرلین را دارند (Zahir et al., 2004). باروری پایین خاک یکی از تنگناهای تولید پایدار در کشاورزی است. برای حل این مشکل، استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی و آلی پیشنهاد می‌شود که یک گزینه مناسب برای طراحی سیستم‌های اکولوژیکی و سازگاربامحیط‌زیست و همچنین ازنظر اقتصادی پایدار است. کاربرد کودهای بیولوژیک و آلی به‌صورت تلفیق با کودهای

1. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)

شیمیایی مهم‌ترین راهبرد تغذیه تلفیقی گیاه برای مدیریت پایدار بوم نظام‌های کشاورزی و افزایش تولید آن‌ها در سیستم کشاورزی پایدار است (Delgosha et al., 2015). باباگلی و همکاران (Babaogli et al., 2012) اعلام کردند که استفاده از کودهای زیستی در ذرت هیبرید ۷۰۴ عملکرد و اجزاء عملکرد را در شرایط تنش خشکی افزایش می‌دهد. افزایش عملکرد دانه و تعداد دانه در بلال ذرت با استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی و زیستی در بسیاری از تحقیقات گزارش شده است. (El-Karmany, 2001). کاربرد کودهای آلی مانند ورمی کمپوست به همراه باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن باعث افزایش کیفیت محصولات کشاورزی می‌شوند (Shirkhodaei et al., 20014). اثر سطوح مختلف نیتروژن و آزوسپیریلوم بر سورگوم نشان داد استفاده توأم از این دو نوع کود باعث افزایش پروتئین خام و کیفیت علوفه شد (Yadav et al., 2007).

مواد و روش‌ها

این پژوهش به مدت دو سال در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه انجام گرفت. این ایستگاه در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۸ دقیقه شمالی واقع‌شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۴۶ متر است و ازلحاظ آب و هوایی در منطقه معتدل قرار دارد. متوسط بارندگی سالیانه آن ۴۱۶/۶ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۰/۵+، حداکثر مطلق درجه حرارت ۴۱+، حداقل مطلق درجه حرارت ۲۸/۸- درجه سانتی‌گراد است. برای تعیین خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش، ۶ نمونه تصادفی از اعماق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک تهیه و پس از مخلوط کردن آن‌ها نمونه‌های کاری به‌دست‌آمده جهت تجزیه‌ی فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال گردید. این پژوهش در هرسال به‌صورت دو آزمایش در دو سایت به فاصله ۱۰ متر از یکدیگر اجرا گردید. سایت‌ها شامل آبیاری کامل (مطلوب) و آبیاری محدود بر اساس ۶۵ درصد نیاز آبی گیاه (تنش خشکی یا کم‌آبیاری) بودند. هر آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمار مصرف ازتوباکتر در بلوک‌های اصلی در دو سطح (مصرف و عدم مصرف) و کودهای شیمیایی و ورمی کمپوست در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. تیمارهای کودی دیگر شامل کود شیمیایی N.P.K در سه سطح (بدون مصرف کود شیمیایی، ۵۰ درصد مقدار توصیه‌شده کود شیمیایی بر اساس آزمون خاک و مصرف ۱۰۰ در صد کودهای شیمایی بر اساس مقدار توصیه بر اساس آزمون خاک) و کود آلی ورمی کمپوست در چهار سطح (صفر، ۲، ۴ و ۶ تن در هکتار) بودند. به‌این‌ترتیب هر سایت شامل ۲۴ تیمار و ۷۲ کرت و در کل آزمایش شامل ۴۸ تیمار و ۱۴۴ کرت بود که در دو سال اجرا گردید. با توجه به اینکه کود ازتوباکتر درواقع نوعی باکتری است و به‌راحتی می‌تواند با آب آبیاری حرکت کند، در کرت‌های اصلی قرار گرفت و چهار ردیف کاشت (۳ متر) بین کرت‌های اصلی به‌عنوان حاشیه کشت شد. همچنین جهت کنترل تیمارهای مربوط به کودهای شیمیایی، کرت‌های مصرف کود شیمیایی شامل دو ردیف کاشت اضافه (۷۵ سانتی‌متر در هر طرف کرت) بودند که در این ردیف‌ها تیمار کودی اعمال نشده و صرفاً به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table1. Physical and chemical properties of study site soil

سال Year	بافت خاک Soil texture	فسفر قابل‌جذب Pav	پتاسیم قابل‌جذب Kav	نیتروژن کل N	کربن آلی O.C	منگنز Mn	آهن Fe	روی Zn	pH
		---------- ppm ----------		---------- % ----------		---------- ppm ----------			
اول First	سیلتی رسی Silty Clay	11.6	553	0.08	0.81	13.6	3.9	0.78	7.8
دوم Second	سیلتی رسی Silty Clay	9.8	560	0.1	0.88	14.2	3.8	0.72	7.7

رقم ذرت سینگل کراس KSC704 به دلیل اینکه رقم تجاری منطقه بوده و بیش از ۸۰ درصد سطح زیر کشت ذرت در استان کرمانشاه را به خود اختصاص می‌دهد، انتخاب گردید. پس از جوانه‌زنی و اطمینان از استقرار گیاه چه قبل از اعمال تیمار کود نیتروژن و ازتوباکتر، در مرحله ۳ برگی تنک کردن مزرعه با دست و استفاده از نیروی کارگری تا رسیدن به تراکم کاشت ۷۵۰۰۰ بوته در هکتار اجرا شد. کودهای شیمیایی شامل سوپر فسفات تریپل برای تأمین فسفر، اوره برای تأمین نیتروژن و سولفات پتاسیم برای تأمین پتاسیم بود. همچنین در مورد ورمی کمپوست نیز از ۳۰ سایت تولید ورمی کمپوست در سطح استان کرمانشاه نمونه‌برداری شده و پس از آنالیز در آزمایشگاه، درنهایت یک سایت بر اساس برخورداری از استانداردهای لازم و میانگین عناصر غذایی موجود در آن (ورمی کمپوست حاصل از کود حیوانی)، انتخاب شد. برای ازتوباکتر از کود ازتوبارور۱ ویژه گیاهان زراعی که حاوی باکتری‌های گونه ازتوباکتر وینلندی سویه ۰۴ است، به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار و دو بار استفاده شد. تا قبل از مرحله ۵ برگی آبیاری مطلوب برای تمام کرت‌ها به‌صورت بارانی صورت گرفت تا گیاه مستقر شود و در مرحله ۵ برگی سیستم هیدروفیکس و کنتورهای آب نصب گردید و آبیاری بر اساس نیاز آبی هر تیمار اعمال گردید و از این مرحله به بعد محاسبات و اندازه‌گیری‌ها انجام شد. نیاز آبی گیاه بر اساس معادله پنمن- منتیث- فائو[1] و دستورالعمل شماره ۵۶ فائو در دوره‌های ۱۰ روزه، با توجه به آمار هواشناسی منطقه محاسبه گردید (Zotarelli et al., 2015; Atta et al., 2015). تعیین کیفیت دانه در بخش تحقیقات دام‌پروری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه انجام شد. در صد پروتئین و نشاسته توسط دستگاه NIR[2] اندازه‌گیری شد. پس از دو سال آزمایش نتایج جمع‌آوری‌شده و یک تجزیه مرکب دوساله بر اساس مدل اسپلیت فاکتوریل پلات انجام شد. محاسبات آماری شامل تجزیه واریانس، مقایسات میانگین به روش حداقل اختلافات معنی‌دار (LSD) توسط نرم‌افزارهای آماری SAS و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار EXCEL انجام گردید.

نتایج و بحث

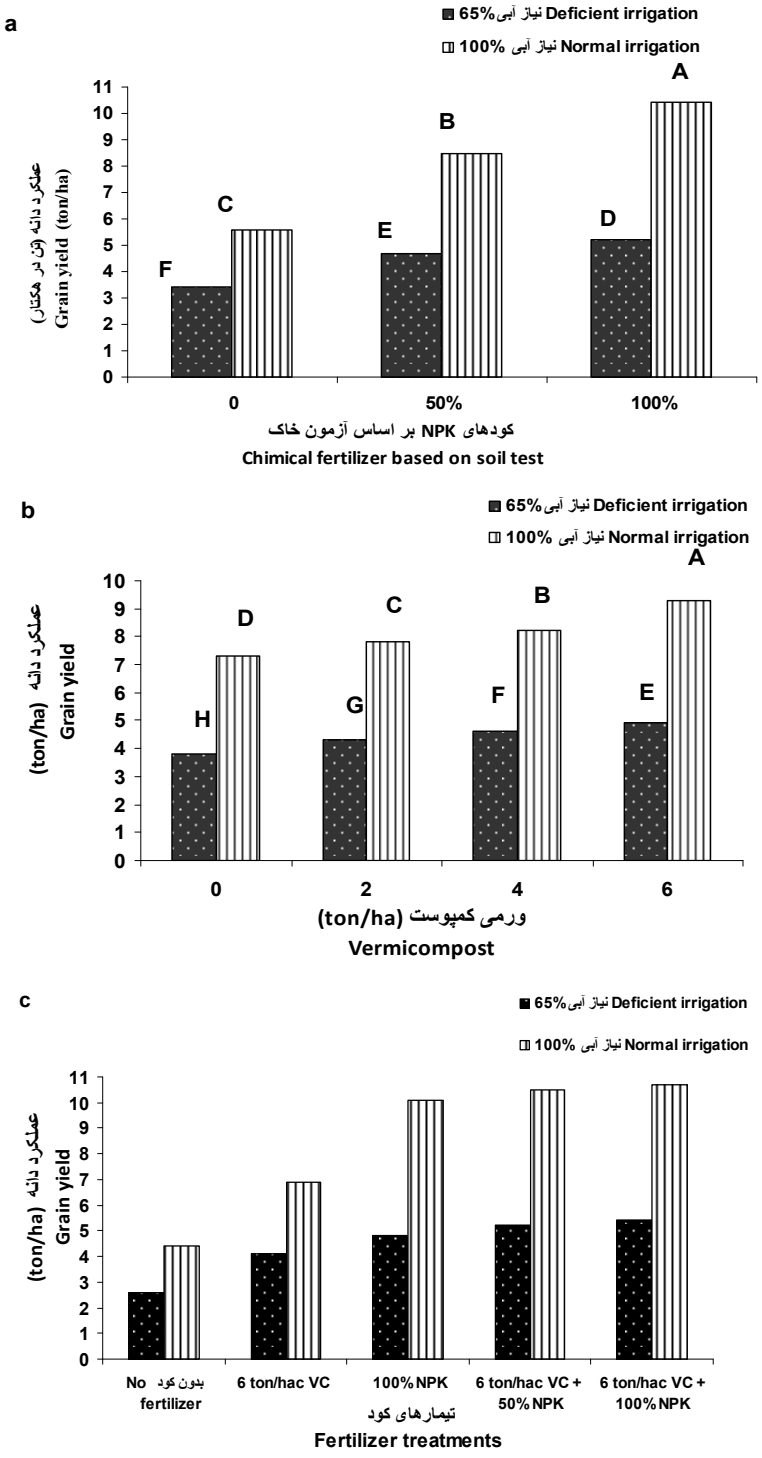
عملکرد دانه

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد بین سال‌های اجرای آزمایش تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما سطوح آبیاری اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت و تنش خشکی عملکرد دانه ذرت را به‌شدت کاهش می‌دهد. میانگین عملکرد دانه ذرت در شرایطی که ۱۰۰ درصد نیاز آبی خود را دریافت کرد ۸/۱ تن بود، اما با کاهش آب به میزان ۶۵ درصد نیاز آبی، عملکرد نیز به ۴/۴ تن در هکتار کاهش یافت، درواقع با کاهش آب مصرفی به میزان ۳۵ در صد، عملکرد ۴۵ در صد کاهش داشت. تنش رطوبتی از طریق کاهش سطح برگ‌ها، کاهش میزان جذب تابش فعال فتوسنتزی لحظه‌ای، کاهش کارآیی مصرف انرژی تابشی، اختلال درروند جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضه مواد پرورده را کاهش داده و موجب تغییر در اجزای عملکرد، کاهش شاخص برداشت و کاهش عملکرد دانه می‌شود (Earl and Davis., 2003). داریانتو و همکاران (Daryanto et al., 2016) نیز با بررسی داده‌های چندساله و گردآوری‌شده از سرتاسر مناطق ذرت کاری جهان، گزارش دادند که ذرت یکی از حساس‌ترین گیاهان به کم‌آبی است و عملکرد آن به‌شدت کاهش می‌یابد. تلقیح مزرعه با ازتوباکتر هرچند اندکی عملکرد دانه را افزایش داد اما ازنظر آماری تأثیری معنی‌داری نداشت. در موردا ستفاده از کودهای شیمیایی و ورمی کمپوست نیز نتایج نشان داد که کودهای شیمیایی اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشته و با کاربرد کودهای شیمیایی از سطح صفر به ۱۰۰ درصد نیاز کودی گیاه بر اساس آزمون خاک، میانگین عملکرد دانه از ۴/۵ به ۷/۸ تن در هکتار رسید (شکل شماره ۱a). از سوی دیگر استفاده از ورمی کمپوست نیز تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت و با افزایش مصرف ورمی کمپوست از صفر به شش تن در هکتار، میانگین عملکرد دانه از ۵/۵ به ۷/۲ تن در هکتار افزایش یافت (شکل شماره ۱b). در هر دو سطح آبیاری کامل و محدود با افزایش میزان کود شیمیایی عملکرد دانه به شکل معنی‌داری بیشتر شد. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش ورمی کمپوست در هر دو شرایط آبیاری، عملکرد دانه افزایش یافت، بر اساس نتایج در شرایط تنش خشکی و استفاده از شش تن در هکتار ورمی کمپوست، میانگین عملکرد دانه در شرایط کم‌آبی از ۳/۸ با

1. FAO Penman-Monteith equation

2. Near Infra-Red

۴/۹ تن در هکتار افزایش یافت. بیشترین میزان عملکرد دانه (۱۰/۷ تن در هکتار) در تیمار آبیاری کامل و مصـرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و شش تن در هکتار ورمی کمپوست به دست آمد و کمترین میزان آن (۲/۶ تن در هکتار) مربوط به تیمار تنش خشکی و عدم مصرف کودهای شیمیایی و ورمی کمپوست بود.



شکل ۱. اثر ورمی کمپوست و کود شیمیایی بر عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و محدود

Fig. 1. Effect of vermicompost and chemical fertilizers on grain yield under optimum and limited irrigation conditions

نتایج نشـــان داد که مصـــرف توأم شـــش تن در هکتار ورمی‌کمپوست و استفاده از ۵۰ درصد کودهای شیمیایی بر اســـاس نیاز کودی گیاه با تیمار مصـــرف ۱۰۰ درصـــد کود شـــیمیایی و عدم اســـتفاده از کودهای زیســـتی، تفاوت معنی‌داری نداشت و حتی اندکی بیشتر نیز بود. عملکرد دانه در تیمار مصـرف ۵۰ درصـد کود شـیمیایی و شـش تن در هکتار ورمی کمپوســـت به ترتیب ۵/۲ و ۱۰/۵ تن در هکتار تیمارهای آبیاری محدود و کامل بود، درحالی‌که در تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی و عدم مصرف کودهای زیســـتی این میزان به ترتیب ۴/۷ و ۱۰/۲ تن در هکتار بود؛ به‌عبارت‌دیگر با اســـتفاده از شـــش تن در هکتار ورمی کمپوســـت و تلقیح با ازتوباکتر می‌توان مصـــرف کودهای شیمیایی را ۵۰ درصد کاهش داد؛ اما مصرف ورمی کمپوست و ازتوباکتر بدون استفاده از کودهای شیمیایی نتوانست تمام نیاز گیاه را نسبت به مصرف کودهای شیمیایی تأمین نماید و عملکرد دانه در این تیمار به ترتیب ۴ و ۶/۹ تن در هکتار در شـــرایط آبی محدود و مطلوب بود (شـــکل شـــماره 1c و جدول شماره ۲).

یداو و همکاران (Yadav et al., 2007) اعلام داشتند که با مصرف ورمی کمپوست به میزان پنج تن در هکتار عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت بیشتر شد، این افزایش عملکرد احتمالاً به دلیل وجود مقادیر بالاتر نیتروژن در دسترس است که برای تولید پروتئین‌های ساختاری ضروری هستند. علاوه بر عناصر غذایی و مواد آلی، کمپوست و ورمی کمپوست دارای مقادیر زیادی مواد هیومیکی است که این مواد از طریق بهبود زیست‌فراهمی عناصر غذایی خاص، به‌ویژه آهن و روی و اثر مستقیم بر متابولیسم گیاهی (Nardi et al., 2002) باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌گردند (Tartoura, 2010). همچنین محققین یکی دیگر از دلایل افزایش عملکرد با کاربرد ورمی کمپوست را بیشتر شدن ظرفیت نگهداری آب در خاک به دلیل بیشتر شدن درصد کربن آلی خاک می‌دانند. نمازی و همکاران (Namazi, 2015) گزارش دادند که با مصرف ۷۵ درصد کود شیمیایی‌بر اساس آزمون خاک و پنج تن در هکتار ورمی کمپوست حداکثر عملکرد دانه در ذرت به دست می‌آید.

درصد پروتئین دانه

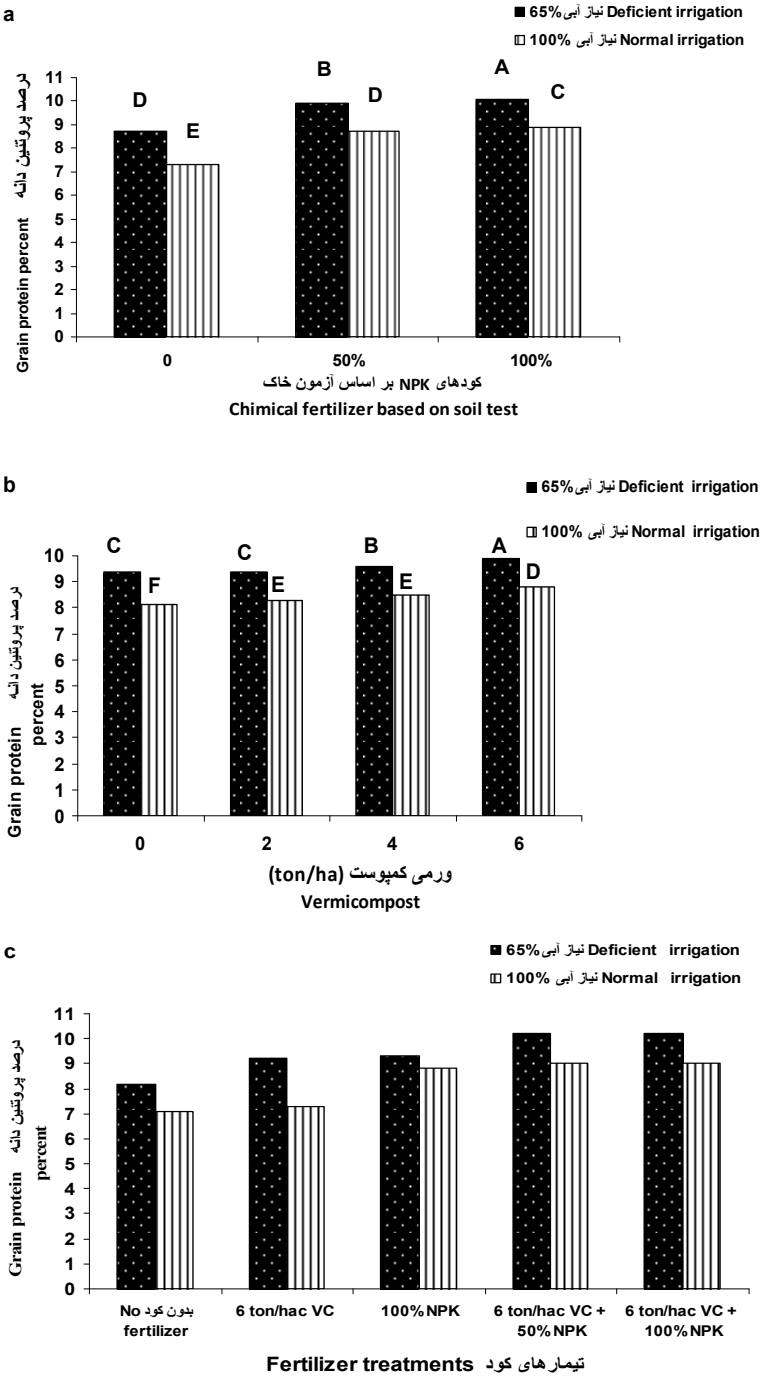
نتایج آزمایش نشان داد سطوح آبیاری اثر معنی‌داری بر این صفت داشته و با کاهش میزان آب مصرفی در صد پروتئین دانه افزایش یافت. درصـــد پروتئین دانه در شـــرایط آبیاری کامل ۸/۴ درصد و در شرایط تنش خشکی ۹/۶ درصد بود. بحرانی و همکاران (Bahrani et al., 2009) گزارش دادند که تنش خشـــکی در مرحله پر شـــدن دانه موجب کاهش تجمع کربوهیدرات و افزایش درصـــد پروتئین دانه گردید. همچنین آفرینش و همکاران (Afarinesh et al., 2016) با بررسی اثر تنش خشکی بر درصد پروتئین دانه هیبریدهای ذرت نشان دادند که با تنش خشکی درصد پروتئین دانه از ۸/۲ به ۹/۵ درصد افزایش یافت. از طرف دیگر نتایج آزمایش نشـــان داد ازتوباکتر اثر معنی‌داری بر درصـــد پروتئین دانه نداشـــت، اما کودهای شـــیمیایی و ورمی کمپوســـت اثر معنی‌داری بر این صفت داشتند. با کاربرد کودهای شیمیایی از صفر به ۱۰۰ در صد نیاز کودی گیاه، در صد پروتئین دانه از ۸ به ۹/۶ در صد افزایش یافت. همچنین با افزایش مصرف ورمی کمپوست از صفر به شش تن در هکتار درصد پروتئین از ۸/۸ به ۹/۱ درصـــد رســـید. علاوه بر این، در هردو ســـطح آبیاری مطلوب و محدود کودهای شیمیایی و ورمی کمپوست درصد پروتئین دانه را افزایش دادند (شکل شماره ۲).

نتایج نشان داد درصد پروتئین دانه در تیمار مصرف توأم شش تن در هکتار ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی به میزان ۵۰ درصد نیاز کودی در تیمارهای آبیاری کامل و محدود به ترتیب ۹ و ۱۰/۲ درصد بود درحالی‌که این صفت در تیمار مصرف کودهای شیمیایی به مقدار ۱۰۰ درصد نیاز کودی گیاه تحت تأثیر تیمارهای آبیاری کامل و محدود به ترتیب ۸/۹ و ۹/۸ درصد بود. درواقع تیمار مصرف توأم کودهای زیستی با ۵۰ درصد کود شیمایی درصد پروتئین بیشتری نسبت به مصرف ۱۰۰ درصد نیاز کودی گیاه داشت (شکل شماره 2c و جدول شماره ۲).

درصد نشاسته دانه

بر اساس نتایج، تنش خشکی درصد نشاسته دانه را به شکل معنی‌داری و از ۷۲/۱ به ۶۷/۵ درصد کاهش داد. درحالی‌که استفاده از ازتوباکتر تأثیری بر درصد نشاسته دانه نداشت. مصرف کود شیمیایی به میزان ۱۰۰ درصد میزان توصیه‌شده بر اساس آزمون خاک درصد نشاسته دانه را حدود یک درصد نسبت به تیمار عدم مصرف کودهای شیمیایی افزایش داد. از سوی دیگر استفاده از ورمی کمپوست نیز از سطح صفر تا شش تن در هکتار درصد نشاسته دانه را از ۶۸/۹ به ۷۰/۷ درصد رساند. در بین اثرات متقابل نیز تنها اثر متقابل کودهای

شیمیایی و ورمی کمپوست بر درصد نشاسته دانه معنی‌دار بود (شکل شماره ۳ و جدول شماره ۲). در مرحله پر شدن دانه اولین ترکیباتی که در دانه ذخیره می‌شوند ترکیبات پروتئینی‌اند و بعدازاین مرحله ترکیبات کربوهیدراتی در دانه ذخیره می‌شود، بنابراین هر چه طول دوره پر شدن دانه به‌واسطه کمبود آب کوتاه شود به‌منزله کوتاه شدن دوره ذخیره‌سازی کربوهیدرات است و اثر کمتری بر ذخیره‌سازی پروتئین دارد، به همین دلیل است که با افزایش شدت تنش خشکی درصد نشاسته دانه کاهش و پروتئین افزایش می‌یابد (Jalilian et al., 2011).



شکل ۲. اثر ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی بر درصد پروتئین دانه در شرایط آبیاری مطلوب و محدود

Fig. 2. Effect of vermicompost and chemical fertilizers on grain protein percent under optimum and limited irrigation conditions

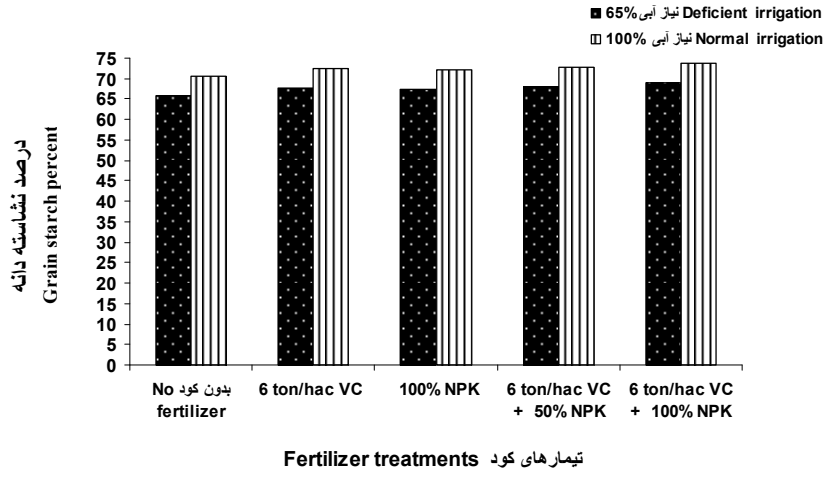
جدول ۲. مقایسه میانگین عملکرد دانه، درصد پروتئین دانه و درصد نشاسته دانه ذرت در تیمارهای مختلف آبیاری و کودهای زیستی و شیمیایی

Table 2. Mean comparison for grain yield, grain protein percent and grain starch percent of corn in different irrigation treatments and biological and chemical fertilizers

آبیاری (نیاز آبی گیاه) Irrigation (water requirement)	کود شیمیایی (مقدار توصیه‌شده) NPK (recommendation based on soil test)	ورمی کمپوست (ton/ha) Vermicompost	عملکرد دانه Grain Yield (ton/ha)	پروتئین دانه درصد Grain Protein %	نشاسته دانه درصد Grain Starch %
65%	0%	0	2.72^{L*}	8.21^{I}	65.76^{N}
		2	3.04^{L}	8.5^{H}	66.9^{LM}
		4	3.78^{K}	8.89^{FG}	67.37^{KL}
		6	4.14^{JK}	9.29^{E}	67.93^{IJ}
	50%	0	4.02^{JK}	9.77^{D}	66.73^{M}
		2	4.65^{I}	9.95^{C}	67.46^{K}
		4	4.82^{HI}	9.92^{C}	67.4^{KL}
		6	5.19^{GH}	10.2^{AB}	68.12^{I}
	100%	0	4.72^{I}	10.01^{BC}	67.47^{K}
		2	5.26^{GH}	10.13^{BC}	67.54^{JK}
		4	5.35^{G}	10.23^{AB}	68.59^{H}
		6	5.45^{FG}	10.21^{A}	68.92^{H}
100%	0%	0	4.40^{IJ}	7.15^{L}	70.31^{G}
		2	5.22^{GH}	7.21^{KL}	71.56^{EF}
		4	5.84^{F}	7.31^{K}	71.98^{D}
		6	6.94^{E}	7.71^{J}	72.58^{BC}
	50%	0	7.33^{E}	8.4^{H}	71.32^{F}
		2	8.03^{D}	8.83^{G}	72^{D}
		4	8.51^{C}	8.83^{G}	72^{D}
		6	10.31^{AB}	8.9^{FG}	72.79^{B}
	100%	0	10.20^{B}	8.86^{G}	72.15^{D}
		2	10.33^{AB}	8.89^{F}	72.23^{CD}
		4	10.38^{AB}	8.98^{F}	73.36^{A}
		6	10.70^{A}	8.95^{F}	73.73^{A}

*حروف مشابه در ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ($P\leq0.05$) می‌باشد.

*Means with the same letters are not significantly different using least significant difference (LSD) test at 5% probability level.



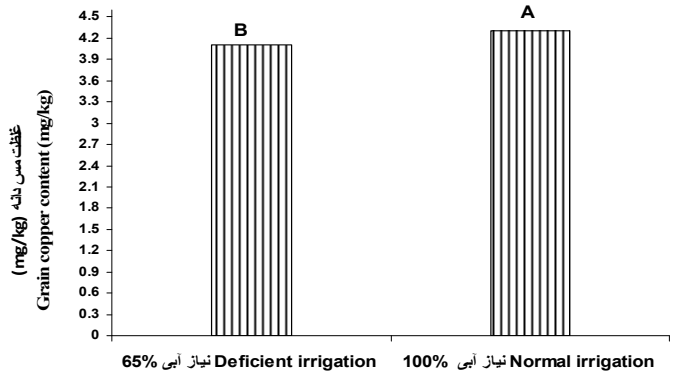
شکل ۳. اثر ورمی کمپوست بر درصد نشاسته دانه در شرایط آبیاری مطلوب و محدود

Fig. 3. Effect of vermicompost on grain starch percent under optimum and limited irrigation conditions

غلظت مس دانه

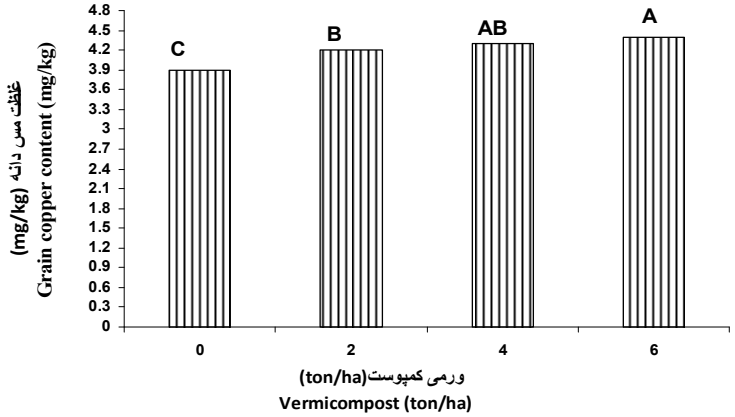
نتایج نشان داد که کاهش میزان آب آبیاری غلظت مس در دانه را به شکل معنی‌داری کاهش داد. غلظت مس دانه در شرایط آبیاری کامل و محدود به ترتیب ۴/۳ و ۴/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (شکل شماره ۴).

کودهای شیمیایی، ازتوباکتر و اثرات متقابل این تیمارها اثری بر غلظت مس دانه نداشتند؛ اما ورمی کمپوست اثر معنی‌داری بر میزان مس دانه داشت و میانگین این صفت در تیمار عدم مصرف ورمی کمپوست ۳/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود درحالی‌که این میزان در تیمار مصرف شش تن در هکتار ورمی کمپوست ۴/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که البته با تیمار مصرف چهار تن در هکتار ورمی کمپوست تفاوت معنی‌داری نداشته و در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل شماره ۵). وگلربیتون و همکاران (Weggler- Beaton et al., 2003) نیز گزارش دادند که کاربرد کودهای آلی غلظت مس در دانه گندم را افزایش داد. بر اساس گزارش رضوان طلب و همکاران (Rezvantalab et al., 2015) اثر کودهای اوره، فسفر و پتاس بر غلظت مس دانه و برگ در ذرت هیبرید ۷۰۴ معنی‌دار نبود ولی کمپوست زباله شهری غلظت مس دانه را به شکل معنی‌داری افزایش داد.



شکل ۴. اثر سطوح آبیاری بر درصد مس دانه در شرایط آبیاری مطلوب و محدود

Fig. 4. Effect of irrigation levels on grain copper content under optimum and limited irrigation conditions



شکل ۵. اثر ورمی کمپوست بر درصد مس دانه در شرایط آبیاری مطلوب و محدود

Fig. 5. Effect of vermicompost on grain copper content under optimum and limited irrigation conditions

نتیجه‌گیری

استفاده از ورمی کمپوست به میزان شش تن در هکتار و همچنین تلقیح مزرعه با ازتوباکتر اگرچه نمی‌تواند نیاز کودی گیاه ذرت را تأمین نماید، اما می‌تواند تا ۵۰ درصد مصرف کودهای شیمیایی را کاهش دهد و بر اساس داده‌های حاصل از دو سال اجرای آزمایش، استفاده توأم از شش تن

در هکتار ورمی کمپوست به همراه ۵۰ درصد مصرف کود شیمیایی بر اساس آزمون خاک، در هردو شرایط آبیاری مطلوب و محدود با تیمار مصرف ۱۰۰ در صد کود شیمیایی تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین استفاده از ورمی کمپوست کیفیت بذر ذرت را در هردو شرایط آبیاری مطلوب و محدود افزایش داد.

منابع

Afarinesh, A., Fathi, G., Chugan, R., Syadat, S.A., Alamisaid, G., Ashrafizadeh, S.R., 2016. Effect of drought stress on physiological traits of maize (*Zea mays* L.) hybrids. Journal of Crop Production and Processing. 5(18), 195-205. [In Persian with English Summary]

Ahmadabadi, Z., GhajarSepanlou, M., RahimiAlashti, S., 2012. Effect of vermicompost on physical and chemical properties of soil. Journal of Water and Soil Science. 15(58), 125-137. [In Persian with English summary].

Akbasova, A., Sainova, G., Aimbetova, I., Akeshova, M., Sunakbaeva, D., 2015. Impact of vermicompost on the productivity of agricultural crops. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 6(4), 2084-2088.

Arrudaa, L., Beneduzi, A., Martins, A., Lisboa, B., Lopes, C., Bertolo, F., Passaglia, M., Vargas K., 2013. Screening of Rhizobacteria isolated from maize (*Zea mays* L.) in Rio Grande do sol state (South Brazil) and analysis of their potential to improve plant growth. Applied Soil Ecology. 63, 15- 22.

Atta, Y., Abdel-fatah, A., Gaafar, I., AbdouHassan, W., 2015. Validation of accurate determination of Maize water requirements in Nile Delta. Proceedings of the 26th Euro-mediterranean regional conference and workshops. Innovate to improve Irrigation performances. 12-15 October 2015, Montpellier, France.

Babaogli, F., RahimzadehKhoeai, F., Mehrdad, Y., 2012. Effect of biological fertilizer on yield and yield components of corn (*Zea mays*) CV. S.C. 504 in drought condition. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences. 2(3), 117-122.

Bahrani, A., Heidari Sharifabad, H., TahmasebiSavestani, Z., Moafpourian, GH., Ayenehband, A., 2009. Wheat (*Triticum aestivum* L.) response to nitrogen and postanthesis water deficit. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 6(2), 231- 239.

Daryanto, S., Wang, L., Jacinthe, P., 2016. Global synthesis of drought effects on Maize and Wheat production. PLoS ONE 11(5).

Delgosha, l., Mansorifar, S., Sadatasilan, K., Asghari, H., 2015. Effects of organic fertilizer, bio and chemical fertilizer on yield and forage protein of corn Maxima hybrid. Proceedings of the Second Conference of New Findings in Environment and Agriculture Ecosystems. 11 Sep. 2015. Tehran, Iran. [In Persian]

Earl, H., Davis, R., 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of Maize. Agronomy Journal. 95(3), 688-696.

El-Karmany, M., 2001. Effect of organic manure and slow-release fertilizer on the productivity of wheat in sandy soil. Acta Agronomica Hungarica. 49(4), 379-385.

Hegde, D., Dwived, B., Sudhakara, S., 1999. Biofertilizers for cereal production in India-a review. Indian Journal of Agricultural Science. 69, 73-83.

Jahan, M., Koocheki, A., Ghorbani, R., Rejali, F., Aryayi, M. and Ebrahimi, E., 2009.The effect of biological fertilizers application on some agroecological characteristics of corn under conventional and ecological cropping systems. Iranian Journal of Agricultural Research, 7(2), 357-390. [In Persian with English summary].

Jalilian, A., Ghobadi, R., Farnia, A., 2011. Effects of drought stress and nitrogen fertilizer on grain quality traits of corn 704 hybrid. Proceedings of the 5th National Conference on New Ideas in Agriculture, Islamic Azad University Khorasgan branch. 16-17 February 2011, Isfahan, Iran [In Persian]

Kader, M., Main, M., Hoque, M., 2002. Effects of Azotobacter inoculant on the yield and nitrogen uptake by wheat. On Line Journal of Biological Sciences, 2(4), 259-261.

Lunven, P., 1992. Maize in human nutrition. FAO, Food and Nutrition Series, No. 25, FAO code: 80, AGRIS: SO1. Retrieved June 15,

2018, from http://www.fao.org/docrep/T0395E/T0395E00.htm.

Namazi, E., Lak, S., Fathinejad, E., 2015. Effect of vermicompost and chemical nitrogen fertilizer application on the various functioning of Maize seeds. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences. 3(3), 261-268

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vianello, A., 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biology and Biochemistry. 34, 1527-1536.

O'Leary, M., 2016. Maize: From Mexico to the world. CIMMYT. Retrieved Jun 24, 2018, from http://www.cimmyt.org/maize-from-mexico-to-the-world

Rezvantalab, N., Pyrdshty, R., Bahmanyar, M., Abbasian, A., 2015. Effect of sewage sludge and mineral fertilizers on the concentration of some micronutrients in leaves and seeds corn. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research. 8 (32), 21-30. [In Persian with English Summary].

Tartoura, A., 2010. Alleviation of oxidative-stress induced by drought through application of compost in wheat (*Triticum aestivum* L.) plants. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 9(2), 208-216.

Tilman, D., Cassman, K., Matson, P., Naylor, R., Polaskt, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature, 8(418), 671-677.

Weggler-Beaton, R., Graham, D., Melaugin, M., 2003. The influence of low rates of arid- dried on yield and phosphorus and zinc nutrition of wheat and barley. Australian Journal of Soil Research. 41, 293- 308.

Yadav, P., Sadhu, A., Swarnkar, P., 2007. Yield and quality of multi-cut forage sorghum (*Sorghum sudanense*) as influenced by integrated nitrogen management. Indian Journal of Agronomy. 52(4), 330-334.

Zahir, A., Arshad, M., Frankenberger, W., 2004. Plant growth promoting Rhizobacteria: Applications and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy. 81, 97-168.

Zotarelli, L., Dukes, M., Romero, C., Migliaccio, K., Kelly, T., 2015. Step by Step Calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method). Agricultural and Biological Engineering Department, UF/IFAS Extension. AE459. Retrieved Aug 4, 2018, from http://edis.ifas.ufl.edu.