مجله به‌زراعی نهال و بذر
جلد ۲-۲۷ ، شماره ۴، سال ۱۳۹۰

اثر مصرف کودهای زیستی و شیمیایی فسفر بر عملکرد دانه دو رقم سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L.) در شرایط کم آبیاری

محیا انصاری جوینی[۱]، محمدرضا چائی‌چی[۲]، رضا کشاورز افشار[۳] و سیدمحمدرضا احتشامی[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
۲- دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
۳- دانشجوی دکتری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
۴- عضو هیأت علمی، دانشگاه گیلان، رشت

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۱/۱۳

چکیده

انصاری‌جوینی، م.، چائی‌چی، م. ر.، کشاورز افشار، ر. و احتشامی، س. م. ر. ۱۳۹۰. اثر مصرف کودهای زیستی و شیمیایی فسفر بر عملکرد دانه دو رقم سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L.) در شرایط کم آبیاری. **مجله به زراعی نهال و بذر ۲- ۲۷ (۴):** ۴۹۰-۴۷۱

به منظور بررسی اثر کودهای بیولوژیک و شیمیایی فسفر در شرایط کم آبیاری بر ویژگی‌های کمی دو رقم سورگوم دانه‌ای، آزمایشی طی دو سال (۱۳۸۸ و ۱۳۸۹) در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی به تیمارهای آبیاری در دو سطح: آبیاری کامل (IR_N) و کم آبیاری به صورت آبیاری تا مرحله ۸-۶ برگی و سپس آبیاری در مراحل ۱۲-۱۰ برگی، آغاز گلدهی، آغاز دانه‌بندی و مرحله شیری شدن دانه (IR_S)، کرت‌های فرعی به عامل رقم در دو سطح شامل: رقم کیمیا (KI) و رقم سپیده (SE) و کرت‌های فرعی فرعی به تیمارهای کودی در چهار سطح: بدون کود فسفر (P_0)، کود شیمیایی فسفر (P_{100})، تلقیح بذر با باکتری سودوموناس فلورسنس و قارچ میکوریزا +۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر (P_{50}+M+Ps) و تلقیح بذر با باکتری سودوموناس فلورسنس و قارچ میکوریزا (M+Ps) اختصاص یافتند. نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری کامل عملکرد رقم سپیده ۹۵۰۸ kg/ha بود و در شرایط کم آبیاری به ۷۱۹۲ kg/ha کاهش یافت. در شرایط آبیاری کامل عملکرد رقم کیمیا ۱۰۳۶۸kg/ha برآورد شد و با اعمال تنش کم آبیاری به ۸۷۹۵ kg/ha کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که در هر دو تیمار آبیاری، استفاده از کود P_{50}+M+Ps می‌تواند جایگزین کود P_{100} شود و بدین ترتیب تا حدودی مصرف کود شیمیایی فسفر کاهش یابد. در مجموع با استفاده از رقم کیمیا در شرایط تنش کم آبیاری به همراه مصرف کودهای بیولوژیک بخصوص کود بیولوژیک به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر عملکرد مطلوبی را می‌توان به دست آورد.

واژه‌های کلیدی: سورگوم دانه‌ای، میکوریزا، سودوموناس فلورسنس، تنش خشکی و کود زیستی.

آدرس پست الکترونیکی نگارنده: rchaichi@ut.ac.ir

مقدمه

Archive of SID
www.SID.ir

فسفر از عناصر ضروری برای رشد و نمو گیاهان بوده که پس از نیتروژن دومین عنصر محدود کننده در تولید گیاهان زراعی محسوب می‌شود. با وجود فراوانی فسفر در طبیعت، به دلیل تثبیت این عنصر در خاک، کمبود آن در بسیاری از خاک‌ها مشاهده می‌شود (Fernandez *et al*., 2007). کود شیمیایی فسفر اصلی‌ترین منبع تامین فسفر در کشاورزی است، ولی تقریبا ۷۵ تا ۹۰ درصد از کود فسفر اضافه شده به خاک توسط ترکیب‌های حاوی آهن، آلومینیوم و کلسیم تثبیت می‌شود (Turan *et al*., 2006). نتایج مطالعات بلند مدت نشان می‌دهند که استفاده متوالی از کودهای شیمیایی عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد. این کاهش نتیجه اسیدی شدن، کاهش فعالیت‌های بیولوژیک، تغییر خصوصیات فیزیکی خاک و عدم وجود ریزمغذی‌ها در کودهای شیمیایی می‌باشد (Adediran *et al*., 2004).

امروزه در کشاورزی پایدار به منظور کاهش اثر مخرب زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی توجه ویژه‌ای به استفاده از کودهای با منشاء طبیعی می‌شود (Illmer and Schimmer, 1995). قارچ همزیست میکوریزا از مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات به شمار می‌رود که توانایی برقراری رابطه همزیستی با ۸۰ تا ۹۰ درصد گونه‌های گیاهی را دارد (Smith and Read, 1997). گیاهانی که دارای همزیستی میکوریزی می‌باشند بدلیل اینکه در کنار عنصر فسفر سایر عناصر غذایی و همچنین آب بیشتری از خاک جذب می‌نمایند، رشد و عملکرد بهتری خواهند داشت و مقاومت بیشتری در برابر تنش‌ها از جمله تنش خشکی از خود نشان می‌دهند (Sylvia and Williams, 1992). یکی دیگر از مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات باکتری‌های جنس سودوموناس می‌باشند که برای تبدیل فرم‌های غیر قابل حل فسفر به فرم‌های قابل دسترس گیاه از طریق ترشح اسیدهای آلی و فسفاتازها عمل می‌کند. این باکتری‌ها از طریق سازوکارهای متعددی همچون افزایش جذب سایر عناصر غذایی مانند پتاسیم و تولید مواد تنظیم کننده رشد و افزایش طویل ریشه، موجب تحریک رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند (Zahir *et al*., 2004). در تحقیقات متعددی نشان داده شده است که قارچ میکوریزا و باکتری‌های سودوموناس دارای اثر هم‌افزایی بر روی یکدیگر بوده و تلقیح هم‌زمان بذر گیاهان زراعی با این میکروارگانیسم‌ها می‌تواند اثر قابل توجهی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی داشته باشد (Singh and Kapoor, 1999).

اثر سودمند همزیستی میکوریزی و تلقیح بذر با باکتری‌های سودوموناس، افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی است. گزارش شده است که تلقیح بذر با این میکروارگانیسم‌ها سبب کاهش اثر مخرب تنش خشکی بر عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Subramanian *et al*.,

Archive of SID

www.SID.ir

2006). از آنجائی که تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدود کننده تولید محصولات کشاورزی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان از جمله ایران محسوب می‌شود، نقش این میکروارگانیسم‌ها در افزایش تولیدات کشاورزی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

هدف از انجام این تحقیق بررسی امکان استفاده از نظام کم آبیاری و کاربرد کودهای بیولوژیک فسفر در تولید سورگوم دانه‌ای به عنوان یک روش مدیریتی کارآمد و پایدار در تولید گیاهان علوفه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در دو سال متوالی (۱۳۸۸ و ۱۳۸۹) و در یک قطعه زمین واحد واقع در مزرعه آموزشی- پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج (عرض جغرافیایی۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی با ۱۳۱۲ متر ارتفاع از سطح دریا) اجرا گردید. شرایط آب و هوایی مربوط به دو سال محل اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس اطلاعات دریافتی از ایستگاه هواشناسی، در این منطقه میانگین بارندگی سالانه ۲۶۰ میلی‌متر، میانگین درجه حرارت سالانه ۱۳/۵ درجه سانتیگراد و میانگین درجه حرارت خاک ۱۴/۵ درجه سانتیگراد می‌باشد. بافت خاک محل اجرای آزمایش رسی لومی با pH= ۸/۳ و EC=۲/۳۱ بود. در آزمایش نمونه خاک مزرعه محتوای کربن آلی خاک در لایه سطحی (۱۵-۰ سانتیمتری) ۱/۰۲ درصد تعیین گردید. سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۲ ارائه شده است. کودهای شیمیایی (به جز کود فسفر) بر اساس آزمون خاک (کود نیتروژن از نوع اوره و کود پتاسیم از نوع سولفات پتاسیم به ترتیب به مقدار ۷۵ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بطور یکسان در کرت‌های آزمایشی مصرف شدند.

آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و ۱۶ تیمار انجام شد. کرت‌های اصلی به رژیم‌های آبیاری در دو سطح شامل: آبیاری کامل (IR_N) و کم آبیاری به صورت آبیاری کامل تا مرحله ۸-۶ برگی و پس از آن آبیاری تنها در مراحل ۱۲-۱۰ برگی، آغاز گلدهی، آغاز دانه‌بندی و مرحله شیری شدن دانه (IR_S)، کرت‌های فرعی به عامل رقم در دو سطح شامل: رقم کیمیا (KI) و رقم سپیده (SE) و کرت‌های فرعی فرعی به تیمارهای کودی در چهار سطح شامل: بدون کود فسفر(P_0)، استفاده از کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل بر اساس نتیجه آزمون خاک (P_{100})، کود تلفیقی: تلقیح بذر با باکتری سودوموناس سویه ۹۳ (*Pseudomonas fluorescens*) و قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices*) + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر (P_{50}+M+Ps) و کود بیولوژیک: تلقیح بذر با قارچ میکوریزا و باکتری

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش (۱۳۸۸ – ۱۳۸۹)
Table 1. Weather parameters of experimental site (2009-2010)

ماه Month	میانگین درجه حرارت (ºC) Mean Temperature (ºC)		بارندگی (میلی‌متر) Precipitation (mm)		تبخیر (میلی‌متر) Evaporation (mm)		میانگین رطوبت نسبی (٪) Mean relative humidity (%)	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
June	23.2	25.7	10.3	0.4	264.7	362.1	41	31
July	27.9	29.1	0.0	0.0	404.8	399.2	36	33
August	26.6	27.3	0.0	0.0	335.9	365.3	45	35
September	23.2	24.3	10.1	0.0	258.4	285.8	46	39.8

جدول ۲- ویژگی‌های خاک محل اجرای آزمایش (۳۰ – ۰ سانتیمتر)
Table 2. Soil properties of experimental site (0 – 30 cm)

Cu	Mn	Zn	Fe	K	P	N		Mg^{++}	Ca^{++}	Na^{+}	T.N.V
Available (mg/kg)							SAR%	Soluble (meq/l)			
1.58	12.7	1.25	6.43	237	14	0.09	1.90	8.2	20	7.1	5.5

سودوموناس (M+Ps) اختصاص یافتند.

ارقام سپیده و کیمیا در برنامه به‌نژادی در سال‌های ۷۶-۱۳۶۵ به روش شجره‌ای در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج به خلوص رسیدند و بعنوان ارقام تجارتی معرفی شدند. رقم سپیده دارای ارتفاع بوته و طول خوشه به ترتیب ۱۳۵ و ۳۲ سانتیمتر و رنگ دانه سفید است. رنگ برگها سبز روشن و پانیکول آن نیمه فشرده است. رقم کیمیا جزء پایدارترین رقم‌ها در آزمایش‌های ناحیه‌ای بود. ارتفاع بوته و طول خوشه این رقم به ترتیب ۱۱۵ و ۲۹ سانتیمتر و رنگ دانه نارنجی مایل به قهوه‌ای است. برگ‌های این رقم و پانیکول آن متراکم است. به لحاظ داشتن تانن رقم سپیده فاقد و رقم کیمیا دارای تانن نسبتا زیادی می‌باشد.

به منظور تامین فسفر مورد نیاز تیمارها بر اساس نتیجه آزمون خاک، از کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل و کود بیولوژیک که ترکیبی از باکتری سودوموناس (*Pseudomonas fluorescens*) سویه ۹۳ و قارچ همزیست میکوریزا (*Głomus intraradices*) بود، استفاده گردید. برای تیمارهایی که دربردارنده کود شیمیایی بودند (تیمارهای حاوی ۱۰۰ و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر)، پیش از کاشت بذر و به صورت نواری از کود سوپر فسفات تریپل استفاده شد. پس از محاسبهٔ میزان بذر مورد نیاز برای کاشت تمام کرت‌ها، مقدار بذر مورد نیاز برای کاشت تیمارهایی که نیاز به تلقیح داشتند جدا و در داخل یک کیسه پلی اتیلنی ریخته شدند. پس از آغشته نمودن کامل سطح بذر با ماده چسباننده (صمغ عربی)، باکتری سودوموناس بر روی بذر ریخته شد و برای پنج دقیقه به خوبی

Archive of SID

www.SID.ir

تکان داده شد. سپس بذر آغشته به باکتری برای ۱۰ دقیقه در هوای آزاد و در سایه قرار داده شد. پس از گذشت زمان مذکور قارچ میکوریزا به بذر اضافه گردید و بمدت پنج دقیقه به خوبی تکان داده شد. در پایان بذر آغشته به مایهٔ تلقیح بر روی ورقهٔ آلومینیومی تمیز در زیر سایه، پهن گردید تا خشک شدند. پس از تلقیح به سرعت نسبت به کاشت بذر در کرت‌هایی با ابعاد ۵ × ۳ متر با فاصله ردیف ۵۰ سانتیمتر اقدام گردید (کاشت در اواسط خرداد ماه انجام شد) و بلافاصله پس از اتمام عملیات کاشت، آبیاری صورت گرفت. پس از اینکه بوته‌ها به مرحله ۲ الی ۳ برگی رسیدند بوته‌های اضافی تنک شدند تا تراکم ۱۷ بوته در مترمربع که تراکم توصیه شده موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر می‌باشد، بدست آید.

به منظور اجرای تیمارهایی آبیاری، کرت‌های تحت آبیاری کامل، بطور مرتب و هفتگی آبیاری شدند اما در کرت‌های تحت تنش کم آبیاری تا رسیدن بوته‌ها به مرحله ۸-۶ برگی همانند تیمارهای آبیاری کامل، آبیاری انجام شد اما از این مرحله رشدی به بعد تنها در مراحل ۱۲-۱۰ برگی، آغاز گلدهی، آغاز دانه‌بندی و مرحله شیری شدن دانه آبیاری انجام شد. در واقع در این تحقیق کم آبیاری بر اساس مراحل فنولوژیکی رشد سورگوم اعمال گردید و بگونه ای برنامه ریزی صورت گرفت که در مراحلی که سورگوم نیاز آبی بالایی دارد آبیاری انجام شود و در مراحلی که حساسیت به تنش خشکی کمتر است، آبیاری انجام نشود. بر این اساس دفعات آبیاری در شرایط آبیاری کامل ۱۷ و کم آبیاری ۱۰ مرتبه شمارش شد. بدین ترتیب در رژیم آبیاری کامل ۹۲۳۰ مترمکعب و در رژیم کم آبیاری ۵۴۳۰ متر مکعب آب در هکتار مصرف شد (صرفه‌جویی ۴۰ درصدی در مصرف آب آبیاری) لازم به ذکر است اعداد ارائه شده در رابطه با دفعات آبیاری و مقدار آب مصرفی میانگین دو سال انجام آزمایش می‌باشند. به دلیل گرمای بیشتر و رطوبت نسبی کمتر هوا در سال دوم مقدار آب مصرفی در سال دوم اندکی بیشتر از سال اول بود.

به منظور اندازه‌گیری شاخص سطح برگ و ارتفاع بوته، در زمان گل‌دهی کامل، از هر کرت با در نظر گرفتن اثر حاشیه و از دو ردیف میانی بوته‌های یک متر مربع برداشت شدند و ارتفاع بوته‌ها اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها به طور کامل از ساقه جدا گردیدند. اندازه‌گیری سطح برگ با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter و پس از کالیبره کردن دستگاه انجام گرفت و شاخص سطح برگ محاسبه شد. اجزاء عملکرد در سورگوم دانه‌ای شامل تعداد خوشه در واحد سطح، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه می‌باشد. بر این اساس زمانی که میزان رطوبت دانه‌ها به ۱۵ درصد رسید، خوشه‌های موجود در یک متر مربع با حذف اثر حاشیه و از دو ردیف میانی برداشت و

Archive of SID

www.SID.ir

شمارش گردیدند (Almodares *et al.*, 2008). سپس تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

۱۰۰ / (وزن هزار دانه (گرم) × تعداد دانه در خوشه × تعداد خوشه در متر مربع) = عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)

به منظور تعیین درصد کلونیزاسیون، ریشه‌های نمونه‌برداری شده (بخش‌های ظریف ریشه‌ها) با آب به خوبی شسته شدند و از محلول ۵۰٪ آب مقطر و ۵۰٪ الکل اتیلیک جهت نگه‌داری نمونه‌ها استفاده شد. پس از خارج کردن ریشه‌ها از محلول، ۳ الی ۴ بار با آب معمولی شستشو شدند. سپس به مدت نیم ساعت در داخل هیدروکسید پتاسیم ۱۰٪ و سپس به مدت ۱۵ دقیقه در داخل اتوکلاو و در دمای ۱۲۰ درجه و فشار ۱/۲ اتمسفر قرار گرفتند. پس از خروج از اتوکلاو، به شستشوی نمونه‌ها با آب معمولی اقدام گردید. ریشه‌های شسته شده به مدت ۲۰ دقیقه در داخل آب اکسیژنه قلیایی قرار داده شدند. پس از آن، مجددا نمونه‌ها با آب معمولی شسته شده و به مدت ۱ دقیقه در داخل اسید کلریدریک ۱٪ غوطه‌ور گشتند. بعد از خارج کردن نمونه‌ها از اسید، در محلول تریپان بلو (به نسبت ۱:۱:۱ اسید لاکتیک- گلیسرول آب مقطر و ۰/۰۵ درصد وزنی- حجمی تریپان بلو) به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند. پس از این مدت، ریشه‌ها از محلول تریپان بلو خارج شده و با استفاده از روش کورمانیک و مک‌گرو (Kormanik and McGraw, 1982) درصد کلونیزاسیون ریشه تعیین گردید.

پیش از هرگونه اقدام جهت انجام محاسبات آماری بر روی داده‌ها، نخست نرمال بودن داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه واریانس داده ها با استفاده از نرم افزار SAS و به دلیل دوساله بودن آزمایش، به صورت تجزیه مرکب انجام گرفت. برای مقایسه میانگین تیمارها نیز از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، درصد کلونیزاسیون، وزن هزار دانه، تعداد دانه در خوشه و عملکرد دانه معنی‌دار ($P\leq0.05$) بود (جدول ۳). بطور کلی شرایط آب و هوایی اعم از درجه حرارت، میزان بارندگی، تبخیر و رطوبت نسبی در دو سال انجام آزمایش دارای تفاوت‌های قابل توجهی بودند (جدول ۱). این امر سبب گردید که اثر سال بر اکثر صفات اندازه‌گیری شده از نظر آماری معنی‌دار باشد. در مجموع در سال اول انجام آزمایش شرایط آب و هوایی برای رشد و نمو سورگوم مناسب‌تر بود و این امر باعث شد که عملکرد دانه و سایر صفات در سال

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- خلاصه تجزیه واریانس مرکب برای خصوصیات مختلف سورگوم دانه‌ای

Table 3. Summary of combined analysis of variance for different characteristics of grain sorghum

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df.	شاخص سطح برگ LAI	ارتفاع بوته Plant height	کلونیزاسیون Colonization	وزن هزار دانه 1000 Grain weight	تعداد دانه در خوشه Grain no. per panicle	عملکرد دانه Grain yield
Year (Y)	سال	1	9.882**	2150.448**	27.574^{ns}	3.519**	194940.375**	9438231.260**
Replication/Y	تکرار/سال	4	0.004	1.465	14728	1.147	9510.771	435680.60
Irrigation (IRR)	آبیاری	1	15.990**	1775.040**	1018.229**	40.508**	1962532.042**	90802325.260**
Y × IRR	سال× آبیاری	1	1.446**	75.793**	41.804**	0.050 ^{ns}	39285.042**	787169.260 ^{ns}
Error 1	خطای ۱	4	0.018	4.538	6.467	1.620	3824.417	94593.542
Cultivar (C)	رقم	1	6.490**	6079.530**	514.532**	361.073**	852.042	36424080.094**
Y × C	سال× رقم	1	1.793**	183.873**	70.469**	72.419**	30.375	6782471.760**
IRR × C	آبیاری× رقم	1	0.063*	397.313**	30.206*	8.833**	369272.042**	3358894.260**
Y × IRR × C	سال× آبیاری× رقم	1	0.002 ^{ns}	10.140*	34.861**	2.172^{ns}	26070.042*	2915.010^{ns}
Error 2	خطای ۲	8	0.020	0.492	11.662	0.396	4209.781	231142.469
Fertilizer (F)	کود	3	0.965**	68.159**	20535.461**	30.533**	228491.042**	19599434.066**
Y × F	سال× کود	3	0.385**	16.908**	90.441**	0.400^{ns}	17008.819*	424290.038^{ns}
IRR × F	آبیاری× کود	3	0.346**	169.311**	781.912**	12.076**	168863.708**	11723090.372**
C × F	رقم× کود	3	0.093**	21.109**	248.604**	5.462**	10777.708^{ns}	654984.372^{ns}
Y × IRR × F	سال× آبیاری× کود	3	0.067**	64.538**	141.004**	2.728^{ns}	5029.375^{ns}	375700.038^{ns}
Y × C × F	سال× رقم× کود	3	0.069**	24.864**	10.514 ^{ns}	1.139^{ns}	9219.153^{ns}	102191.705^{ns}
IRR × C × F	آبیاری× رقم× کود	3	0.232**	20.059**	38.510**	1.867^{ns}	28896.375**	1855979.316**
Y × IRR × C × F	سال× آبیاری× رقم× کود	3	0.095**	15.309**	5.325^{ns}	2.554^{ns}	8081.597^{ns}	237105.177^{ns}
Error 3	خطای ۳	48	0.015	1.923	4.641	1.094	5267.951	324064.271

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns: غیرمعنی‌دار.

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.
ns: Not significant.

Archive of SID

www.SID.ir

اول بیشتر از سال دوم باشند و در نتیجه تنش وارد شده به سورگوم در سال دوم اثر بیشتری بر عملکرد دانه داشت.

تنش کم آبیاری در هر دو سال منجر به کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ سورگوم گردید. این وضعیت در واکنش هر دو رقم کیمیا و سپیده به تنش کم آبیاری مشاهده شد. البته قابل ذکر است که در مجموع رقم کیمیا از سطح برگ بالاتری در مقایسه با رقم سپیده برخوردار بود. در سال اول در شرایط آبیاری کامل رقم کیمیا از شاخص سطح برگ بالاتری در مقایسه با رقم سپیده برخوردار بود (جدول ۴). اعمال تنش کم آبیاری افت شاخص سطح برگ را در هر دو رقم به همراه داشت اما کاهش این شاخص در رقم سپیده شدیدتر بود. در سال دوم نیز با توجه به کاهش شاخص سطح برگ هر دو رقم در مقایسه با سال اول تقریباً روندی مشابه سال اول مشاهده شد. در بررسی اثر کودهای فسفر به کار رفته در این تحقیق تحت دو رژیم آبیاری، مشاهده شد که در سال اول در شرایط آبیاری کامل هر سه کود فسفر به یک اندازه شاخص سطح برگ سورگوم را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند اما با اعمال تنش کم آبیاری تاثیر کود بیولوژیک (M+ Ps) بیش از سایر کودها بود (جدول ۵). در سال دوم در شرایط آبیاری کامل کود شیمیایی فسفر (P_{100}) بیشترین تاثیر را بر افزایش شاخص سطح برگ داشت اما با قرار گرفتن گیاه در شرایط کم آبیاری کود شیمیایی فسفر و کود بیولوژیک تاثیر بیشتری در مقایسه با کود تلفیقی (P_{50}+M+Ps) داشتند (جدول ۵).

جدول ۴- میانگین اثر متقابل سال × رژیم آبیاری × رقم بر برخی خصوصیات سورگوم دانه‌ای

Table 4. Mean of interaction effect of year × irrigation regime and cultivar on some characteristics of grain sorghum

تیمار	شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته (سانتیمتر)	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد دانه در خوشه	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
Treatment	LAI	Plant height (cm)	1000 Grain weight (g)	Grain no. per panicle	Grain yield (kg/ha)
			First year سال اول		
IR_N × KI	4.88a	87.19c	29.48b	1747b	10328a
IR_N × SE	4.03b	110.59a	27.03d	1842a	9990a
IR_S × KI	3.76c	85.08d	27.92c	1592d	8922b
IR_S × SE	3.03e	99.05b	26.09e	1506e	7865c
			Second year سال دوم		
IR_N × KI	3.71c	82.92e	31.18a	1663c	10407a
IR_N × SE	3.42d	99.48b	24.66f	1827a	9025b
IR_S × KI	3.10e	75.96f	28.93b	1493e	8668b
IR_S × SE	2.89f	85.69d	24.22f	1343f	6519d

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حروف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 0.05 probability level-using Least Significant Difference Test.

IR_N: Full irrigation, IR_S: Deficit irrigation

IR_N (آبیاری کامل)، IR_S (کم آبیاری)

KI: Kimiya, SE: Speedeh

KI (کیمیا)، SE (سپیده)

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵- میانگین اثر متقابل سال × رژیم آبیاری × منابع مختلف کود فسفر بر برخی خصوصیات سورگوم دانه‌ای

Table 5. Mean of interaction effect of year × irrigation regime × different phosphorous fertilizers on some characteristics of grain sorghum

تیمار	شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته (سانتیمتر)	کلونیزاسیون (٪)	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد دانه در خوشه	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
Treatment	LAI	Plant height (cm)	Colonization (%)	1000 Grain weight (g)	Grain no. per panicle	Grain yield (kg/ha)
			First year سال اول			
$IR_N \times P_0$	4.13b	96.71b	2.67gh	26.63de	1668cd	8881d
$IR_N \times P_{100}$	4.57a	101.60a	3.50gh	29.88a	1972a	11777a
$IR_N \times P_{50}$+ M+Ps	4.60a	100.04a	68.33a	28.64bc	1816b	10397b
$IR_N \times$ M+Ps	4.52a	97.21b	56.17c	27.88c	1722c	9581c
$IR_S \times P_0$	3.33ef	90.94d	3.67gh	25.07f	1456h	7303fg
$IR_S \times P_{100}$	3.24fg	92.00cd	4.00g	26.57e	1474gh	7841ef
$IR_S \times P_{50}$+ M+Ps	3.43ef	91.93cd	36.17f	28.55bc	1638cde	9361cd
$IR_S \times$ M+Ps	3.58d	93.40c	55.50c	27.83cd	1627de	9069cd
			Second year سال دوم			
$IR_N \times P_0$	3.15g	85.13f	2.33gh	25.86ef	1563ef	7997e
$IR_N \times P_{100}$	4.00b	97.50b	3.43gh	29.23ab	1889ab	11056b
$IR_N \times P_{50}$+ M+Ps	3.77c	93.38c	63.50b	28.22bc	1885b	10561b
$IR_N \times$ M+Ps	3.35ef	88.79e	51.83d	28.37bc	1642cde	9252cd
$IR_S \times P_0$	2.64i	81.21h	1.33h	25.72ef	1284i	6634h
$IR_S \times P_{100}$	3.24fg	74.83i	2.17gh	25.87ef	1349i	7011gh
$IR_S \times P_{50}$+ M+Ps	2.95h	84.42fg	48.50e	28.24bc	1541fg	8741d
$IR_S \times$ M+Ps	3.15g	82.83g	48.33e	26.47e	1499fgh	7988e

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حروف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 0.05 probability level-using Least Significant Difference Test.

IR_N (آبیاری کامل)؛ IR_S (کم آبیاری)؛ P_0: شاهد (بدون کود فسفر)؛ P_{100}: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر؛ P_{50}+ M+Ps: کود بیولوژیک (تلقیح بذر با قارچ میکوریزا و باکتری سودوموناس فلورسنس) به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر؛ P_{50}+M+Ps: کود بیولوژیک (تلقیح بذر با قارچ میکوریزا و باکتری سودوموناس فلورسنس) به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر؛ M+Ps: کود بیولوژیک (تلقیح بذر با قارچ میکوریزا و باکتری سودوموناس فلورسنس).

IR_N: Full irrigation; IR_S: Deficit irrigation; P_0 (N_0 phosphorous fertilizer); P_{100} (100% chemical phosphorous fertilizer); P_{50}+M+Ps (seed inoculation by mycorrhiza and *pseudomonas flouresence* strain 93 + 50% chemical phosphorous fertilizer); M+Ps (seed inoculation by mycorrhiza fungi; *Glumos intradices*, and *pseudomonas flouresence* strain 93)

Archive of SID

www.SID.ir

در بررسی تاثیر کودهای فسفر بر شاخص سطح برگ دو رقم کیمیا و سپیده، در سال اول واکنش رقم کیمیا به هر سه نوع کود فسفر یکسان بود و این کودها به یک اندازه شاخص سطح برگ را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۶). اما در رقم سپیده کاربرد کود تلفیقی و کود بیولوژیک تاثیر بیشتری را نسبت به کود شیمیایی فسفر بر افزایش این صفت داشتند. در سال دوم تاثیر کود شیمیایی فسفر بر شاخص سطح برگ رقم کیمیا بیش از سایر کودهای فسفر بود و در رقم سپیده کود شیمیایی فسفر و کود تلفیقی بر این شاخص اثرگذاری بیشتری داشتند (جدول ۶).

نتایج هر دو سال نشان داد که تنش کم آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه سورگوم شد. قابل ذکر است که میانگین ارتفاع گیاه در سال دوم نسبت به سال اول کاهش محسوسی داشت. در بین دو رقم مورد مطالعه، رقم سپیده از ارتفاع گیاه بیشتری نسبت به رقم کیمیا برخوردار بود و تنش کم آبیاری کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه را در هر دو رقم به همراه داشت، هر چند که این کاهش در رقم سپیده محسوس‌تر بود (جدول ۴). در سال اول در شرایط آبیاری کامل کود شیمیایی فسفر و کود تلفیقی تاثیر بیشتری بر افزایش ارتفاع گیاه داشتند، اما در شرایط تنش خشکی با وجود بیشتر بودن ارتفاع گیاه در اثر کاربرد کود بیولوژیک به لحاظ کمی، تفاوت معنی‌داری بین کودهای فسفر مشاهده نشد. در سال دوم زمانی که سورگوم به صورت کامل آبیاری شد کود شیمیایی فسفر بیشترین تاثیر را بر افزایش ارتفاع گیاه داشت، در حالی که با اعمال تنش کم آبیاری، کود شیمیایی فسفر نه تنها منجر به افزایش این صفت نشد بلکه کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه را نسبت به تیمار شاهد به همراه داشت (جدول ۵). در این شرایط کود تلفیقی و کود بیولوژیک به یک اندازه ارتفاع گیاه را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند.

در رابطه با اثر کودهای فسفر بر دو رقم کیمیا و سپیده، در هر دو سال انجام آزمایش هر سه کود فسفر به یک اندازه ارتفاع گیاه رقم کیمیا را افزایش دادند در حالیکه در سال اول در رقم سپیده کود شیمیایی فسفر و کود تلفیقی بیشترین تاثیر را بر افزایش ارتفاع گیاه داشتند و در سال دوم تنها کود تلفیقی منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته رقم سپیده شد (جدول ۶).

در هر دو سال در شرایط آبیاری کامل کود تلفیقی بالاترین درصد کلونیزاسیون را به همراه داشت و از آنجایی که در دو تیمار شاهد و کود شیمیایی از قارچ میکوریزا استفاده نشده بود درصد کلونیزاسیون در این تیمارها در کمترین مقدار خود بود (جدول ۵). درصد کلونیزاسیون در رقم سپیده بیش از رقم کیمیا بود و تقریبا هر دو رقم به تیمار کود تلفیقی بهتر پاسخ دادند (جدول ۶).

کم آبیاری منجر به کاهش معنی دار عملکرد دانه در مقایسه با آبیاری کامل شد. در مجموع عملکرد دانه در سال اول بیش از سال

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۶- میانگین اثر متقابل سال × رقم × منابع مختلف کود فسفر بر برخی خصوصیات سورگوم دانه‌ای

Table 6. Mean of interaction effect of year × cultivar × different phosphorous fertilizers on some characteristics of grain sorghum

تیمار Treatment	شاخص سطح برگ LAI	ارتفاع بوته (سانتیمتر) Plant height (cm)	کلونیزاسیون (٪) Colonization (%)	وزن هزار دانه 1000 Grain weight (g)	تعداد دانه در خوشه Grain no. per spike	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg/ha)
			First year سال اول			
KI × P_0	4.14b	84.26g	3.83fg	26.68d	1559c	8343gh
KI × P_{100}	4.32a	86.80f	4.83f	29.22bc	1724a	10159abc
KI × P_{50}+ M+Ps	4.39a	86.67f	47.50d	30.30bc	1714a	10380abc
KI × M+Ps	4.43a	86.82f	53.00c	28.61c	1681a	9619cde
SE × P_0	3.32f	103.39c	2.50fg	25.01e	1566c	7841gh
SE × P_{100}	3.48e	106.80a	2.67fg	27.24d	1722a	9460de
SE × P_{50}+ M+Ps	3.64d	105.30ab	57.00b	26.90d	1741a	9377de
SE × M+Ps	3.67d	103.79bc	58.67b	27.10d	1667ab	9032ef
			Second year سال دوم			
KI × P_0	2.98g	75.75i	1.99g	28.72c	1394d	8019gh
KI × P_{100}	3.84c	81.67h	2.70fg	29.64bc	1675ab	10033bcd
KI × P_{50}+ M+Ps	3.34ef	80.21h	49.67d	31.78a	1695a	10790abc
KI × M+Ps	3.46ef	80.13h	43.67e	30.09bc	1548c	9309ef
SE × P_0	2.80h	90.58e	1.67g	22.87f	1453d	6612i
SE × P_{100}	3.41ef	90.67e	2.90g	25.45e	1563c	8033gh
SE × P_{50}+ M+Ps	3.39ef	97.59d	62.33a	24.69e	1731a	8512fg
SE × M+Ps	3.04g	91.50e	56.50b	24.75e	1594bc	7931gh

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حروف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 0.05 probability level-using Least Significant Difference Test.

IR_N (آبیاری کامل)؛ IR_S (کم آبیاری)؛ P_0: شاهد (بدون کود فسفر)؛ P_{100}: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر؛ P_{50}+ M+Ps: کود بیولوژیک (تلقیح بذر با قارچ میکوریزا و باکتری سودوموناس فلورسنس) به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر؛ M+Ps: کود بیولوژیک (تلقیح بذر با قارچ میکوریزا و باکتری سودوموناس فلورسنس).

IR_N: Full irrigation; IR_S: Deficit irrigation; P_0 (N_0 phosphorous fertilizer); P_{100} (100% chemical phosphorous fertilizer); P_{50}+M+Ps (seed inoculation by mycorrhiza and *pseudomonas flouresence* strain 93 + 50% chemical phosphorous fertilizer); M+Ps (seed inoculation by mycorrhiza fungi; *Glumos intradices*, and *pseudomonas flouresence* strain 93)

Archive of SID

www.SID.ir

دوم بود که علت آن پیشتر بیان گردید. در واکنش دو رقم سورگوم مورد آزمایش به دو رژیم آبیاری، در سال اول در شرایط آبیاری کامل تفاوت معنی داری بین عملکرد دانه دو رقم کیمیا و سپیده مشاهده نشد در حالی که در شرایط تنش کم آبیاری رقم کیمیا از عملکرد دانه بالاتری در مقایسه با رقم سپیده برخوردار بود (جدول ۴). در سال دوم عملکرد دانه رقم کیمیا در شرایط آبیاری کامل بیش از رقم سپیده بود و در شرایط کم آبیاری نیز این روند مشاهده شد.

اثر متقابل آبیاری و کود بر عملکرد دانه نشان داد که در سال اول در شرایط آبیاری کامل کود شیمیایی فسفر بیشترین تاثیر را بر افزایش عملکرد دانه داشت (جدول ۵). البته قابل ذکر است که هر سه نوع کود فسفر عملکرد دانه را به طور معنی داری نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. با قرار گرفتن گیاه سورگوم در شرایط تنش خشکی، کود بیولوژیک و کود تلفیقی بهتر اثر گذاشتند و این در حالی بود که کاربرد کود شیمیایی فسفر تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (جدول ۵). در سال دوم در شرایط آبیاری کامل کاربرد کود شیمیایی فسفر و کود تلفیقی بیشترین عملکرد دانه را به همراه داشتند و در شرایط کم آبیاری کود تلفیقی بهتر از سایر کودهای فسفر بر عملکرد دانه اثر گذاشت، این در حالی بود که بین کاربرد کود شیمیایی فسفر با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید.

اثر متقابل ارقام × کودهای فسفر بر عملکرد دانه نشان داد که در سال اول تاثیر کود شیمیایی فسفر و کود تلفیقی بر رقم کیمیا بیشتر بود و در سال دوم تاثیر کود تلفیقی حتی از کود شیمیایی فسفر هم بیشتر بود. شایان ذکر است که هر سه کود فسفر در هر دو سال افزایش معنی‌دار عملکرد دانه را نسبت به تیمار شاهد داشتند (جدول ۶). در رابطه با واکنش رقم سپیده به کاربرد کودهای فسفر نتایج سال اول و دوم نشان داد که هر سه کود فسفر به یک اندازه عملکرد دانه رقم سپیده را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند.

تنش کم آبیاری در هر دو سال موجب کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه هر دو رقم در مقایسه با شرایط آبیاری کامل شد (جدول ۴). اثر متقابل دو رژیم آبیاری و کودهای فسفر نشان داد که در سال اول در شرایط آبیاری کامل، کود شیمیایی فسفر بیشترین تاثیر را بر افزایش وزن هزار دانه داشت، با قرار دادن سورگوم در شرایط تنش خشکی کود تلفیقی و کود بیولوژیک توانستند تا حدودی اثر تنش خشکی بر این صفت را تعدیل نمایند (جدول ۵). در سال دوم در شرایط آبیاری کامل هر سه کود فسفر به یک اندازه وزن هزار دانه را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند که البته از نظر کمی کود شیمیایی فسفر بیش از دو کود دیگر وزن هزار دانه را افزایش داده بود. اما در شرایط کم آبیاری تاثیر کود تلقیقی بیش از سایر کودها

Archive of SID

www.SID.ir

بود. اثر متقابل ارقام × کودهای فسفر نشان داد که، در سال اول هر سه کود فسفر به یک اندازه وزن هزار دانه رقم کیمیا را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۶). در سال دوم کود تلفیقی بیشترین تاثیر را بر وزن هزار دانه این رقم داشت. در رابطه با رقم سپیده در سال اول همانند رقم کیمیا، هر سه کود فسفر به یک اندازه وزن هزار دانه را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند که این در سال دوم نیز تکرار شد.

کم آبیاری منجر به کاهش معنی دار تعداد دانه در خوشه شد. اثر متقابل آبیاری × رقم بر تعداد دانه در خوشه سورگوم نشان داد که در سال اول در شرایط آبیاری کامل رقم سپیده از تعداد دانه در خوشه بالاتری در مقایسه با رقم کیمیا برخوردار بود (جدول ۴). اعمال تنش کم آبیاری تعداد دانه در خوشه رقم سپیده را با شدت بیشتری در مقایسه با رقم کیمیا کاهش داد. این موضوع در سال دوم نیز تکرار شد. در رابطه با تاثیر آبیاری و کودهای فسفر در سال اول در شرایط آبیاری کامل، کود شیمیایی فسفر بیشترین تاثیر را بر افزایش تعداد دانه در خوشه داشت ولی در شرایط تنش کود تلفیقی و کود بیولوژیک تاثیر بیشتری بر افزایش تعداد دانه در خوشه سورگوم نسبت به تیمار شاهد داشتند (جدول ۵). در سال دوم در شرایط آبیاری کامل، کود شیمیایی فسفر و کود تلفیقی نتیجه بهتری را به همراه داشتند و همانند سال اول با قرار دادن سورگوم در شرایط تنش خشکی کود تلفیقی و کود بیولوژیک اثرگذار تر بودند. در سال اول واکنش هر دو رقم به هر سه نوع کود فسفر یکسان بود و این کودها همگی به یک اندازه تعداد دانه در خوشه رقم کیمیا و سپیده را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. در سال دوم رقم کیمیا بیشتر تحت تاثیر کود شیمیایی فسفر و کود تلفیقی و رقم سپیده بیشتر از کود تلفیقی متاثر شدند.

شاخص سطح برگ نشان دهنده سطح فتوسنتزکننده و قابلیت گیاه در جذب انرژی تشعشعی و تبدیل آن به ماده خشک می‌باشد (Dwyer *et al*., 1992). با اعمال تنش کم آبیاری شاخص سطح برگ سورگوم کاهش قابل توجهی یافت. مهم‌ترین دلیل کاهش شاخص سطح برگ در اثر تنش کم آبیاری را می‌توان ناشی از کاهش آماس و طویل شدن سلول‌های برگ دانست (Araus *et al*., 2003). تحقیقات فار و فاسی (Farre and Faci, 2006) نیز بیانگر کاهش شاخص سطح برگ سورگوم در اثر اعمال تنش کم آبیاری بود. نسمیت و ریچی (Nesmith and Ritchi, 1992) در مطالعات خود بر روی تاثیر تنش خشکی بر رشد ذرت مشاهده کردند که در زمان تنش نه تنها سطح هر برگ کاهش می‌یابد بلکه سرعت رشد آن نیز تحت تاثیر قرار گرفته و ظهور هر برگ به تاخیر می‌افتد. به گزارش ایشان چنانچه تنش آبی پس از مرحله پنج برگی اعمال شود تعداد کل برگ‌های گیاه تغییری نخواهد یافت زیرا تمایز مریستم انتهایی در مرحله فوق پایان یافته است اما اندازه برگ‌ها کاهش خواهد یافت. از

Archive of SID

www.SID.ir

سوی دیگر در بسیاری از مطالعات همبستگی قوی میان شاخص سطح برگ و عملکرد دانه گزارش شده است (Dwyer *et al*., 1992).

اثر متقابل آبیاری × رقم بر شاخص سطح برگ بیانگر وجود تفاوت محسوس در واکنش ارقام به رژیم آبیاری بود. کاهش شاخص سطح برگ رقم سپیده در اثر کم‌آبیاری بیش از رقم کیمیا بود. گیونتا و همکاران (Giunta *et al*., 1995) معتقدند ارقامی که کمترین کاهش در سطح سبز برگ خود را تحت شرایط تنش رطوبتی نشان می‌دهند مقاومت بیشتری نسبت به تنش خشکی دارند. در شرایطی که آب به مقدار کافی در اختیار گیاه قرار داشت کود تلفیقی و کود شیمیایی فسفر تاثیر بیشتری بر افزایش شاخص سطح برگ داشتند (جدول ۵). اما به دنبال اعمال تنش کم آبیاری، کود بیولوژیک اثر گذاری بیشتری بر شاخص سطح برگ سورگوم داشت. تاکور و پانور (Thakur and Panwar, 1997) در تحقیق خود بر روی لوبیای تلقیح شده با باکتری محرک رشد و قارچ میکوریزا مشاهده کردند که در گیاهانی که بصورت تلفیقی با هر دوی این میکروارگانیسم‌ها تلقیح شده بودند شاخص سطح برگ بیش از گیاهان تلقیح نشده بود و از آنجا که برگ‌ها اندام اصلی فتوسنتزکننده در گیاه می‌باشند، بنابراین افزایش شاخص سطح برگ موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی کافی جهت استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی و تامین مواد پرورده لازم برای پر کردن دانه ها و افزایش عملکرد دانه می‌گردد.

تنش کم آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه سورگوم شد. در واقع کاهش آب آبیاری منجر به کوتاهی فواصل میانگره‌ها می‌شود و کاهش ارتفاع گیاه به کاهش رشد ناشی از تنش آب نسبت داده می‌شود (Nesmith and Ritchi, 1992). نشانه اصلی تنش خشکی کاهش تعداد برگ و اندازه برگ‌ها می‌باشد و اگر کمبود رطوبت ادامه یابد برگ‌های پایینی ریزش کرده و ارتفاع گیاه بطور قابل توجهی کاهش می‌یابد. در صورت وجود آب کافی برای سورگوم، کود شیمیایی فسفر و پس از آن کود تلفیقی اثر بخشی بیشتری بر ارتفاع گیاه داشتند، اما زمانی که سورگوم در معرض تنش خشکی قرار گرفت کود بیولوژیک و کود تلفیقی توانستند تا حدودی اثر تنش را تعدیل نمایند و بهتر از کود شیمیایی فسفر که بخصوص در سال دوم به دلیل درجه حرارت و تبخیر بالاتر نسبت به سال اول نه تنها افزایش بلکه کاهش ارتفاع گیاه در شرایط تنش را به همراه داشت، عمل کنند (جدول ۵). نقش مثبت تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد (Spaepen *et al*., 2009) و قارچ میکوریزا بر افزایش طول ساقه هم در شرایط آبیاری کامل و هم کم‌آبیاری (Asrar and Elhindi, 2011) پیش از این نیز به اثبات رسیده است. تلفیق باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریزا موجب افزایش جذب عناصر، تحریک رشد و افزایش ارتفاع گیاهان از طریق تولید هورمون

Archive of SID

www.SID.ir

اکسین می‌شود (Larsen *et al.*, 2009). در تحقیقی که بر روی ذرت انجام شد نتایج نشان داد که تلقیح بذر ذرت با باکتری‌های سودوموناس منجر به افزایش عملکرد دانه، وزن ساقه و طول ساقه نسبت به تیمار شاهد شد (Zahir *et al.*, 1998).

تنش کم آبیاری منجر به کاهش کلونیزاسیون شد. آل کرکی و همکاران (Al-Karaki *et al.*, 2004) نیز مشاهده کردند که میزان کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ میکوریزا در شرایط تنش کم آبیاری نسبت به آبیاری کامل کاهش می‌یابد و این کاهش کلونیزاسیون در شرایط کمبود آب می‌تواند به علت کاهش فعالیت متابولیکی در اثر کمبود آب باشد. اما نکته قابل توجه در برقراری رابطه همزیستی قارچ میکوریزا با گیاه این است که همزیستی میکوریزائی با اصلاح ساختمان خاک و افزایش آب قابل استفاده در خاک می‌تواند به طور غیر مستقیم در افزایش مقاومت گیاهان به خشکی مؤثر واقع شود. در این نوع همزیستی، شبکه ریشه‌ای توسعه یافته که دارای ریشه‌های ریز، طویل، فراوان و متراکم می‌باشد، با تشریک مساعی هیف‌های قارچ، ذرات خاک را به هم چسبانده و خاکدانه‌هایی با قوام مناسب ایجاد می‌کنند که این امر سبب افزایش تهویه و آب قابل استفاده در خاک می‌گردد (Thomas *et al.*, 1986). بنابراین در پتانسیل آبی مشابه، مقدار آب قابل استفاده در خاک‌های حاوی قارچ‌های میکوریزا، بیشتر از خاک‌های فاقد این قارچ بوده و پژمردگی گیاهان به تعویق می‌افتد (Sanchez Diaz and Honrubia, 1994). بر این اساس شاید بتوان یکی از دلایل افزایش عملکرد گیاه سورگوم در شرایط تنش خشکی را در ارتباط با اثر مثبت گفته شده در رابطه با قارچ میکوریزا دانست.

اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه به عنوان حاصل نهایی رشد و نمو می‌تواند بیانگر عکس‌العمل کلی گیاه به تنش خشکی باشد. بر اساس نتایج به دست آمده از این آزمایش کم آبیاری منجر به کاهش معنی دار عملکرد دانه سورگوم گردید. در میان کودهای به کار رفته به ترتیب کود تلفیقی و کود بیولوژیک بیشترین تاثیر را بر افزایش عملکرد دانه سورگوم داشتند. در واقع در شرایطی که فسفر قابل جذب خاک در حد متوسط باشد، می‌توان تاثیرگذاری این میکروارگانیسم‌ها در افزایش رشد و عملکرد را در کنار قابل دسترس شدن عناصری مانند فسفر و پتاسیم، به سایر سازوکارهای اثر این میکروارگانیسم‌ها مانند تولید مواد تنظیم‌کننده رشد و طویل شدن ریشه مربوط دانست (Zahir *et al.*, 2004). پاتیدار (Patidar, 2001) نیز افزایش عملکرد دانه در سورگوم به دنبال کاربرد باکتری سودوموناس را گزارش کرد. تحقیقات نشان داده است که کاربرد باکتری سودوموناس و قارچ میکوریزا باعث زودرسی محصول، کیفیت بالاتر، افزایش سرعت نمو گیاهی از سبز شدن تا آغاز گلدهی

Archive of SID

www.SID.ir

و گـرده افشـانی شـده در نتیجـه عملکـرد دانـه افـزایش مـی‌یابـد (Ghasemi *et al.*, 2011، Shiranirad *et al.*, 2000). سـینگ و کـاپور (Singh and Kapoor, 1999) در بررسی تـاثیر تلقیح تـوام بـاکتری‌هـای حـل کننـده فسـفات و قـارچ میکـوریزا بـر شـاخص‌هـای رشـد گنـدم مشـاهده کردنـد کـه تلقـیح تـوام ایـن دو ریزسازواره، عملکرد دانه و میزان جذب فسفر را به طور معنی داری نسبت به تیمار شاهد افـزایش داد. نتایج این تحقیق نیز نشـان داد کـه بـالاترین تاثیر زمـانی حاصـل شـد کـه بـاکتری‌هـای حـل کننده فسفات و قارچ میکوریزا با کـود شـیمیایی فسفر همراه بود.

رقـم کیمیـا در هـر دو رژیـم آبیـاری از وزن هـزار دانـه بـالاتری در مقایسـه بـا رقـم سـپیده برخـوردار بـود و ایـن نتیجـه در هـر دو سـال آزمایش تکرار گردید. در شرایط آبیاری کامـل بیشترین تاثیر را کود شیمیایی فسفر بر وزن هـزار دانه داشت و با قرار دادن گیـاه در شـرایط تـنش خشکی، کود تلفیقی بیشترین وزن هـزار دانـه را تولید کرد. سوریال (Sorial, 2001) و قاسمی و همکـاران (Ghasemi *et al.*, 2011) نیـز در تحقیقات خود افزایش عملکرد دانه و وزن هـزار دانه را به ترتیب در گنـدم تلقـیح شـده بـا قـارچ آربوسـکولار میکـوریزا و ذرت تلقـیح شـده بـا کود زیستی فسفاته حاوی باکتری سـودوموناس، تحت سطوح مختلف تنش کم آبیـاری گـزارش کردند.

تـنش کـم آبیـاری در هـر دو سـال منجـر بـه کاهش تعداد دانه در خوشه سورگوم دانـه‌ای در مقایسه بـا آبیـاری کامـل شـد. بـه نظـر مـی‌رسـد کمبود آب از طریـق کـاهش قـدرت مخـزن در جذب مـواد فتوسـنتزی منجـر بـه کـاهش تعـداد گلچه‌های بارور و درنتیجه کاهش تعداد دانه در خوشـه مـی‌شـود (Ludlow *et al.*, 1990). در شرایط آبیاری کامل، رقم سپیده از تعداد دانه در خوشه بالاتری نسـبت بـه رقـم کیمیـا برخـوردار بود، در حالی کـه بـا اعمـال تـنش کـم آبیـاری، تعـداد دانـه در خوشـه رقـم سـپیده بـه طـور معنـی‌داری نسـبت بـه کیمیـا کـاهش یافـت. همانطوریکـه در بررسـی وزن هـزار دانـه و همچنین در بحث حاضر (تعداد دانـه در خوشـه) مشاهده می‌شود، رقم کیمیا از پتانسـیل مقاومـت به خشکی بالاتری نسبت به رقم سپیده برخوردار بود، زیرا با قرارگیری در شرایط تـنش خشـکی، رشـد و اجـزای عملکـرد آن در مقایسـه بـا رقـم سپیده کمتر تحت تاثیر قرار گرفت.

در رابطـه بـا کودهـای مـورد اسـتفاده، در شرایط آبیاری کامل کود شیمیایی فسـفر و پـس از آن کـود تلفیقـی و در آخـر کـود بیولوژیـک باعـث افـزایش معنـی دار تعـداد دانـه در خوشـه نسبت به شاهد شدند. این در حـالی بـود کـه در شرایط تنش کم آبیاری، کود شیمیایی فسـفر بـر روی تعـداد دانـه در خوشـه تـاثیر معنـی داری نداشت ولی کود تلفیقی و کود بیولوژیک تعداد دانـه در خوشـه را در مقایسـه بـا تیمـار شـاهد افزایش دادند که این مشاهدات با نتـایج قاسـمی و همکاران (Ghasemi *et al.*, 2011) مطابقـت

Archive of SID

www.SID.ir

داشت. آنها نیز افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشد، طول خوشه، تعداد و وزن دانه در گیاه گندم به دنبال تلقیح با میکوریزا و در شرایط تنش خشکی را گزارش کردند. این در حالی بود که در گیاهان غیرمیکوریزایی در شرایط تنش خشکی این صفات به شدت کاهش نشان دادند. این نتایج به خوبی با نتایج آل کرکی و همکاران (Al-Karaki *et al*., 2004) که شاهد افزایش قابل توجه عملکرد دانه گندم تلقیح شده با میکوریزا بودند نیز مطابقت داشت.

در مجموع بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق می‌توان کم آبیاری را در تولید سورگوم دانه‌ای توصیه نمود. با اعمال روش کم آبیاری و ۴۰ درصد صرفه جویی در مصرف آب، عملکرد دانه رقم کیمیا تنها ۱۷ درصد و عملکرد دانه رقم سپیده تنها ۲۴ درصد کاهش یافت. با توجه به ارزش غیر قابل انکار آب در کشوری همچون ایران و هزینه‌هایی که صرف تامین این نهاده برای مصارف کشاورزی می‌شود و همچنین مسائل زیست محیطی و اکولوژیکی مربوط به آن، روش کم آبیاری می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی بسیار کارآمد در تولید محصولات علوفه‌ای مانند سورگوم دانه‌ای (به شرط تامین رطوبت مورد نیاز گیاه در مراحل حساس نمو) مورد استفاده قرار گیرد. مقاومت بیشتر رقم کیمیا در برابر خشکی موجب بالاتر بودن عملکرد دانه آن در شرایط کم آبیاری در مقایسه با رقم سپیده شد. بنابراین این رقم می‌تواند عکس‌العمل بهتری در نظام کم آبیاری نسبت به رقم سپیده از خود نشان دهد و برای این شرایط قابل توصیه می‌باشد. بر اساس نتایج این تحقیق، چنانچه آبیاری سورگوم بطور کامل انجام شود کود شیمیایی تاثیر بیشتری بر افزایش عملکرد دانه خواهد داشت در حالیکه با اعمال تنش کم آبیاری، کود تلفیقی بیش از کود شیمیایی فسفر اثر گذار بود. در واقع می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاربرد کود بیولوژیک می‌تواند تا حدودی اثر تنش کم آبیاری را تعدیل نماید.

سپاسگزاری

بخشی از هزینه‌های اجرای این طرح توسط قطب علمی به زراعی، به نژادی و بیوتکنولوژی گیاهان علوفه ای دانشگاه تهران تامین شده است.

References

Adediran, J. A., Taiwo, L. B., Akande, M. O., Sobulo, R. A., and Idowu, O. J. 2004. Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria**.** Journal of Plant Nutrition 27: 1163-1181.

Al-Karaki, G. N. 1998. Benefit, cost and water use efficiency of arbuscular mycorrhizal durum wheat grown under drought stress. Mycorrhiza 8: 41-45.

Archive of SID

www.SID.ir

Al-Karaki, G. N., McMichael, B., and Zah, J. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. Mycorrhiza 14: 263-269.

Almodares, A., Taheri, R., and Safavi, V. 2008. Sorghum (Botany, Agronomy and Biotechnology). Jihad-e-Daneshgahi of Esfahan University. Esfahan, Iran. 264 pp. (In Persian).

Araus, J. L., Bort, J., Steduto, P., Villegase, D. and Royo, C. 2003. Breeding cereals for Mediterranean conditions: ecophysiological clues for biotechnology application. Annals of Applied Biology 142:129-141.

Asrar, A. A., and Elhindi, K. M. 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes ereca*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. Saudi Journal of Biological Sciences 18: 93-98.

Dwyer, L. M., Stewart, D. W., Hamilton, R. I., and Houwing, L. 1992. Ear position and vertical distribution of leaf area in corn. Agronomy Journal 84: 430-438.

Farre, I., and Faci, J. M. 2006. Comparative response of maize (*Zea mays L.*) and sorghum (*Sorghum bicolor L. Moench*) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management 83 (1-2): 135-143.

Fernandez, L. A., Zalba, P., Gomez, M. A., and Sagardoy, M. A. 2007. Phosphate-solubilization activity of bacterial strains in soil and their effect on soybean growth under greenhouse conditions. Biology and Fertility of Soils 43: 805-809.

Ghasemi, S., **Siavoshi, K., Chookan, R. and Khavazi, K. 2011**. Effect of biofertilizer phosphate on grain yield and its components of maize (*Zea mays* L.) *cv*. KSC704 under water deficit stress conditions. Seed and Plant Production Journal 27-2 (2): 219-233. (In Persian).

Giunta, F., Motzo, R., and Deidda, M. 1995. Effect of drought on leaf area development, biomass production and nitrogen uptake of durum wheat grown in Mediterranean environment. Australian Journal of Agricultural Research 96: 99-111.

Illmer, P., and Schimmer, F. 1995. Solubilization of inorganic calcium phosphates-solubilization mechanisms. Soil Biology and Biochemistry 27: 257–263.

Kormanik, P. P., and McGraw, A. C. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular

Archive of SID

www.SID.ir

mycorrhizae in plant roots. Pp. 37-45. In: N. C. Schenck (ed.) Methods and Principles of Mycorrhizal Research.

Larsen, J., Cornejo, P., and Barea, J. M. 2009. Interactions between the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and the plant growth promoting rhizobacteria *Paenibacillus polymyxa* and *P. maserans* in the mycorrhizosphere of *Cucumis sativus*. Soil Biology and Biochemistry 41(2): 286-292.

Ludlow, M. M., and Muchow, R. C. 1990. A critical evaluations of traits for improving crop yields in water- limited environments. Advances in Agronomy 43: 107-153.

Nesmith, D. S., and Ritchi, J. T. 1992. Short and long term response of corn to a parenthesis soil water deficit. Agronomy Journal 84: 107-113.

Patidar, M. 2001. Integrated nutrient management in sorghum (*Sorghum bicolor*) and its residual effect on wheat (*Triticum aestivum*). Indian Journal of Agricultural Sciences 71: 587-590.

Sanchez Diaz, M., and Honrubia, M. 1994. Water relations and alleviation of drought stress in mycorrhizal plants. Pp: 167-178. In: Gianizazzi, S. and H. Schuepp (eds.). Impact of Arbuscular Mycorrhizal on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems.

Shiranirad, A., Alizadeh, A., and Hashemi Dezfooli, A. 2000. The study of vesicular-arbuscular mycorrhizae fungi, phosphorus and drought stress effects on nutrient uptake efficiency in wheat. Seed and Plant 16(3): 327-349. (In Persian).

Singh, S., and Kapoor, K. K. 1999. Inoculation with PSM and a VAM fungus improves dry matter yield and nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil. Biology and Fertility of Soils 28: 139-144.

Smith, S.E., and Read, D.J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. 2nd edition. Academic Press, London. 857 pp.

Sorial, M. E. 2001. Growth, phosphorus uptake and water relations of wheat infected with an arbuscular mycorrhizal fungus under water stress. Annals of Agricultural Science 39 (2): 909-931.

Spaepen, S., Vanderleyden, J., and Okon, Y. 2009. Plant growth-promoting actions of rhizobacteria. Advances in Botanical Research 51: 283-320.

Archive of SID

www.SID.ir

Subramanian, K. S., Santhanakrishnan P., and Balasubramanian, P. 2006. Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. Scientia Horticulture 107: 245-253.

Sylvia, D. M., and Williams, S. E. 1992. Vesicular- arbuscular mycorrhizae and environmental stress. In: G. J. Bethlenfalvay and R. G. Linderman (eds.). Mycorrhizae in Sustainable Agriculture. ASA Special Publication 54: 101- 124.

Thakur, A. K., and Panwar, **J. D. S. 1997.** Response of rhizobium- vesicular arbuscular mycorrhizal sambionts on photosynthesis, nitrogen metabolism and sucrose translocation in green gram (*Phaseolus radiates*). Indian Journal of Agricultural Sciences 67: 254-248.

Thomas, R. S., Dakessian, S., Ames, R. N., Brown, M. S. and Bethenfalvay, G. J. 1986. Aggregation of a silty clay loam by mycorrhizal onion roots. Soil Science Society of America Journal 50: 1494-1499.

Turan, M., Ataoglu, N., and Sahin, **F. 2006.** Evaluation of the capacity of phosphate solubilizing bacteria and fungi on different forms of phosphorus in liquid culture. Journal of Sustainable Agriculture 28:99-108.

Zahir, A. Z., Arshad, M., and Frankenberger, W. t. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria:applications and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy 81:97-168.

Zahir, Z. A., Akram, M., Arshad, M., and Khalid, A. 1998. Improving maize yield by inoculation with plant growth promoting rhizobacteria. Pakistan Journal of Soil Science 15: 7-11.

Archive of SID

www.SID.ir