



تحقیقات غلات

دوره نهم / شماره اول / بهار ۱۳۹۸ (۴۳-۵۴)

تأثیر منابع مختلف کودی بر ویژگی‌های کیفی ذرت علوفه‌ای تحت تنش کم‌آبی

فرزاد قدرتی آورسی^۱، جلال جلیلیان^{۲*} و سینا سیاوش مقدم^۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۰

چکیده

به منظور مطالعه اثر کودهای مختلف بر کاهش آثار تنش کم‌آبی در ذرت علوفه‌ای (KSC703)، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ در آذربایجان غربی اجرا شد. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی (آبیاری معمولی) و آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش کم‌آبی) به عنوان عامل اصلی و منابع کودی شامل شاهد (آب‌پاشی)، کود آلی-زیستی، محلول‌پاشی کودهای کامل (شیمیایی، نانو) و کاربرد توام ۵۰ درصدی کودها (آلی-زیستی+نانو، آلی-زیستی+شیمیایی، شیمیایی+نانو) به عنوان عامل فرعی آزمایش در نظر گرفته شدند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل‌های a و b) تحت شرایط آبیاری معمولی و کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای شیمیایی+نانو به دست آمد و سبب شد که بیش‌ترین میزان عملکرد علوفه تر (۷۰ تن در هکتار) و خشک (۳۲ تن در هکتار) به دست آید. این ترکیب تیماری سبب افزایش ۴۷ درصدی عملکرد علوفه تر و خشک ذرت در مقایسه با تیمار کودی شاهد شد. بیش‌ترین میزان پرولین از تیمار کود نانو تحت شرایط تنش کم‌آبی به دست آمد. بیش‌تر تیمارهای کودی منجر به افزایش پتاسیم برگ تحت هر دو شرایط آبیاری شدند. همچنین، کاربرد اغلب تیمارهای کودی تحت شرایط آبیاری معمولی، سبب افزایش پروتئین خام، هضم‌پذیری ماده خشک، کربوهیدرات‌های محلول در آب و میزان فیبر خام در مقایسه با تیمار شاهد شد. به طور کلی بر اساس نتایج این تحقیق، کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای شیمیایی+نانو به دلیل بهبود برخی ویژگی‌های کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای، به عنوان ترکیب تیماری تأثیرگذار تحت هر دو شرایط آبیاری تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین خام، پرولین، کود زیستی، کود شیمیایی، کود نانو

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

* نویسنده مسئول: J.Jalilian@urmia.ac.ir

ذرت (*Zea mays L.*) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین غلات، اهمیت زیادی در تامین انرژی انسان و دام دارد. با توجه به گزارش سازمان خوار و بار کشاورزی، پنجمین کالای تولید شده در جهان است (FAOSTAT, 2018). تولید جهانی ذرت در سال ۲۰۱۸-۲۰۱۷ بیش از ۱۰۰۰ میلیون تن بود و بیش‌ترین تولید را ایالات متحده آمریکا (۳۷۹ میلیون تن)، چین (۲۱۵ میلیون تن) و برزیل (۸۵ میلیون تن) داشته است (USDA, 2018). خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان در جهان است که هر ساله عملکرد جهانی ذرت را به‌طور متوسط ۱۷ درصد کاهش می‌دهد و در بعضی مناطق این کاهش تا ۷۰ درصد نیز گزارش شده است (Dastbandan Nejad et al., 2010). کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاهش جذب عناصر غذایی و افزایش پرولین در اثر تنش خشکی نیز توسط برخی از محققین گزارش شده است (Wu and Xia, 2006; Moharramnejed et al., 2016). بنابراین، می‌بایست راه‌کارهایی جهت افزایش راندمان و استفاده بهینه از آب جستجو کرد. یکی از اقدامات کارآمد در صرفه‌جویی آب کشاورزی، استفاده از راه‌کار کم‌آبیاری است که در آن، به گیاه کم‌تر از نیاز واقعی آب داده می‌شود (Payero et al., 2009).

در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، به‌دلیل عدم وجود پوشش گیاهی کافی، میزان مواد آلی خاک کم است. از طرفی، به‌دلیل حذف بقایای گیاهی و تخلیه خاک از عناصر غذایی و مواد آلی، استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی مرسوم است که آثار مخربی را بر ظرفیت نگهداری آب و خاک و توانایی گیاهان برای سازگاری با تغییرات آب و هوایی در این مناطق داشته است (Sika, 2012). کاربرد منابع و نهاده‌های تجدیدپذیر، یکی از اصول کشاورزی پایدار است که موجب حداکثر بهره‌وری زراعی و کم‌ترین خطرات زیست‌محیطی می‌شود (Kizilkaya, 2008). کودهای زیستی در برخی موارد به‌عنوان جایگزین و در بیش‌تر موارد به‌عنوان مکمل کودهای شیمیایی می‌توانند پایداری تولید نظام‌های کشاورزی را تضمین کنند (Arrudaa et al., 2013). کودهای زیستی حاوی ریزموجودات آزادی هستند که طی فرایند بیولوژیک، عناصر غذایی اصلی را از فرم غیرقابل دسترس به فرم قابل دسترس تبدیل می‌کنند (Khan et al., 2013). برخی گزارش‌ها نشان می‌دهند که کاربرد کودهای زیستی به‌همراه افزودن عناصر غذایی

پرمصرف (نیترژن، فسفر، پتاسیم) و کم‌مصرف (روی، آهن، مولیبدن، مس، منگنز و بور) به‌خاک سبب کاهش کارایی کودهای زیستی و کاهش جذب آب و مواد غذایی در گیاه می‌شود. برای رفع این مشکل می‌توان با تلفیق کودهای زیستی و محلول‌پاشی عناصر غذایی، بهره‌برداری از عناصر غذایی خاک و تولید عملکرد گیاه را به‌طور چشم‌گیری افزایش داد (Archana et al., 2012; Amanullah et al., 2012). افزایش پروتئین خام و کربوهیدرات‌های محلول در آب با استفاده از کودهای زیستی نیز گزارش شده است (Gendy et al., 2012; Maougal et al., 2014). در سال‌های اخیر تلاش‌های گسترده‌ای با هدف یافتن راه‌کارهای مناسب برای بهبود کیفیت خاک، محصولات کشاورزی و حذف آلاینده‌ها آغاز شده است. استفاده از فناوری نانو در کشاورزی موجب شده است نانو کودهایی تولید شوند که به‌مدت طولانی در خاک باقی می‌مانند و در اختیار گیاه قرار می‌گیرند و به‌آسانی توسط گیاهان جذب می‌شوند (Rameshaiah and Jpallavi, 2015). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که کاربرد نانو کودها به‌خاطر آزادسازی تدریجی موجب افزایش کارایی مواد غذایی در گیاهان می‌شوند (Siddiqui et al., 2015). با توجه به ضرورت کاهش مصرف کودهای شیمیایی جهت کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و نیز مصرف بهینه آب آبیاری در راستای تولید پایدار و افزایش کارایی اقتصادی در شرایط کشت دوم، این پژوهش اجرا شد که هدف آن، بررسی اثر کودهای نانو، شیمیایی، زیستی-آلی و کاربرد توأم این کودها بر صفات فیزیولوژیک و کیفیت علوفه ذرت تحت شرایط آبیاری معمولی و تنش کم‌آبی بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر منابع مختلف کودی بر گیاه ذرت علوفه‌ای (هیبرید KSC703) تحت شرایط کم‌آبی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. مزرعه آزمایشی در منطقه سیلوانا در استان آذربایجان غربی (با طول و عرض جغرافیایی ۲۹°، ۸۷'، ۴۴° و ۳۷°، ۲۳'، ۶۰") به‌صورت کشت دوم پس از برداشت جو با ویژگی‌های خاک به‌شرح جدول ۱ بود. متوسط بارندگی سالانه سیلوانا بر اساس آمار هواشناسی استان آذربایجان غربی در سال ۱۳۹۵، ۲۸۶/۲ میلی‌متر، رطوبت نسبی ۵۶ درصد و حداقل و حداکثر دما در دوره رشد به‌ترتیب ۶/۸ و ۳۷/۷ درجه سلسیوس بود.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1. Soil physico-chemical properties of the experimental field

Soil texture	EC*	pH	OC*	Total N*	P	K	Zn	Cu	Fe
	(dS.m ⁻¹)		(%)				(mg.kg ⁻¹)		
Sandy loam	4.84	7.8	3.45	0.215	13.5	194	1.4	1.2	2.4

*: OC, organic carbon; EC, electrical conductivity.

۷/۵ تن در هکتار قبل از کشت به خاک اضافه شد. سپس کودهای زیستی محصول شرکت زیست‌فناور که شامل فسفات بارور-۲، پتاس بارور-۲ و ازت بارور-۱ بودند، قبل از کاشت به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار با بذر در سایه آغشته شدند و بذرها بعد از دو ساعت به صورت کپه‌ای با فاصله ۱۰ سانتی‌متر روی ردیف‌ها کشت شدند. پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها، کرت‌های آزمایشی تا تراکم ۲۰ بوته در متر مربع تنک شدند. تیمارهای محلول‌پاشی از هفته سوم پس از کاشت با فاصله ۱۰ روز یک‌بار و سه بار تکرار، تا زمان خیس شدن کامل گیاهان اعمال شدند. کود کامل شیمیایی محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم (N₂₀%, P₂₀%, K₂₀%) و عناصر ریزمغذی روی، آهن، مولیبدن، مس، منگنز و بور بود. کود کامل نانو مورد استفاده از نوع کود نانو خضراء محصول شرکت دانش‌بنیان صدور احرار شرق بود که به صورت محلول‌پاشی استفاده شد و حاوی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (N₂₀%, P₂₀%, K₂₀%) و عناصر ریزمغذی روی، آهن، مولیبدن، مس، منگنز و بور بود. وجین علف‌های هرز در چند نوبت به صورت دستی انجام شد. نمونه‌برداری از کرت‌های آزمایشی به منظور سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین و پتاسیم، در مرحله ظهور گل‌تاجی انجام شد. در پایان فصل رشد، پس از حذف بوته‌های حاشیه از هر کرت، یک متر مربع برداشت و وزن تر و خشک علوفه اندازه‌گیری شد. سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی با استفاده از روش آرنون انجام شد (Arnon, 1949). اندازه‌گیری پرولین تجمع‌یافته در برگ با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر و با توجه به منحنی استاندارد، بر حسب میلی‌مول بر گرم وزن تر برگ تعیین شد (Bates et al., 1973). برای سنجش عناصر غذایی از روش طیف‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات و وانادات) و هضم خشک با استفاده از دستگاه‌های اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر (فسفر) و روش فلیم‌فوتومتری (پتاسیم) انجام شد (Tenninghoff and Houba, 2004). همچنین برای اندازه‌گیری کیفیت علوفه در مرحله شیری شدن دانه ذرت تعداد ۱۰ بوته پس از خشک شدن در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس، با آسیاب

پس از برداشت جو، بستر کشت ذرت علوفه‌ای آماده شد. تیمار آبیاری به‌عنوان عامل اصلی شامل آبیاری در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی (آبیاری معمولی) و آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش کم‌آبی) و منابع کودی به‌عنوان عامل فرعی شامل (۱) شاهد (آب‌پاشی)، (۲) کود آلی-زیستی، (۳) و (۴) محلول‌پاشی کودهای کامل (شیمیایی و نانو)، (۵) و (۶) و (۷) کاربرد توأم ۵۰ درصدی کودها به صورت (۵) آلی-زیستی + نانو، (۶) آلی-زیستی + شیمیایی و (۷) شیمیایی + نانو بودند. ابعاد کرت‌های آزمایش به طول ۳/۶ متر و عرض ۲/۵ متر بود و در هر کرت پنج ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و ۱۰ سانتی‌متر روی ردیف‌ها در نظر گرفته شد.

به‌منظور اعمال تیمارهای آبیاری، ابتدا وزن مخصوص ظاهری خاک (۱/۴۱ g.cm⁻³) و میزان رطوبت وزنی خاک در ظرفیت زراعی (۲۳ درصد) و در نقطه پژمردگی دائم (۱۰/۲ درصد) در نمونه خاک مزرعه اندازه‌گیری شد و سپس مقدار آب مورد نیاز برای تیمارهای ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی طبق رابطه (۱) تعیین شد (Benami and Ofen, 1984):

$$VN = \frac{[(FC - WP) \times BD \times (1 - ASM) \times A]}{100} \quad (1)$$

در این رابطه، VN مقدار آب مورد نیاز برای تیمارهای ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، FC درصد وزنی رطوبت در حد ظرفیت مزرعه‌ای، WP درصد وزنی رطوبت در نقطه پژمردگی، BD جرم مخصوص ظاهری خاک (بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D عمق توسعه ریشه (بر حسب متر)، ASM رطوبت خاک مزرعه در زمان قبل از آبیاری و A مساحت هر کرت (بر حسب متر مربع) است. میزان آب مصرفی در هر یک از رژیم‌های آبیاری با استفاده از کنتور اندازه‌گیری و اعمال تنش کم‌آبی از هفته سوم کاشت به بعد انجام شد.

به‌منظور اعمال تیمار کود آلی-زیستی، کود دامی (کود گاوی) در تیمارهای کامل، کود آلی به‌میزان ۱۵ تن در هکتار و در تیمارهای ۵۰ درصد، نصف مقدار کود دامی یعنی

زراعی تفاوت معنی داری نداشت. به عبارت دیگر، اعمال کود نانو تحت شرایط آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی موجب افزایش پرولین نسبت به سایر تیمارهای کودی تحت هر دو شرایط آبیاری شد (جدول ۴). دلانی و همکاران (Delauney *et al.*, 1993) گزارش کردند که عناصر ریزمغذی در شرایط تنش خشکی نقش افزایش دهنده تنظیم اسمزی (به خاطر افزایش پرولین و یا قندهای محلول) دارند. بنابراین می توان دریافت که کاربرد کود (نانو) به واسطه تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه سبب افزایش فتوسنتز و ماده سازی و افزایش میزان اسیدهای آمینه از جمله پرولین در گیاه می شود.

پتاسیم برگ

گیاهان تحت تیمار کود آلی-زیستی تحت شرایط آبیاری معمولی بیشترین مقدار پتاسیم برگ (۳/۲۵ درصد) و تحت تیمار کاربرد توام ۵۰ درصد کودهای شیمیایی+آلی-زیستی تحت هر دو شرایط آبیاری کمترین مقدار آنرا داشتند. همچنین نتایج نشان داد که تغذیه مطلوب در شرایط تنش کم آبی مانع از کاهش جذب پتاسیم به جز در تیمار کاربرد توام ۵۰ درصد کودهای شیمیایی+آلی-زیستی شد (جدول ۴). افزایش اسیدیته خاک و عدم تثبیت پتاسیم در حضور کودهای زیستی از دلایل افزایش دسترسی این عنصر در خاک و جذب بیش تر آن توسط گیاه است (Bahadur *et al.*, 2014). کاهش پتاسیم طی تنش خشکی توسط ویو و ژیا (Wu and Xia, 2006) هم گزارش شد. تعداد زیادی از ریزجانداران در آزادسازی پتاسیم به شکل قابل استفاده از ترکیبات معدنی و بنابراین افزایش جذب توسط گیاه نقش دارند. گزارش شده است که میزان افزایش حلالیت پتاسیم بر اثر تلقیح با باکتری های محرک رشد ۱۲۷/۹-۸۴/۸ درصد نسبت به شاهد بوده است (Meena *et al.*, 2014).

به طور کامل پودر و از هر کدام یک نمونه ۱۰۰ گرمی جدا شد. اندازه گیری کیفیت علوفه با روش طیفسنجی مادون قرمز (NIR) با استفاده از دستگاه مدل Perten Inframatic 8620 انجام شد. روش طیفسنجی مادون قرمز بر اساس جذب و انعکاس اشعه مادون قرمز در طول موج های بین ۲۵۰۰-۷۰۰ نانومتر استوار است. در این روش، اشعه بر جسم تابانیده می شود و انرژی منعکس شده (R) از نمونه بر اساس لگاریتم L/R اندازه گیری و دستگاه بر اساس برآزش معادلات خطی رگرسیونی چندمتغییره بین انرژی های منعکس شده از جسم و داده های شیمیایی، کالیبره می شود. پس از کالیبراسیون دستگاه NIR، صفات مورد مطالعه اندازه گیری شد (Jafari *et al.*, 2003). تجزیه و تحلیل داده ها با نرم افزار SAS و مقایسه میانگین ها با روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده ها (جدول های ۲ و ۳) نشان داد که اثر برهمکنش رژیم های آبیاری × کود بر تمامی صفات به جز فسفر برگ معنی دار بود.

پرولین

نتایج نشان داد که گیاهان تحت تنش کم آبی دارای پرولین بیش تری نسبت به گیاهان تحت شرایط آبیاری معمولی بودند. بیشترین مقدار پرولین (۹/۰۳ میلی مول در گرم وزن تر برگ) در تیمار کود نانو تحت شرایط آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین مقدار آن (۲/۰۸ میلی مول در گرم وزن تر برگ) در تیمار کود شیمیایی تحت شرایط آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد که با تیمار کود شیمیایی تحت شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات کمی و فیزیولوژیک ذرت علوفه ای تحت رژیم های مختلف آبیاری و کودی

Table 2. Analysis of variance for quantitative and physiological traits of forage maize as affected by different irrigation regimes and fertilizers

Sources of variations	df	Proline	Potassium	Phosphorus	Chlorophyll-a	Chlorophyll-b	Total chlorophyll	Fresh forage weight	Dry forage weight
Block (B)	2	0.015	0.022	6×10^{-3}	0.373	0.047	0.59	3.73	0.803
Irrigation regime (I)	1	1.143 ^{ns}	0.07 ^{ns}	9×10^{-6} ns	1.64 ^{**}	0.390 ^{ns}	3.613 ^{**}	2126.03 ^{**}	457.05 ^{**}
B×I	2	0.034	0.39	1×10^{-3}	0.136	0.288	0.724	4.77	1.419
Fertilizer (F)	6	16.80 ^{**}	0.409 ^{**}	7×10^{-3} ns	2.287 ^{**}	0.243 ^{ns}	3.138 ^{**}	302.68 ^{**}	115.50 ^{**}
I×F	6	5.12 ^{**}	0.173 [*]	1.4×10^{-3} ns	1.028 ^{**}	0.31 ^{**}	1.753 ^{**}	328.20 ^{**}	80.14 ^{**}
Error	24	0.655	0.654	7×10^{-3}	0.17	0.099	0.275	3.08	2.67
CV (%)	-	16.761	9.07	40.63	13.55	19.46	11.237	4.31	8.241

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات کیفی ذرت علوفه‌ای تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و کودی

Table 3. Analysis of variance for qualitative traits of forage maize as affected by different irrigation regimes and fertilizers

Sources of variations	df	Crude protein	Dry matter digestibility	Water soluble carbohydrate	Ash	Crude fiber
Block (B)	2	6.85	0.83	0.013	0.055	2.017
Irrigation regime (I)	1	1.43 ^{ns}	0.031 ^{ns}	0.165 ^{ns}	0.162 ^{ns}	2.361 ^{ns}
B×I	2	3.39	2.74	0.280	0.109	1.794
Fertilizer (F)	6	2.33 ^{ns}	2.58 ^{ns}	2.509*	0.072**	1.443 ^{ns}
I×F	6	4.70*	29.57**	3.93**	0.194*	4.101*
Experimental error	24	1.51	3.37	0.703	0.065	1.332
CV (%)	-	6.21	2.67	3.64	2.44	5.39

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات کمی و فیزیولوژیک ذرت علوفه تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و کودی

Table 4. Means comparison of the qualitative and quantitative traits of forage maize as affected by different irrigation regimes and fertilizer

Irrigation regime	Fertilizer [†]	Proline (mmol.g ⁻¹ fresh weight)	Potassium (%)	Fresh forage weight (t.ha ⁻¹)	Dry forage weight (t.ha ⁻¹)	Crude protein (%)	Dry matter digestibility (%)	Ash (%)
Irrigation in 80% field capacity	Control	4.96 ^{cde}	2.69 ^c	37.34 ^f	17.043 ^d	18.52 ^e	68.560 ^{b-e}	10.693 ^{ab}
	Application of 50% N+C	4.18 ^{def}	3.14 ^{ab}	70.073 ^a	32.093 ^a	18.747 ^{cde}	65.447 ^f	10.416 ^{a-e}
	N	5.59 ^c	3.17 ^{ab}	40.27 ^{ef}	26.39 ^b	20.097 ^{a-e}	71.500 ^{ab}	10.486 ^{a-d}
	C	2.083 ^g	2.94 ^{abc}	48.08 ^c	24.29 ^b	20.790 ^{abc}	66.607 ^{ef}	10.593 ^{ab}
	Application of 50% C+Ob	5.40 ^{cd}	2.04 ^d	55.423 ^b	30.49 ^a	18.550 ^e	69.753 ^{a-d}	10.443 ^{a-e}
	Ob	5.51 ^{cd}	3.25 ^a	38.63 ^f	12.13 ^e	20.060 ^{a-e}	70.057 ^{abc}	10.33 ^{b-e}
Irrigation in 50% field capacity	Application of 50% Ob+N	3.783 ^{ef}	2.76 ^{bc}	44.73 ^d	19.61 ^{cd}	20.703 ^{a-d}	68.970 ^{b-e}	10.476 ^{a-d}
	Control	4.27 ^{c-f}	2.66 ^c	23.95 ⁱ	13.49 ^e	20.697 ^{a-d}	67.467 ^{c-f}	10.040 ^e
	Application of 50% N+C	3.44 ^{fg}	2.75 ^{bc}	32.99 ^g	19.157 ^{cd}	21.533 ^a	72.137 ^a	10.503 ^{a-d}
	N	9.03 ^a	3.03 ^{abc}	28.827 ^h	12.340 ^e	19.933 ^{a-de}	65.177 ^f	10.766 ^a
	C	2.26 ^g	2.75 ^{bc}	28.22 ^h	13.28 ^e	18.640 ^{de}	70.127 ^{abc}	10.136 ^{cde}
	Application of 50% C+ Ob	7.38 ^b	2.60 ^c	30.43 ^{gh}	21.527 ^c	19.260 ^{b-e}	67.570 ^{c-f}	10.553 ^{abc}
	Ob	4.25 ^{c-f}	2.80 ^{bc}	42.053 ^{de}	18.59 ^d	19.130 ^{b-e}	66.845 ^{def}	10.446 ^{a-de}
	Application of 50% Ob+N	5.45 ^{cd}	2.83 ^{abc}	48.473 ^c	17.48 ^d	18.293 ^e	71.150 ^{ab}	10.106 ^{de}

Means followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

[†]: C, chemical fertilizer; Ob, organic bio-fertilizer; N, nano fertilizer.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

گرم وزن تر برگ) در تیمار شاهد تحت شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد، به عبارت دیگر کود نانو در شرایط آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی موجب افزایش ۴۹/۳۲ درصدی کلروفیل کل نسبت به تیمار شاهد در شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی شد (شکل ۱). به نظر می‌رسد محلول‌پاشی عناصر غذایی با استفاده از کود نانو (با ترکیب %K₂₀، %P₂₀، %N₂₀) و عناصر ریزمغذی شامل روی، آهن، مولیبدن، مس، منگنز و بور) در شرایط ۸۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی از کاهش و تخریب کلروفیل جلوگیری کرده است. کود حاوی نیتروژن باعث سنتز کلروفیل می‌شود (Jeffrey and Gyles, 2003). زمانی که گیاه در مراحل رویشی و یا زایشی رشد خود در معرض تنش کم‌آبی قرار می‌گیرد، محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی از کاهش شدید کلروفیل و کاهش فتوسنتز جلوگیری می‌کند و در

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش رژیم آبیاری و سطوح تغذیه گیاهی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بالاترین مقادیر کلروفیل **a** (۴/۵۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)، کلروفیل **b** (۲/۰۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و کلروفیل کل (۶/۶۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) تحت تیمار کودی نانو و در شرایط آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد (شکل ۱). با اینکه اغلب تیمارهای کودی در هر دو شرایط آبیاری از نظر تاثیر بر رنگیزه‌های فتوسنتزی در یک گروه آماری قرار داشتند، اما کم‌ترین مقدار کلروفیل **a** در تیمار شاهد مشاهده شد که البته با برخی از تیمارهای کودی در یک گروه آماری قرار داشتند. همچنین کم‌ترین مقدار کلروفیل کل (۳/۳۷ میلی‌گرم در

کردند. زاهیر و همکاران (Zahir et al., 2000) افزایش وزن خشک بوته ذرت در اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد را مشاهده کردند. پژوهشگران دیگری نیز گزارش کرده‌اند که محدودیت منابعی مانند آب از طریق کاهش فتوسنتز جاری منجر به محدودیت منبع و مخزن می‌شوند و بنابراین، تجمع ماده خشک در بخش‌های مختلف گیاه کاهش می‌یابد (Madani et al., 2010; Barati and Ghadiri, 2017).

پروتئین خام (CP)

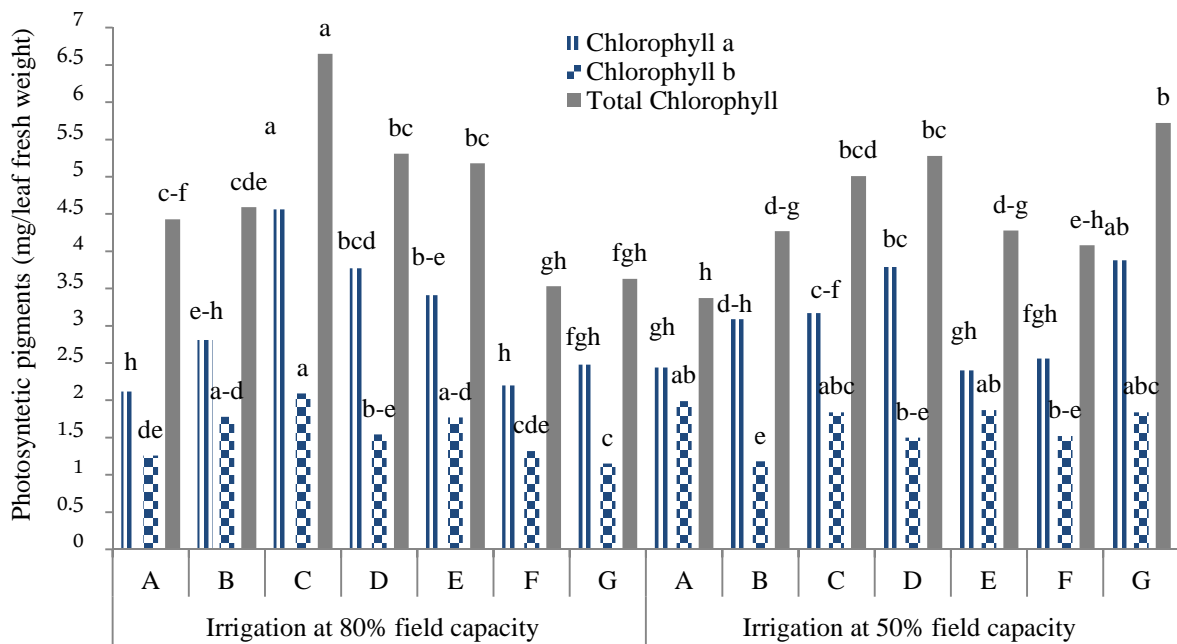
نتایج نشان داد که تیمارهای کودی شاهد، کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای نانو+شیمیایی و استفاده جداگانه از کود نانو در شرایط تنش کم‌آبی، بیش‌ترین میزان پروتئین خام را دارا بودند و همه آن‌ها در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴). بنابراین، نتایج تحقیق حاضر این واقعیت را نشان دادند که تیمارهای کودی تحت شرایط تنش کم‌آبی کارآیی لازم را نداشتند. همچنین نتایج نشان داد که تحت شرایط آبیاری معمولی، تیمارهای کودی نانو، شیمیایی، آلی-زیستی و کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای آلی-زیستی+نانو از نظر تاثیر بر میزان پروتئین خام، تاثیر مشابهی داشتند و موثرتر از سایر تیمارهای کودی بودند (جدول ۵). بنابراین با توجه به اهمیت میزان پروتئین علوفه در تغذیه دام و نیز با توجه به هزینه استفاده از منابع کودی تحت شرایط آبیاری معمولی، کاربرد کود زیستی-آلی جهت به‌دست آوردن بیش‌ترین میزان پروتئین خام در ذرت علوفه‌ای به‌عنوان نتایج این پژوهش توصیه می‌شود. افزایش پروتئین خام به‌دلیل دسترسی به عناصر کم‌مصرف و پرمصرف توسط پژوهشگران دیگری نیز گزارش شده است (Ness and Woolhouse, 1980; Marschner, 2006). همچنین، افزایش میزان پروتئین خام از طریق کاربرد کود زیستی توسط بونا و همکاران (Bona et al., 2017) نیز گزارش شده است.

نتیجه باعث رشد مطلوب‌تر گیاه می‌شود و به گیاه کمک می‌کند تا عملکرد خود را تا حدود زیادی حفظ کند (Veberic et al., 2005).

وزن تر و خشک علوفه

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین وزن علوفه تر (۷۰/۰۷۳ تن در هکتار) و علوفه خشک (۳۲/۰۹۳ تن در هکتار) در تیمار کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای نانو+شیمیایی و در شرایط آبیاری در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد، در حالی که کم‌ترین وزن علوفه تر (۲۳/۹۵ تن در هکتار) در گیاهان تحت تیمار شاهد در شرایط آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۴). گیاهان تحت تیمارهای کودی شاهد، نانو و شیمیایی در شرایط آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار کود آلی-زیستی در شرایط آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی کم‌ترین میزان علوفه خشک را تولید کردند. تیمار کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای شیمیایی+آلی-زیستی در شرایط آبیاری معمولی اختلاف معنی‌داری با تیمار کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای نانو+شیمیایی نداشت. همچنین تیمار کود نانو در شرایط آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی از لحاظ کم‌ترین مقدار وزن خشک علوفه با تیمار کود آلی-زیستی در شرایط آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۴).

به‌نظر می‌رسد که فراهمی عناصر غذایی متعدد در کودهای شیمیایی و نانو سبب بهبود فرایند فتوسنتز و در نتیجه رشد سریع‌تر می‌شود که منجر به افزایش تجمع ماده خشک و مواد معدنی در ساقه‌ها و برگ‌های گیاه شده است. شرایط مطلوب آبیاری به‌همراه تغذیه مناسب گیاه با افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک بیش‌تر باعث تولید اندام‌های رویشی بیش‌تر و افزایش وزن تر و خشک علوفه می‌شود. اوسبورن و همکاران (Osborne et al., 2002) نیز کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه ذرت در اثر تنش خشکی را گزارش



شکل ۱- مقایسه میانگین رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ ذرت علوفه‌ای تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و کودی. تیمارهای کودی عبارت‌اند از: A شاهد، B کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای نانو+شیمیایی، C کود نانو، D کود شیمیایی، E کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای شیمیایی+زیستی-آلی، F کود زیستی-آلی، G کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای زیستی-آلی+نانو. میانگین‌های دارای حروف مشابه، تفاوت آماری معنی‌داری با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 1. Means comparison of the leaf photosynthetic pigments of forage maize as affected by different irrigation regimes and fertilizers. Fertilizer treatments are included: A, control; B, combined fertilizers with 50% ratio of nano + chemical; C, nano fertilizer; D, chemical fertilizer; E, combined fertilizers with 50% ratio of chemical + organic-biofertilizer; F, organic-biofertilizer; G, combined fertilizers with 50% ratio of organic-biofertilizer + nano. Means followed by the similar letters are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

تعیین کننده کیفیت علوفه هستند که وظیفه آن‌ها تامین انرژی برای ریزجانداران شکمبه و حفظ سلامت دستگاه گوارش دام است (Lithourgidis *et al.*, 2006). نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد تیمار کودی آلی-زیستی تحت شرایط آبیاری در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی موجب افزایش ۲۵/۶ درصدی کربوهیدرات‌های محلول در آب نسبت به تیمار شاهد در هر دو شرایط آبیاری شد (شکل ۲). افزایش کربوهیدرات محلول در آب از طریق کودهای زیستی توسط گندی و همکاران (Gendy *et al.*, 2012) نیز گزارش شد.

خاکستر (Ash)

خاکستر علوفه در واقع بیانگر مقدار مواد معدنی موجود در بافت‌های گیاه است. هر قدر میزان خاکستر بیشتر باشد، گیاه مواد معدنی بیشتری در اختیار دام قرار می‌دهد و بنابراین ارزش غذایی علوفه برای دام بیشتر می‌شود (Lewis and McFarlane, 1986). نتایج مقایسه

هضم‌پذیری ماده خشک (DMD)

بیش‌ترین میزان هضم‌پذیری ماده خشک (۷۲/۱ درصد) از تیمار کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای نانو+شیمیایی تحت شرایط آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کم‌ترین میزان آن از تیمار کود کامل نانو تحت شرایط آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. منابع کودی تحت شرایط تنش کم‌آبی مانع از کاهش میزان هضم‌پذیری ماده خشک علوفه ذرت شدند، به‌طوری‌که تفاوت خیلی معنی‌داری با گیاهان تحت شرایط آبیاری معمولی نداشتند (جدول ۴). کومبس و همکاران (Coombs *et al.*, 2017) گزارش کردند که کمبود فسفر، دیواره سلولی را به ساختن فیبر (افزایش فیبر) تحریک می‌کند و تولید پروتئین و قابلیت هضم گیاه کاهش می‌یابد.

کربوهیدرات محلول در آب (WSC)

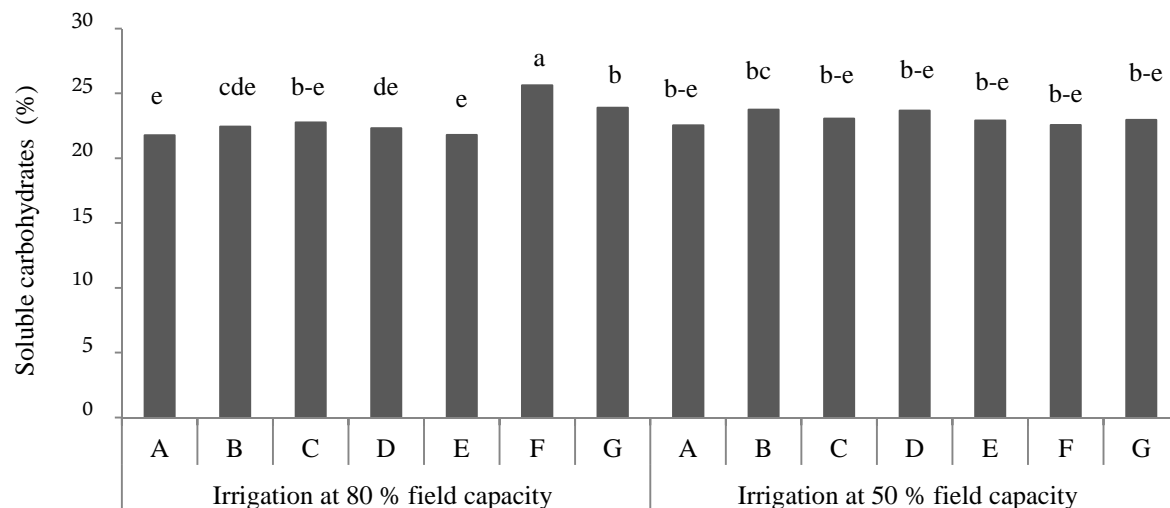
کربوهیدرات‌های محلول که بخش عمده‌ای از ترکیبات غیرساختمانی را تشکیل می‌دهند، یکی از مهم‌ترین اجزای

آنجا که فیبر خام شامل کلیه مواد غیرقابل هضم علوفه مانند سلولز، همی سلولز و لیگنین است، هر چه میزان فیبر خام علوفه بیش تر باشد، انرژی علوفه کم تر خواهد بود (Saha *et al.*, 2010). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کم‌ترین میزان فیبر خام از تیمارهای کودی ۵۰ درصد کود شیمیایی و ۵۰ درصد کود نانو (۱۹/۹ درصد)، کود نانو (۲۰/۳ درصد) در شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد. همچنین استفاده از تیمار کود شیمیایی در شرایط آبیاری ۸۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب موجب افزایش ۲۱/۷ و ۲۲/۳ درصدی فیبر خام علوفه شد (شکل ۳). آرونسن و همکاران (Aronsson *et al.*, 2016) نیز افزایش فیبر خام علوفه را با افزایش مصرف کودهای شیمیایی گزارش کردند.

میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان درصد خاکستر (۱۰/۷۶۶) از تیمار کودی نانو تحت شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کم‌ترین میزان آن (۱۰/۰۴۰) از تیمار شاهد تحت شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد (جدول ۴). علاوه بر آن، استفاده از تیمارهای کودی تحت شرایط تنش کم‌آبی مانع از کاهش درصد خاکستر علوفه شد، به طوری که تفاوت آماری معنی‌داری با تیمارهای کودی تحت شرایط آبیاری معمولی نداشتند (جدول ۴).

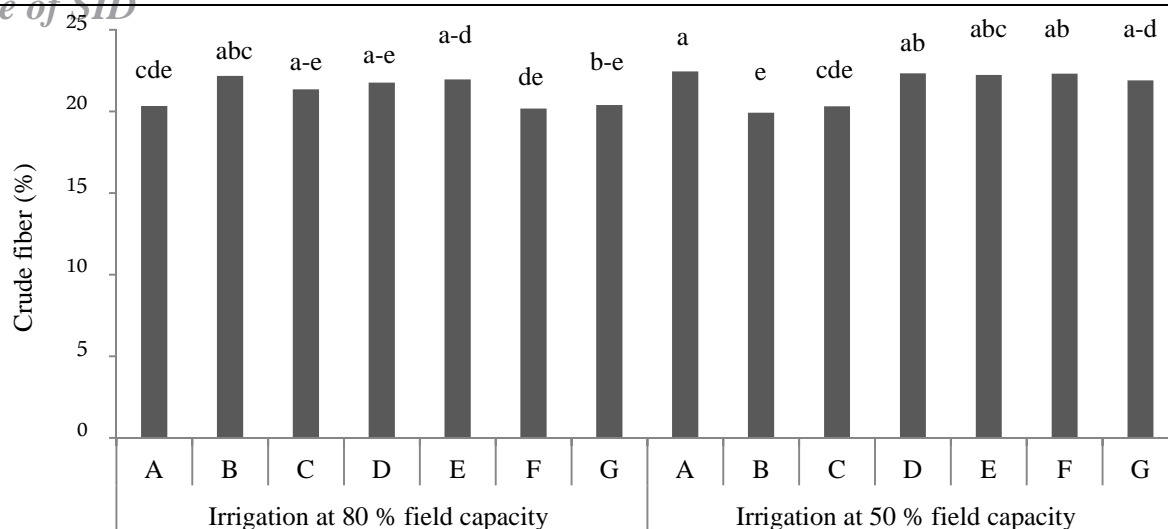
فیبر خام (CF)

اندازه‌گیری فیبر خام علوفه روشی برای تفکیک کربوهیدرات‌ها به اجزای قابل هضم و غیرقابل هضم است. از



شکل ۲- مقایسه میانگین کربوهیدرات‌های محلول در آب ذرت علوفه‌ای تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و کودی. تیمارهای کودی عبارت‌اند از: A شاهد، B کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای نانو+شیمیایی، C کود نانو، D کود شیمیایی، E کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای شیمیایی+ زیستی-آلی، F کود زیستی-آلی، G کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای زیستی-آلی+نانو. میانگین‌های دارای حروف مشابه، تفاوت آماری معنی‌داری با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 2. Means comparison of the soluble carbohydrates of forage maize as affected by different irrigation regimes and fertilizers. Fertilizer treatments are included: A, control; B, combined fertilizers with 50% ratio of nano + chemical; C, nano fertilizer; D, chemical fertilizer; E, combined fertilizers with 50% ratio of chemical + organic-biofertilizer; F, organic-biofertilizer; G, combined fertilizers with 50% ratio of organic-biofertilizer + nano. Means followed by the similar letters are not significantly different by LSD test at 5% probability level.



شکل ۳- مقایسه میانگین فیبر خام ذرت علوفه‌ای تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و کودی. تیمارهای کودی عبارت‌اند از: A شاهد، B کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای نانو+شیمیایی، C کود نانو، D کود شیمیایی، E کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای شیمیایی+زیستی-آلی، F کود زیستی-آلی، G کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای زیستی-آلی+نانو. میانگین‌های دارای حروف مشابه، تفاوت آماری معنی‌داری با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 3. Means comparison of the crude fiber of forage maize as affected by different irrigation regimes and fertilizers. Fertilizer treatments are included: A, control; B, combined fertilizers with 50% ratio of nano + chemical; C, nano fertilizer; D, chemical fertilizer; E, combined fertilizers with 50% ratio of chemical + organic-biofertilizer; F, organic-biofertilizer; G, combined fertilizers with 50% ratio of organic-biofertilizer + nano. Means followed by the similar letters are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

بهبود بیش‌تر صفات مورد مطالعه تحت هر دو شرایط آبیاری شد. بنابراین، تحت شرایط تنش کم‌آبی، علاوه بر استفاده بهینه از آب و کاهش کاربرد کودهای شیمیایی که گامی در جهت کشاورزی پایدار و کاهش آلودگی‌های زیست-محیطی است، می‌توان به عملکرد کمی و کیفی مناسبی معادل کودهای شیمیایی یا حتی بالاتر از آن نیز دست یافت.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که تمامی ویژگی‌های کمی، کیفی و فیزیولوژیک ذرت علوفه‌ای به‌غیر از میزان فسفر برگ، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری و منابع مختلف کودی قرار گرفتند. در این راستا کاربرد توام ۵۰ درصدی کودهای نانو+شیمیایی منجر به

References

- Amanullah, M. M., Archana, J., Manoharan, S. and Subramanian, K. S. 2012. Influence of iron and AM inoculation on metabolically active iron, chlorophyll content and yield of hybrid maize in calcareous soil. **Journal of Agronomy** 11 (1): 27-30.
- Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Bete vulgaris*. **Plant Physiology** 24 (1): 1-15.
- Archana, J., Amanullah, M. M., Manoharan, S. and Subramanian, K. S. 2012. Influence of iron and arbuscular mycorrhiza inoculation on growth and yield of hybrid maize in calcareous soil. **Madras Agricultural Journal** 99 (1): 65-67.
- Arrudaa, L., Beneduzi, A., Martins, A., Lisboa, B., Lopes, C., Bertolo, F., Passaglia Maria, L. M. P. and Vargas, K. L. 2013. Screening of *Rhizobacteria* isolated from maize (*Zea mays* L.) in Rio Grande do Sul State (South Brazil) and analysis of their potential to improve plant growth. **Applied Soil Ecology** 63: 15-22.
- Aronsson, H., Hansen, E. M., Thomsen, I. K., Liu, J., Gaard, A. F., Kankanen, H. and Ulén, B. 2016. The ability of cover crops to reduce nitrogen and phosphorus losses from arable land in southern Scandinavia and Finland. **Journal of Soil and Water Conservation** 71 (1): 41-55.

- Bahadur, I., Singh Meena, V. and Kumar S. 2014.** Importance and application of potassic biofertilizer in Indian agriculture. **International Research Journal of Biological Sciences** 3 (12): 80-85.
- Barati, V. and Ghadiri, H. 2017.** Assimilate and nitrogen remobilization of six-rowed and two-rowed winter barley under drought stress at different nitrogen fertilization. **Archives of Agronomy and Soil Science** 63 (6): 841-855.
- Bates, L. S., Waldern, R. P. and Teave, I. D. 1973.** Rapid determination of free prolin for water stress studies. **Plant and Soil** 39: 205-207.
- Benami, A. and Ofen, A. 1984.** Irrigation engineering: Sprinkler, trickle, surface irrigation principles, design and agricultural practices. Irrigation Engineering Scientific Publication, IIC Bet Dagan.
- Bona, E., Cantamessa, S., Massa, N., Manassero, P., Marsano, F., Copetta, A., Lingua, G., D'Agostino, G., Gamalero, E. and Berta, G. 2017.** Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads improve yield, quality and nutritional value of tomato: A field study. **Mycorrhiza** 27 (1): 1-11.
- Coombs, C., Lauzon, J. D., Deen, B. and Van Eerd, L. L. 2017.** Legume cover crop management on nitrogen dynamics and yield in grain corn systems. **Field Crops Research** 201: 75-85.
- Dastbandan Nejad, Sh., Saki Nejad, T. and Lack, Sh. 2010.** Studying the effect of drought stress and different levels of potassium fertilizer on K⁺ accumulation in corn. **Nature and Science** 8: 23-27.
- Delauney, A. J. and Verma, D. P. S. 1993.** Proline biosynthesis and degradation in plant. **Plant Journal** 4: 215-223.
- FAOSTAT.** Food and agricultural organization. Retrieved June 30, 2018. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>.
- Gendy, A. S. H., Said-Al Ahl, H. A. H. and Mahmoud, A. A. 2012.** Growth, productivity and chemical constituents of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) plants as influenced by cattle manure and biofertilizers treatments. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences** 6 (5): 1-12.
- Jafari, A., Connolly, V., Frolich, A. and Walsh, E. K. 2003.** A note on estimation of quality in perennial ryegrass by near infrared spectroscopy. **Irish Journal of Agricultural and Food Research** 42: 293-299.
- Jeffrey, V. and Gyles, R. 2003.** Controlled release urea as a nitrogen source of corn in southern Minnesota. Annual Report. Southern Research and Outreach Center, University of Minnesota, Agrium, U.S. Inc.
- Khan, M. S., Ahmad Zaidi, E. and Oves, M. 2013.** Functional aspect of phosphate solubilizing bacteria: Importance in crop production. In: Maheshwari, D. K., Saraf, M. and Aeron, A. (Eds.). Bacteria in agrobiolgy: crop productivity. Springer, Berlin. pp: 237-263.
- Kizilkaya, R. 2008.** Yield response and nitrogen concentration of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. **Ecological Engineering** 33: 150-156.
- Lewis, D. C. and McFarlane, J. D. 1986.** Effect of foliar applied manganese on the growth of safflower and the diagnosis of manganese deficiency by plant issue and seed analysis. **Australian Journal of Agriculture Research** 72 (1): 57-59.
- Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., Dhima, K. V., Dordas, C. A. and Yiakoulaki, M. D. 2006.** Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. **Field Crops Research** 99: 106-113.
- Madani, A., Shirani-Rad, A., Pazoki, A., Nourmohammadi, G., Zarghami, R. and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2010.** The impact of source or sink limitation on yield formation of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) due to post-anthesis water and nitrogen deficiencies. **Plant, Soil and Environment** 56 (5): 218-227.
- Maougal, R. T., Brauman, A., Plassard, C., Abadie, J., Djekoun, A. and Drevon, J. J. 2014.** Bacterial capacities to mineralize phytate increase in the rhizosphere of nodulated clover under P deficiency. **European Journal of Soil Biology** 62: 8-14.
- Marschner, I. 2006.** Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, USA. pp: 329-337.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. D. and Morgan, C. A. 2002.** Animal nutrition. 6th Ed. Prentice Hall Publishing.
- Meena, V. S., Maurya, B. R. and Verma, J. P. 2014.** Does a rhizospheric microorganism enhance K⁺ availability in agricultural soils? **Microbiological Research** 169: 337-347.
- Moharramnejad, S., Valizadeh, M., Sofalian, O., Shiri, M. and Asgari, A. 2017.** Effect of water deficit stress on agronomic traits and superoxide dismutase (Mn-SOD) activity in three maize (*Zea mays* L.) hybrids. **Cereal Research** 6 (4): 521-531. (In Persian with English Abstract).

- Ness, P. J. and Woolhouse, H. W. 1980.** RNA synthesis in *phaseolus* chloroplasts. I. Ribonucleic acid synthesis and senescing leaves. **Journal of Experimental Botany** 31: 223-233.
- Osborne, S. L., Schepers, D. D., Francis, J. S. and Schlemmer, M. R. 2002.** Use of spectral radiance to estimate in-season biomass and grain yield in nitrogen and water stress on corn. **Crop Science** 42 (1): 165-171.
- Payero, J. Q., Tarkalson, D. D., Irmak, S., Davison, D. and Petersen, J. L. 2009.** Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. **Agricultural Water Management** 96: 1387-1397.
- Rameshaiah, G. N. and Jpallavi, S. 2015.** Nano fertilizers and nano sensors—An attempt for developing smart agriculture. **International Journal of Engineering Research and General Science** 3 (1): 314-320.
- Saha, U. K., Sonon, L. S., Hancock, D. W., Hill, N. S., Stewart, L., Heusner, G. L. and Kissel, D. E. 2010.** Common terms used in animal feeding and nutrition [Online]. Available at <http://athenaeum.libs.uga.edu/bitstream/handle/10724/12196/B1367.pdf?sequence=1>.
- Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Firoz, M. and Al-Khaishany, M. Y. 2015.** Role of nanopartines in plant. In: Nanotechnology and plant science. Springer. pp: 19-35.
- Sika, M. P. 2012.** Effect of biocharon chemistry, nutrient uptake and fertilizer mobility in sandy soil. M. Sc. Dissertation, Stellenbosch University, Stellenbosch.
- Snap, S. S., Swinton, S. M., Labarta, R., Mutch, D., Black, J. R., Leep, R., Nyiraneza, J. and Oneil, K. 2005.** Evaluating cover crops for benefits, costs and performance within cropping system niches. **Agronomy Journal** 97: 322-332.
- Tenninghoff, E. and Houba, V. 2004.** Plant analysis procedures. 2nd Ed. Kluwer Academic Publishers.
- USDA. 2018.** Circular series on world agricultural supply and demand estimates-578. Retrieved June 29, 2018. Available online: <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/waob/wasde//2010s/2018/wasde-06-12-2018.pdf>.
- Veberic, R., Vodnik, D. and stamper, F. 2005.** Influence of foliar-applied phosphorus and potassium on photosynthesis and transpiration of golden delicious apple leaves (*Malus domestica Borkh.*). **Acta Agriculturae Slovenica** 85 (1): 143-155.
- Wu, Q. and Xia, R. 2006.** Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and water stress conditions. **Journal of Plant Physiology** 163: 417-425.
- Zahir, Z. A., Abbas, S. A., Khalidand, M. and Arshad, M. 2000.** Substrate dependent microbially derived plant hormones for improving growth of maize seedlings. **Pakistan Journal of Biotechnology** 3 (2): 289-291.



University of Guilan
Faculty of Agricultural
Sciences

Cereal Research
Vol. 9, No. 1, Spring 2019 (43-54)

The effect of different fertilizer sources on qualitative characteristics of forage maize under water deficit stress conditions

Farzad Ghodrati Aversi¹, Jalal Jalilian^{2*} and Sina Siavash Moghaddam³

Received: January 10, 2019

Accepted: June 1, 2019

Abstract

To study the effect of different fertilizers on reducing the effects of water deficit stress on forage maize (KSC703), an experiment was carried out as split plots in randomized complete block design with three replications in West Azerbaijan, Iran, in 2016. Irrigation treatments including irrigation at 80% field capacity (normal irrigation) and irrigation at 50% field capacity (water deficit stress) were considered as main factor and fertilizer sources including control (water spraying), organic-biofertilizer, complete fertilizers (chemical, nano) and combined application of 50% fertilizers (organic-biofertilizer + nano, organic-biofertilizer + chemical fertilizer, chemical + nano) as sub-factor. The results of mean comparisons indicated that the highest content of photosynthetic pigments (chlorophylls-a and -b) were observed under normal irrigation conditions and combined application of 50% chemical+nano fertilizers which resulted in the highest fresh (70 t.ha⁻¹) and dry (32 t.ha⁻¹) forage yield. This treatment combination resulted in a 47% increase in fresh and dry forage yield compared to control fertilizer treatment. The highest proline content was obtained from nano fertilizer treatment under water deficit stress conditions. Most fertilizer treatments increased leaf potassium under both irrigation conditions. Also, application of most fertilizer treatments under normal irrigation conditions increased crude protein, dry matter digestibility, water soluble carbohydrates and crude fiber content compared to the control treatment. Based on the results of this research, combined application of 50% chemical+nano fertilizers was determined as an effective fertilizer combination under both irrigation conditions due to improvement of some quantitative and qualitative characteristics of forage maize.

Keywords: Bio-fertilizer, Chemical fertilizer, Crude protein, Proline, Nano-fertilizer

1. Former M. Sc. Student, Dept. of Plant Production and Genetic, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

2. Assoc. Prof., Dept. of Plant Production and Genetic, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

3. Assist. Prof., Dept. of Plant Production and Genetic, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

* Corresponding author: j.jalilian@urmia.ac.ir