به‌زراعی کشاورزی
دوره ۱۹ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۶
صفحه‌های ۸۱۵-۷۹۹

بررسی میکوریزا و محلول‌پاشی آهن و روی بر صفات کمّی و کیفی سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor* L.)

محسن باقری ده‌آبادی[۱]، حسین مقدم[۲]*، محمدرضا چایچی[۳]، نسرین زیلوئی[۴]

۱. دانشجوی دکتری، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۴. دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۰۱

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کود زیستی و محلول‌پاشی برخی عناصر کم‌مصرف بر عملکرد کمّی و کیفی سورگوم علوفه‌ای (رقم 'پگاه')، این آزمایش در سال ۱۳۹۰ در مزرعهٔ پژوهشی دانشگاه تهران واقع در کرج به‌صورت اسپیلت - فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو سطح تلقیح و عدم‌تلقیح با میکوریزا در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی آهن با غلظت‌های صفر، ۴ و ۸ در هزار و محلول‌پاشی روی با غلظت‌های صفر، ۳ و ۶ در هزار در کرت‌های فرعی بود. نتایج تجزیهٔ واریانس نشان‌دهنده تأثیر مثبت و معنادار کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی آهن و روی بر عملکرد خشک، ارتفاع بوته، وزن ساقه، وزن برگ، پروتئین خام، کربوهیدرات‌های محلول در آب و خاکستر در سطح ۱ درصد و فیبرهای غیرمحلول در شویندهٔ اسیدی در سطح ۵ درصد بود. ولی، محلول‌پاشی آهن و روی تأثیر معناداری بر درصد هم‌زیستی ریشه نداشت. همچنین، هیچ کدام از عامل‌های مورد بررسی بر تعداد برگ تأثیری نداشت. در این میان، تیمار کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۴ در هزار آهن و ۳ در هزار روی بالاترین عملکرد را تولید کرد و در مقایسه با شاهد ۴۰ درصد افزایش عملکرد داشت. با توجه به نتایج آزمایش، این تیمار برای رشد عملکرد و خصوصیات کیفی سورگوم علوفه‌ای رقم 'پگاه' در منطق Z کرج توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: پروتئین خام، عملکرد علوفه، عناصر کم‌مصرف، کود زیستی، مادهٔ خشک قابل‌هضم.

* نویسنده مسئول
Email: hmoghadam@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

سورگوم یکی از گیاهان علوفه‌ای تیرهٔ گرامینه است که در بسیاری از نقاط دنیا، به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌منظور تولید علوفهٔ سبز، سیلویی و خشک استفاده می‌شود. این گیاه با داشتن صفاتی مانند قدرت پنجه‌زنی بالا، رشد سریع، تولید عملکرد مناسب، راندمان مصرف آب و نیتروژن بالا و مقاومت به تنش خشکی، در تولید علوفه در جهان اهمیت ویژه‌ای دارد [۱۱]. برای دستیابی به عملکرد کمّی و کیفی بالا در این گیاه باید ترکیب مناسبی از عناصر غذایی در اختیار آن قراربگیرد.

در ایران، به‌دلیل بالابودن اسیدیته و درصد بی‌کربنات خاک، کشت متناوب اراضی، مصرف بی‌رویهٔ کودهای شیمیایی مانند نیتروژن و فسفر و عدم‌کاربرد کودهای دارای عناصر کم‌مصرف در گذشته [۱۲]، امروزه کمبود عناصر ریزمغذی در خاک‌ها و در نتیجه گیاهان زراعی به‌طور گسترده‌ای مشهود است. در گیاهان مختلف، جذب ناکافی عناصر ریزمغذی، به‌ویژه آهن و روی، باعث افت کمّی و کیفی محصول می‌شود [۳]. آهن فراوان‌ترین عنصر کم‌مصرف در لیتوسفر است که در گیاه در ساخت و نگه‌داری کلروفیل، تنفس سلولی، جذب نیترات و سوخت‌وساز کلروپلاست، اسید نوکلئیک‌ها و RNA مؤثر است [۲۷]. حلالیت و قابلیت جذب آهن به‌شدت وابسته به اسیدیتهٔ خاک است و به‌ازای هر واحد افزایش اسیدیته، حلالیت آن ۱۰۰۰ مرتبه کاهش می‌یابد. اکثر خاک‌های جهان و حتی ایران اسیدیتهٔ خنثی دارد، ولی در این اسیدیته نیز نیاز آهن گیاه برآورده نمی‌شود [۳].

عنصر روی نیز یکی دیگر از عناصر ضروری برای رشد گیاه است که در فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز، آلدولاز، ایزومراز، ترانس فسفریلاز و RNA و DNAپلیمراز نقش مهمی ایفا می‌کند [۲۳]. محلولیت روی نیز در خاک تا حد زیادی وابسته به اسیدیته است، به‌گونه‌ای که در اسیدیتهٔ بیش از هفت به‌طور عمومی کمبود روی در خاک مشاهده می‌شود. در گیاهان مبتلا به کمبود این عنصر، سنتز و فعالیت هورمون‌های رشدی نظیر ایندول‌استیک اسید کاهش می‌یابد و سبب کوچکی اندازهٔ برگ‌ها و کوتولگی گیاه می‌شود. همچنین، عقیمی دانه‌های گرده و وجود نوارهای روشن در امتداد رگبرگ اصلی برگ نیز از علایم کمبود این عنصر در گیاهان است [۳]. تحقیقات مختلف نشان می‌دهد در خاک‌های مناطق خشک که با کمبود آهن و روی مواجه است و معمولاً اسیدیتهٔ بیش از ۷ دارد، مصرف برگی این عناصر به‌دلیل عدم تثبیت در خاک، بیش از مصرف خاکی یا تیمار بذرها با عناصر فوق باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد محصول زراعی می‌شود [۱، ۳۵]. همچنین، مرور منابع متعدد نشان داد که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در دو مرحلهٔ شش‌برگی و ظهور گل تاجی بیش از محلول‌پاشی در هر یک از این دو مرحله بر بهبود صفات کمّی و کیفی گیاه علوفه‌ای مؤثر است [۷، ۱۴].

نتایج مطالعات بلندمدت نشان داده است که استفادهٔ متوالی از کودهای شیمیایی، عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد و آثار مخرب محیط‌زیستی فراوانی به‌دنبال دارد [۱۷]. از این‌رو، امروزه، در کشاورزی پایدار، توجه ویژه‌ای به استفاده از کودهای با منشأ طبیعی می‌شود. قارچ‌های هم‌زیست میکوریزا، از جمله کودهای زیستی است که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم باعث بهبود رشد گیاه می‌شود. این قارچ‌ها توانایی برقراری رابطهٔ هم‌زیستی با ۸۰ تا ۹۰ درصد گیاهان از جمله سورگوم را دارد [۲۱]. هم‌زیستی آن‌ها با گیاهان به‌دلیل افزایش سطح جذب ریشه از طریق ایجاد هیف، سبب افزایش جذب آب و عناصر غذایی در گیاهان می‌شود. تخمین‌زده می‌شود که در گیاهان

Archive of SID
www.SID.ir

هم‌زیست با میکوریزا، حدود ۸۰ درصد جذب فسفر گیاه توسط میکوریزا صورت می‌گیرد. علاوه‌بر جذب فسفر، این قارچ سبب بهبود جذب نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، مس، آهن و روی می‌شود [۱۸].

در بین قارچ‌های میکوریزا، گونهٔ *Glomus mosseae* به‌دلیل توزیع گسترده در خاک، توانایی هم‌زیستی با ریشهٔ سپهر[1] بسیاری از گیاهان و امکان شناسایی سریع و آسان اهمیت ویژه‌ای دارد [۵، ۶]. طبق نتایج مطالعات متعدد، از مهم‌ترین مزایای تلقیح بذر گیاهان با قارچ *G. mosseae* می‌توان به افزایش فراهمی عناصر غذایی و آب در گیاه، افزایش تحمل به خشکی، افزایش شاخص سطح برگ [۵]، افزایش کارایی مصرف فسفر، افزایش درصد هم‌زیستی، افزایش عملکرد مادهٔ خشک، افزایش میزان کلروفیل [۴]، و افزایش فتوسنتز، ارتفاع و قطر ساقه [۶] اشاره کرد. برخی گزارش‌ها نشان می‌دهد کاربرد میکوریزا به‌همراه افزودن عناصر غذایی مانند فسفر، آهن، روی و منگنز به خاک سبب افت کارایی میکوریزا و کاهش جذب آب و مواد غذایی در گیاه می‌شود [۲۶]. برای رفع این مشکل، برخی محققان بیان کردند می‌توان با تلفیق کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی عناصر غذایی، بهره‌برداری از عناصر غذایی خاک و تولید عملکرد گیاه را به‌طور چشمگیری افزایش داد [۱۸، ۱۹]. با این حال، برخی گزارش‌ها نشان‌دهندهٔ عدم تأثیر محلول‌پاشی عناصر غذایی بر کارایی قارچ‌های میکوریزای هم‌زیست با گیاهان است [۲۹]. از این‌رو، در پژوهش حاضر تأثیر کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف آهن و روی بر عملکرد کمّی و کیفی سورگوم علوفه‌ای (رقم 'پگاه') بررسی شد.

۲. مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به‌صورت آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۳۹۰ در مزرعهٔ آموزشی و پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج (طول جغرافیایی ۵۱ درجه، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقهٔ شمالی و ارتفاع ۱۳۱۲ متر از سطح دریا) اجرا شد. این منطقه از نظر تقسیم‌بندی اقلیمی براساس طبقه‌بندی دومارتن گسترش‌یافته، جزء مناطق نیمه‌خشک و سرد محسوب می‌شود. بر اساس نتایج آزمایش خاک مزرعه، بافت خاک لومی بود. همچنین، کمبود عناصر ریزمغذی آهن و روی در خاک به‌طور کامل مشهود بود (جدول ۱).

آزمایش به‌صورت اسپیلت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار روی سورگوم علوفه‌ای رقم 'پگاه' اجرا شد. تیمارهای آزمایش عبارت بود از دو سطح عدم‌تلقیح و تلقیح با میکوریزای گونهٔ *Glomus mosseae* در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی آهن با غلظت‌های صفر، ۴ و ۸ در هزار از منبع سولفات آهن (۲۲ درصد) و محلول‌پاشی روی با غلظت‌های صفر، ۳ و ۶ در هزار از منبع سولفات روی (۳۴ درصد) در کرت‌های فرعی (جدول ۲).

محلول‌پاشی عناصر روی و آهن در دو نوبت (مراحل شش و ده‌برگی سورگوم) و در هنگام عصر انجام شد. قارچ *G. mosseae* نیز به‌روش تله‌گلدانی سورگوم در آزمایشگاه بیولوژی گروه خاک‌شناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تکثیر شد. سپس، مایهٔ تلقیح میکوریزا به‌صورت مخلوطی از اسپور، هیف، ریشه‌های هم‌زیست با قارچ از گیاه سورگوم و خاک استفاده شد. در هر گرم خاک به‌طور میانگین ۴۰ اسپور زنده از میکوریزا وجود داشت و هنگام کاشت جهت اعمال تیمار میکوریزا، مقدار ۸ گرم از خاک حاوی میکوریزا به‌ازای هر بذر استفاده و بلافاصله پس از کاشت، مزرعه آبیاری شد.

1. rhizosphere

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعهٔ آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۰

مشخصهٔ خاک	میزان	مشخصهٔ خاک	میزان	مشخصهٔ خاک	میزان
رس (٪)	۲۳	نیتروژن کل (٪)	۰/۱۶	T.N.V† (٪)	۶/۴
سیلت (٪)	۴۶	مادهٔ آلی (٪)	۱/۶۴	اسیدیته	۷/۴۱
شن (٪)	۳۱	فسفر قابل‌جذب (ppm)	۱۰/۲۵	روی (ppm)	۰/۶۲
هدایت الکتریکی	۱/۳۳	پتاسیم قابل‌جذب (ppm)	۱۲۳/۴	آهن (ppm)	۴

† Total neutralizing value یا ارزش مواد خنثی‌کنندهٔ کل خاک

جدول ۲. سطوح مورد بررسی محلول‌پاشی عناصر آهن و روی به‌همراه علامت اختصاری

تیمار	نماد	تیمار	نماد
شاهد (بدون محلول‌پاشی)	F_0Z_0	محلول‌پاشی با میزان ۴ در هزار آهن و ۳ در هزار روی	F_4Z_3
محلول‌پاشی با میزان ۳ در هزار روی	F_0Z_3	محلول‌پاشی با میزان ۴ در هزار آهن و ۶ در هزار روی	F_4Z_6
محلول‌پاشی با میزان ۶ در هزار روی	F_0Z_6	محلول‌پاشی با میزان ۸ در هزار آهن و ۳ در هزار روی	F_8Z_3
محلول‌پاشی با میزان ۴ در هزار آهن	F_4Z_0	محلول‌پاشی با میزان ۸ در هزار آهن و ۶ در هزار روی	F_8Z_6
محلول‌پاشی با میزان ۸ در هزار آهن	F_8Z_0		

عملیات کاشت در نیمهٔ دوم خرداد به‌صورت دستی و در عمق ۵ سانتی‌متری انجام شد. برای تأمین نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد نیاز گیاهان، کودهای فسفات آمونیم و سولفات پتاسیم بر اساس نتایج آزمون خاک، قبل از کاشت به‌صورت نواری در کنار خط کاشت به زمین اضافه شد. طی آزمایش، آبیاری به‌صورت هفته‌ای یک‌بار انجام شد. در مرحلهٔ چهاربرگی گیاهان، عملیات تنک‌کردن انجام شد، به گونه‌ای که تراکم ۲۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد.

در انتهای فصل رشد سورگوم (نیمهٔ اول شهریور) از هر کرت ریشه‌های پنج بوته به‌طور تصادفی از عمق ۵ تا ۲۵ سانتی‌متری خاک برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه، نخست نمونه‌های ۱ گرمی از ریشه‌های هر کرت تهیه و با آب مقطر شسته شد. سپس، به‌منظور رنگ‌بری به‌مدت ۲۰ دقیقه در محلول ۱۰ درصد KOH قرارگرفت. ریشه‌ها با آب مقطر شسته شد و به‌مدت ۴۸ ساعت در محلول کاتن بلو قرارگرفت و مجدداً با آب مقطر شسته شد [۳۰]. در مرحلهٔ بعد، برای تعیین درصد هم‌زیستی، از روش تلاقی خطوط مشبک استفاده شد [۲۸].

همچنین، در انتهای فصل رشد برای تعیین عملکرد علوفهٔ خشک از گیاهان ۱ مترمربع از هر کرت با احتساب ۰/۵ متر حاشیه، یک‌چین (اولین چین علوفه) برداشت و پس از خشک‌کردن، توزین شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع ساقه، وزن خشک ساقه، تعداد برگ، وزن خشک برگ و سایر صفات کیفی علوفهٔ سورگوم، از هر کرت چهار بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد. برای تعیین وزن خشک ساقه و برگ پس از تفکیک برگ‌ها از ساقه، هر یک به‌طور جداگانه به‌مدت ۵ روز در دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد داخل آون قرارگرفت. سپس، نمونه‌های خشک‌شده توزین شد. برای اندازه‌گیری صفات کیفی علوفه شامل پروتئین

Archive of SID
www.SID.ir

خام[1]، کربوهیدرات‌های محلول در آب[2]، خاکستر[3]، فیبرهای غیرمحلول در شویندهٔ اسیدی[4] و مادهٔ خشک قابل‌هضم[5] نیز نمونه‌های گیاهی در آون (دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد، مدت پنج روز) خشک و سپس آسیاب شد. پس از آن، از هر تیمار نمونه‌ای به وزن ۲۰ گرم تهیه و برای تعیین صفات به آزمایشگاه جنگل‌ها و مراتع جهاد کشاورزی ارسال شد. برای تعیین این صفات از دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز نزدیک[6] استفاده شد. اساس این دستگاه بر جذب و انعکاس اشعهٔ مادون قرمز در طول موج‌های بین ۷۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر استوار است. کالیبره‌کردن دستگاه با استفاده از نرم‌افزار SESAME2 و بنا بر داده‌های مربوط به گراس‌های علوفه‌ای انجام شد. پس از کالیبره‌کردن، صفات کیفی اندازه‌گیری شد [۲۴]. در مرحلهٔ بعد، با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C آزمون نرمال‌بودن داده‌ها، تجزیه‌های آماری و مقایسهٔ میانگین داده‌ها بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. همچنین، محاسبهٔ هم‌بستگی ساده بین صفات مختلف با استفاده از نرم‌افزار SPSS 17 انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. عملکرد علوفهٔ خشک

طبق نتایج تجزیهٔ واریانس، اثر متقابل محلول‌پاشی آهن و روی و اثر سه‌گانهٔ کاربرد میکوریزا در محلول‌پاشی آهن و روی بر عملکرد علوفهٔ خشک سورگوم در سطح ۱ درصد معنادار بود (جدول ۳). تیمار کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۴ در هزار آهن و ۳ در هزار روی با تولید ۱۷۶۱۲ کیلوگرم در هکتار علوفهٔ خشک در یک چین برداشت، بالاترین عملکرد را در بین تمام تیمارها تولید کرد و در مقایسه با شاهد، ۴۰ درصد عملکرد علوفه را تغییر داد. پیش از این نیز تأثیر مثبت قارچ میکوریزا بر افزایش عملکرد سورگوم گزارش شده است [۵]. در واقع، هم‌زیستی میکوریزا با گیاه از طریق افزایش جذب و انتقال آب و عناصر غذایی مختلف مانند فسفر، آهن، روی، مس و منگنز به ریشه‌ها، به‌طور غیرمستقیم سبب افزایش عملکرد گیاه می‌شود [۹]. حمزه‌ئی و صادقی [۵]، و دود [۲۲] بیان کردند که علت افزایش عملکرد مادهٔ خشک گیاه در هم‌زیستی با میکوریزا، افزایش سرعت فتوسنتز در گیاهان میکوریزایی است. به‌دنبال آن‌ها، در آزمایش دیگری والنتین و همکاران [۳۲] افزایش سرعت فتوسنتز در گیاهان میکوریزایی را به افزایش وزن مخصوص برگ، افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو و افزایش میزان انتقال الکترون نسبت دادند. همچنین، در آزمایش حاضر مشاهده شد، عملکرد علوفهٔ خشک در صورت محلول‌پاشی توأم عناصر آهن و روی در مقایسه با محلول پاشی جداگانهٔ عناصر، افزایش بیشتری نشان می‌دهد (جدول ۴). این نتیجه با گزارش‌های سیلسپور [۱۲]، و خلیلی‌محله و رشدی [۷] مطابقت داشت که می‌توان آن را به افزایش بیوسنتز اکسین در حضور عنصر روی [۱۳]، افزایش غلظت کلروفیل، افزایش فعالیت فسفو انول پیروات کربوکسیلاز و ریبلوز بی فسفات کربوکسیلاز، کاهش تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی، افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر در حضور عناصر آهن و روی نسبت داد [۷]. البته، طبق نتایج مطالعهٔ حاضر، عملکرد علوفهٔ خشک با کاربرد توأم قارچ میکوریزا و محلول‌پاشی آهن و روی نسبت به کاربرد هر یک از آن‌ها به‌طور مجزا، به میزان بیشتری افزایش یافت که بیانگر هم‌افزایی مثبت بین فاکتورهای آزمایش بر افزایش فراهمی آب و عناصر غذایی مختلف برای گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد علوفهٔ خشک است.

1. Crude Protein (CP)
2. Water Soluble Carbohydrates (WSC)
3. Total ASH (ASH)
4. Acid Detergent Fiber (ADF)
5. Dry Matter Digestibility (DMD)
6. Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIR)

Archive of SID
www.SID.ir

۲.۳. درصد هم‌زیستی

تنها اثر سادهٔ قارچ میکوریزا بر صفت درصد هم‌زیستی در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود و هیچ یک از آثار متقابل میکوریزا در محلول‌پاشی آهن و روی بر این صفت اثر معناداری نداشت (جدول ۳). هم‌زیستی میکوریزا با گیاهان سبب افزایش فراهمی فسفر و فلزات کم‌تحرک در خاک از جمله آهن، روی، مس و منگنز گیاهان می‌شود. گزارش شده است درصد هم‌زیستی و امکان جذب عناصر غذایی توسط گیاهان هم‌زیست با میکوریزا، به‌طور قابل‌توجهی به غلظت فسفر و عناصر ریزمغذی در خاک وابسته است [۲۶]؛ بدین صورت که با افزایش غلظت فسفر و فلزاتی مانند آهن، روی، مس و منگنز در خاک، درصد هم‌زیستی و طول هیف‌های قارچ میکوریزا کاهش می‌یابد؛ در نتیجه، جذب عناصر ریزمغذی در گیاهان هم‌زیست با میکوریزا، به‌شدت کاهش می‌یابد. با وجود این، طبق نتایج تجزیهٔ واریانس مطالعهٔ حاضر، محلول‌پاشی آهن و روی بر درصد هم‌زیستی قارچ با گیاه سورگوم اثر معناداری نداشت.

پیش از این نیز نتایج برخی مطالعات نشان داد محلول‌پاشی فسفر و عناصر ریزمغذی روی اندام‌های هوایی گیاه بر درصد هم‌زیستی، طول هیف‌ها و در نتیجه میزان جذب مواد غذایی گیاهان هم‌زیست با میکوریزا تأثیر منفی معناداری ندارد [۲۹]. با این حال، تأمین فسفر و عناصر ریزمغذی در گیاهان میکوریزایی از طریق محلول‌پاشی، در سطح تجاری با مشکلات متعددی مواجه است. در مطالعهٔ حاضر، میانگین درصد هم‌زیستی قارچ *G. mosseae* با ریشهٔ گیاه سورگوم ۵۳/۷ درصد بود.

۳.۳. ارتفاع بوتهٔ گیاه

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که تأثیر متقابل محلول‌پاشی آهن و روی و آثار متقابل دوگانه و سه‌گانهٔ کاربرد میکوریزا در محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در سطح ۱ درصد بر ارتفاع بوتهٔ سورگوم معنادار بود (جدول ۳). در بین تیمارهای مورد بررسی، تیمارهای تلفیقی کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بالاترین میانگین ارتفاع بوته را داشت. در این میان، تیمار کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۸ در هزار آهن و ۶ در هزار روی (با میانگین ۲/۳۶ متر) بیشترین ارتفاع بوته را تولید کرد که با تیمار کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۴ در هزار آهن و ۶ در هزار روی تفاوت معناداری نداشت و تیمار شاهد با میانگین ۲/۰۴ متر کمترین ارتفاع بوته را تولید کرد (جدول ۴). نقش مثبت تلقیح بذر با قارچ میکوریزا بر افزایش طول ساقهٔ گیاه، پیش از این نیز گزارش شده است [۲۰]. در واقع، قارچ میکوریزا سبب تحریک بیوسنتز هورمون اکسین در گیاه می‌شود که این هورمون از طریق افزایش انبساط‌پذیری سلول‌ها، همچنین افزایش غالبیت انتهایی سبب افزایش ارتفاع بوته می‌شود [۲۵]. همچنین، برخی محققان تأثیر مثبت محلول‌پاشی تلفیقی عناصر آهن و روی بر افزایش ارتفاع گیاه را گزارش کرده‌اند [۷].

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف در افزایش ارتفاع بوته مؤثرتر است (جدول ۴). علاوه‌بر این، ارتباط نزدیکی میان عملکرد علوفه و ارتفاع بوتهٔ سورگوم مشاهده شد (جدول ۵). بدین‌ترتیب، با افزایش ارتفاع سورگوم علوفه‌ای تحت تأثیر کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی عناصر غذایی، عملکرد علوفهٔ خشک افزایش می‌یابد. ویتی و چامبلیس [۳۴] نیز با مطالعه روی ذرت بیان کردند که عملکرد این گیاه تابعی از ارتفاع بوته از سطح زمین است. بدین ترتیب، هر چه ارتفاع گیاه هنگام برداشت بیشتر باشد، عملکرد مادهٔ خشک بیشتر خواهد بود.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳. تجزیهٔ واریانس عملکرد و صفات کمّی و کیفی سورگوم علوفه‌ای تحت تأثیر میکوریزا و محلول‌پاشی آهن و روی

منبع تغییر	درجهٔ آزادی	عملکرد علوفهٔ خشک	درصد همزیستی	ارتفاع بوته	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	تعداد برگ	CP	WSC	DMD	ASH	ADF
بلوک	۳	۴۰/۱۹*	۸/۱۳۲ ns	۰/۰۳۲ *	۹/۵۲ *	۰/۷۱۶ *	۰/۱۰۵ ns	۲/۷۸ ns	۳/۴۱ ns	۵۰۸/۱۰ **	۲/۲۹ **	۱۷/۴۴ *
میکوریزا	۱	۹۶/۵۵**	۴۰/۵۸ **	۰/۰۵*	۳۶/۱۰**	۳/۳۸**	۰/۰۲۳ ns	۱۲/۴۶۱ *	۱۹/۷۷۳**	۹۴/۶۱۸**	۰/۴۵۱*	۲/۵۲ ns
خطای اصلی	۳	۱/۴۶	۱/۱۲۱	۰/۰۰۱۷	۱/۰۱	۰/۰۴۰	۰/۰۱۷	۰/۷۲۱	۰/۴۱۸	۱/۸۵	۰/۰۳۴	۰/۵۹۹
آهن	۲	۳۳/۱۲**	۲/۷۱۸ ns	۰/۱۰**	۱۷/۸۸**	۰/۶۹**	۰/۱۶ ns	۳/۲۳۸**	۵/۵۳۱**	۶۹/۴۹۴**	۰/۰۷۵ ns	۵۴/۳۲**
روی	۲	۲۶/۲۶**	۲/۳۵۷ ns	۰/۲۱**	۱۸/۴۱**	۱/۲۳**	۰/۰۰۶ ns	۴/۸۹۸**	۷/۱۰۳**	۱۶۱/۰۰۴**	۰/۰۸۲ ns	۵۶/۹۱**
میکوریزا × آهن	۲	۳/۲۱*	۱/۵۷۶ ns	۰/۰۱**	۱/۸۴**	۰/۳۸**	۰/۰۰۱ ns	۲/۰۵۲**	۰/۹۴۹**	۹/۱۵**	۱/۴۱ **	۱/۳۰۶ ns
میکوریزا × روی	۲	۳/۴۰*	۰/۴۶۱ ns	۰/۰۱**	۱/۲۰**	۰/۴۴**	۰/۰۰۷ ns	۲/۹۴۳**	۰/۶۸۶**	۴/۹۷۴*	۰/۲۹۲**	۱/۱۹۷ ns
آهن × روی	۴	۵/۶۵**	۲/۲۱۶ ns	۰/۰۱۳**	۶/۲۰**	۱/۲۷**	۰/۰۰۴ ns	۳/۶۴۲**	۱/۲۲۸**	۳/۶۸۷*	۰/۵۰۸**	۸۴/۷۳**
میکوریزا × آهن × روی	۴	۴/۲۹**	۱/۰۳ ns	۰/۰۱**	۱/۵۷**	۰/۵۱**	۰/۰۰۵ ns	۳/۲۴۹**	۳/۷۶۱**	۰/۴۰۱ ns	۰/۲۸۱**	۱/۱۷*
خطای فرعی	۴۸	۰/۹۷	۰/۹۰۲	۰/۰۰۱۰	۰/۲۳	۰/۰۳۵	۰/۰۱۴	۰/۴۰۳	۰/۱۳	۱/۴۲	۰/۰۲۶	۰/۴۲
درصد ضریب تغییرات	–	۶/۴۷	۱/۷۷	۱/۴۲	۴/۰۴	۵/۵۳	۱/۰۳	۵/۴۷	۱/۹۳	۱/۷۰	۳/۴۱	۲/۸۷

*، ** و ns به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ معناداری در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنادار است. همچنین، علامت‌های اختصاری CP، WSC، DMD، ASH و ADF به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ پروتئین خام، کربوهیدرات‌های محلول در آب، مادهٔ خشک قابل‌هضم، خاکستر و فیبرهای غیرمحلول در شوینده اسیدی است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۴. مقایسهٔ میانگین صفات کمّی و کیفی سورگوم علوفه‌ای تحت تأثیر میکوریزا و محلول‌پاشی آهن و روی

کود زیستی	محلول‌پاشی آهن و روی	عملکرد علوفهٔ خشک (Ton/ha)	ارتفاع بوته (m)	وزن خشک ساقه (Ton/ha)	وزن خشک برگ (Ton/ha)	(٪) CP	(٪) WSC	(٪) ASH	(٪) ADF
عدم کاربرد میکوریزا	F_0Z_0	۱۰/۵ h	۲/۰۴ j	۸/۰۸۳ f	۲/۴ h	۹/۴۷ f	۱۷/۷۷ fgh	۴/۱۵ e	۳۱/۴۲ a
	F_0Z_3	۱۴/۳ ef	۲/۱۳ h	۱۱/۰۸ de	۳/۲ fg	۱۲/۲۲ abc	۱۸/۹۱ cde	۴/۱۷ e	۲۲/۸۱ de
	F_0Z_6	۱۳/۵f	۲/۲۰g	۱۰/۲۹e	۳/۲fg	۱۱/۶۸d-g	۱۷/۶۱gh	۵/۰۷abc	۲۴/۲۲cd
	F_2Z_0	۱۳/۱fg	۲/۱۰hi	۱۰/۲۵e	۲/۹g	۹/۶۶f	۱۸/۶۰def	۴/۶۳b-e	۲۱/۱۰ef
	F_2Z_3	۱۶/۶bc	۲/۲۷ef	۱۳/۱۷ab	۳/۵def	۱۰/۹۵c-f	۱۸/۱۹d-g	۴/۲۸de	۲۵/۱۲c
	F_2Z_6	۱۶/۱d	۲/۳۰df	۱۲/۵۵bc	۳/۵cde	۱۲/۲۵abc	۱۹/۱۰bcd	۴/۸۵a-d	۲۱/۰۲ef
	F_8Z_0	۱۵/۶e	۲/۱۲hi	۱۱/۹۲cde	۳/۷cde	۱۱/۳۰b-e	۱۶/۲۸i	۴/۹۵a-d	۲۵/۵۰c
	F_8Z_3	۱۵/۰ef	۲/۳۱cd	۱۱/۷۱cde	۳/۳efg	۱۲/۶۸ab	۱۷/۳۸h	۴/۷۳b-e	۱۸/۵۷g
	F_8Z_6	۱۳/۲fg	۲/۳۳abc	۱۰/۳۰e	۲/۹g	۱۰/۱۰ef	۱۸/۵۳def	۴/۷۵b-e	۲۱/۸۹e
کاربرد میکوریزا	F_0Z_0	۱۳/۰fg	۲/۰۹i	۱۰/۱e	۲/۹g	۱۰/۳۳def	۱۸/۳۳d-g	۴/۳۸de	۲۱/۳۲ef
	F_0Z_3	۱۶/۲cd	۲/۲۰g	۱۲/۴۶bc	۳/۸bc	۱۱/۳۰b-e	۱۸/۳۱d-g	۴/۷۹b-e	۲۲/۴۹de
	F_0Z_6	۱۶/۷bc	۲/۲۶f	۱۲/۸۲b	۳/۹bc	۱۲/۲۹abc	۱۹/۷۷bc	۵/۲۳ab	۲۲/۳۳de
	F_2Z_0	۱۷/۰b	۲/۱۷g	۱۳/۲۲a	۳/۸bc	۱۳/۱۴a	۱۸/۳۱d-g	۵/۰۹abc	۱۹/۵۸fg
	F_2Z_3	۱۷/۶a	۲/۳۱bcd	۱۳/۱۸ab	۴/۴a	۱۱/۸۷b-d	۲۱/۵۶a	۴/۷۷b-e	۲۰/۵۵efg
	F_2Z_6	۱۶/۴c	۲/۳۴ab	۱۳/۱۶ab	۳/۲fg	۱۱/۷۳a-d	۱۹/۷۱bc	۴/۶۶cde	۲۲/۷۳de
	F_8Z_0	۱۶/۲cd	۲/۱۹g	۱۲/۶۸bc	۳/۵cde	۱۲/۳۳abc	۱۸/۱۶e-h	۴/۵۵b-e	۲۲/۰۱de
	F_8Z_3	۱۷/۰b	۲/۳۳a-d	۱۲/۲۲a	۳/۸bc	۱۳/۱۹a	۱۹/۰۱b-e	۵/۴۶a	۲۸/۳۱b
	F_8Z_6	۱۶/۲cd	۲/۳۶a	۱۲/۲۶a	۳/۰g	۱۲/۷۷ab	۱۹/۸۶b	۴/۶۲b-e	۱۶/۲۵h

علامت‌های اختصاری WSC ،CP، ASH و ADF به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ پروتئین خام، کربوهیدرات‌های محلول در آب، خاکستر و فیبرهای غیرمحلول در شوینده اسیدی است. همچنین، مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد و حروف انگلیسی غیرمشترک در کنار اعداد هر ستون نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنادار بین میانگین‌هاست.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین عملکرد و صفات کمّی و کیفی سورگوم علوفه‌ای تحت تأثیر کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی آهن و روی

صفات	عملکرد علوفهٔ خشک	ارتفاع بوته	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	تعداد برگ	CP	WSC	ASH	ADF	DMD
عملکرد علوفهٔ خشک	۱									
ارتفاع بوته	۰/۶۱۴**	۱								
وزن خشک ساقه	۰/۹۸۶**	۰/۶۵۷**	۱							
وزن خشک برگ	۰/۸۵۸**	۰/۳۵۷ns	۰/۷۶۱**	۱						
تعداد برگ	-۰/۱۶۳ns	-۰/۱۰۲ns	-۰/۰۹۵ns	-۰/۳۲۴ns	۱					
CP	۰/۷۲۹**	۰/۵۰۹*	۰/۷۲۸**	۰/۵۸۰*	-۰/۲۲۵ns	۱				
WSC	۰/۴۴۱ns	۰/۵۱۲*	۰/۴۳۷ns	۰/۳۵۶ns	-۰/۲۷۳ns	۰/۲۵۸ns	۱			
ASH	۰/۴۹۸*	۰/۴۰۲ns	۰/۴۴۸ns	۰/۵۷۵*	-۰/۲۱۸ns	-۰/۵۴۶*	۰/۰۸۷ns	۱		
ADF	-۰/۳۶۰ns	-۰/۳۸۹ns	-۰/۴۰۱ns	-۰/۱۶۸ns	۰/۱۱۰ns	-۰/۳۸۰ns	-۰/۳۲۹ns	-۰/۰۶۰ns	۱	
DMD	۰/۲۶۱ns	۰/۷۲۶**	۰/۲۹۷ns	۰/۰۹۳ns	۰/۶۳۹**	۰/۲۵۱ns	۰/۲۱۰ns	۰/۱۹۷ns	-۰/۱۰۶ns	۱

**، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ معناداری در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و غیرمعنادار است. همچنین، علامت‌های اختصاری CP، WSC، ASH، ADF و DMD به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ پروتئین خام، کربوهیدرات‌های محلول در آب، خاکستر، فیبرهای غیرمحلول در شوینده اسیدی و مادهٔ خشک قابل‌هضم است.

Archive of SID
www.SID.ir

۴.۳. وزن خشک ساقه

طبق نتایج تجزیهٔ واریانس آزمایش، اثر متقابل محلول‌پاشی آهن و روی و آثار متقابل دوگانه و سه‌گانهٔ کاربرد میکوریزا در محلول‌پاشی آهن و روی بر وزن خشک ساقهٔ سورگوم در سطح ۱ درصد معنادار بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک ساقه از کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۸ در هزار آهن و ۶ در هزار روی به‌دست آمد که با تیمارهای کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۸ در هزار آهن و ۳ در هزار روی و کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی آهن با غلظت ۴ در هزار تفاوت معناداری نداشت. تیمار شاهد نیز با میانگین ۸/۰۸ تن در هکتار کمترین وزن خشک ساقه را به خود اختصاص داد (جدول ۴). علاوه‌بر این، در این آزمایش همبستگی مثبت و بسیار معناداری بین وزن خشک ساقه و عملکرد علوفهٔ سورگوم مشاهده شد (جدول ۵). این همبستگی قوی نشان می‌دهد که ساقه‌ها یکی از اجزای اصلی تعیین عملکرد علوفهٔ خشک سورگوم است و با افزایش وزن خشک ساقه‌ها تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه در آزمایش، عملکرد علوفهٔ خشک نیز افزایش می‌یابد. وامرالی و همکاران [۳۳]، و خلیلی محله و رشدی [۷] نیز با مطالعه روی گیاه ذرت، وجود ارتباط مثبت بسیار قوی بین وزن خشک ساقه و عملکرد علوفهٔ خشک را گزارش کردند.

۵.۳. وزن خشک برگ

تجزیهٔ واریانس نشان داد که اثر متقابل محلول‌پاشی آهن و روی و آثار متقابل دوگانه و سه‌گانهٔ میکوریزا در محلول‌پاشی آهن و روی بر وزن خشک برگ در سطح ۱ درصد معنادار بود (جدول ۳). نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها نیز نشان داد، در صورت کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی، وزن خشک برگ در مقایسه با سایر تیمارها افزایش می‌یابد (جدول ۴). در واقع، کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی، کارایی جذب عناصر غذایی مختلف را افزایش می‌دهد. این امر با تحریک رشد رویشی گیاه، هیدرات‌های کربن ذخیره‌ای را کاهش و اختصاص مادهٔ خشک به برگ‌ها را افزایش می‌دهد. در این آزمایش بیشترین وزن خشک برگ در اثر کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۴ در هزار آهن و ۳ در هزار روی به‌دست آمد و تیمار شاهد با ۲/۰۴ تن در هکتار کمترین وزن خشک برگ را تولید کرد (جدول ۴). علاوه‌بر این، در این بررسی هم‌بستگی مثبت و قوی بین وزن خشک برگ و عملکرد سورگوم مشاهده شد (جدول ۵) که نشان می‌دهد برگ‌ها نیز یکی از فاکتورها و اجزای اصلی در تعیین عملکرد سورگوم است و با افزایش وزن خشک برگ‌ها تحت تأثیر کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی آهن و روی، عملکرد علوفهٔ خشک نیز افزایش می‌یابد. در گزارش‌های دیگری نیز وجود هم‌بستگی مثبت و قوی میان وزن خشک برگ و عملکرد مادهٔ خشک گیاه نقل شده است [۷].

۶.۳. تعداد برگ

نتایج تجزیهٔ واریانس آزمایش حاضر نشان داد که کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی عناصر آهن و روی تأثیر معناداری بر تعداد برگ در بوته نداشت (جدول ۳). تاکنون نتایج تحقیقات متعددی نشان داده است که تعداد برگ به‌شدت تحت کنترل عوامل ژنتیکی است و تحت تأثیر تیمارهای محیطی قرارنمی‌گیرد [۲، ۷].

۷.۳. پروتئین خام

طبق نتایج تجزیهٔ واریانس، تأثیر متقابل محلول‌پاشی عناصر آهن و روی و آثار متقابل کاربرد میکوریزا در محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در سطح ۱ درصد بر پروتئین خام علوفه معنادار بود (جدول ۳). شرفی و همکاران [۱۳] و خلیلی

Archive of SID
www.SID.ir

محله و رشدی [۷] نیز با مطالعهٔ روی گیاه ذرت بیان کردند مصرف عناصر ریزمغذی و از همه مهم‌تر روی، باعث افزایش پروتئین خام در اندام‌های هوایی و دانهٔ گیاه می‌شود. درصد پروتئین یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی گیاهان علوفه‌ای است و بالابودن آن فاکتوری مؤثر در انتخاب علوفه برای تغذیهٔ دام محسوب می‌شود. علاوه‌بر این، با توجه به قابلیت هضم زیاد پروتئین، غالباً شاخصی از قابلیت هضم در نظر گرفته می‌شود [۱۴]. در مطالعهٔ حاضر، مشاهده شد که کاربرد میکوریزا به‌همراه محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی سبب رشد درصد پروتئین علوفه می‌شود. بیشترین درصد پروتئین خام به تیمار کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۸ در هزار آهن و ۳ در هزار روی (۱۳/۱۹ درصد) تعلق داشت که با تیمار کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۴ در هزار آهن تفاوت معناداری نداشت. کمترین درصد پروتئین خام نیز در تیمار شاهد (۹/۴۷ درصد) مشاهده شد که با تیمار عدم کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۴ در هزار آهن تفاوت معناداری نداشت (جدول ۴).

در مطالعهٔ حاضر، هم‌بستگی مثبت و معناداری بین وزن خشک برگ با درصد پروتئین خام مشاهده شد (جدول ۵). این ارتباط نشان می‌دهد با افزایش وزن خشک برگ تحت تأثیر کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی، به درصد پروتئین خام علوفه افزوده می‌شود. با توجه به اینکه برگ‌ها مهم‌ترین منبع پروتئینی در اندام‌های رویشی محسوب می‌شود [۱۰]، این ارتباط دور از انتظار نبود. همچنین، همبستگی مثبت و بسیار معناداری بین عملکرد علوفهٔ خشک با درصد پروتئین خام مشاهده شد (جدول ۵). بدین‌ترتیب، با افزایش عملکرد علوفهٔ خشک تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه، درصد پروتئین خام علوفه نیز افزایش می‌یابد. پیش از این، فومن [۱۵] نیز هم‌بستگی بین عملکرد علوفهٔ خشک با درصد پروتئین خام در سورگوم علوفه‌ای را گزارش کرده بود.

۸.۳. کربوهیدرات‌های محلول در آب

طبق تجزیهٔ واریانس آزمایش حاضر، اثر متقابل محلول‌پاشی آهن و روی و آثار متقابل دوگانه و سه‌گانهٔ میکوریزا در محلول‌پاشی عناصر آهن و روی در سطح ۱ درصد بر میزان کربوهیدرات‌های محلول در آب علوفهٔ سورگوم معنادار بود (جدول ۳). میزان کربوهیدرات‌های محلول در آب یا کربوهیدرات‌های غیرساختمانی در اندام‌های گیاهی یکی از فاکتورهای اصلی و تعیین‌کنندهٔ خوش‌خوراکی و کیفیت علوفه است. این مواد در مراحل اولیهٔ رشد گیاه، در کمترین مقدار و در دوران گلدهی به حداکثر میزان خود می‌رسد. بنابراین، تعیین زمان مناسب برای برداشت علوفه اهمیت به‌سزایی دارد [۸].

در آزمایش حاضر، نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی آهن و روی بیش از کاربرد هر یک از تیمارها به‌طور مجزا بر افزایش کربوهیدرات‌های محلول علوفه مؤثر است (جدول ۴). بدین‌ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که محلول‌پاشی توأم آهن و روی سبب افزایش کارایی میکوریزا در جذب و فراهمی آب و عناصر غذایی برای گیاهان می‌شود. در نتیجه درصد کربوهیدرات‌های محلول در آب و یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفیت علوفه در گیاهان میکوریزایی افزایش می‌یابد. در این میان، تیمار کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۴ در هزار آهن و ۳ در هزار روی بیشترین و تیمار عدم‌کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۸ در هزار آهن کمترین درصد کربوهیدرات‌های محلول در آب را تولید کرد (جدول ۴).

۹.۳. خاکستر کل

طبق نتایج تجزیهٔ واریانس، اثر متقابل محلول‌پاشی آهن و روی و آثار متقابل دوگانه و سه‌گانهٔ کاربرد میکوریزا در محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در سطح ۱ درصد بر میزان

Archive of SID
www.SID.ir

خاکستر علوفهٔ سورگوم معنادار بود (جدول ۳).

در تجزیهٔ کیفی علوفه، مجموع مواد معدنی خاکستر نامیده می‌شود. در واقع، خاکستر عبارت است از کل مواد معدنی که پس از سوزاندن نمونهٔ گیاهی در کوره باقی می‌ماند و مقدار آن بین ۳ تا ۱۲ درصد وزن خشک علوفه متغیر است [۱۶]. در این آزمایش تیمار کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۸ در هزار آهن و ۳ در هزار روی بیشترین درصد خاکستر را تولید کرد که البته با تیمار کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۶ در هزار روی تفاوت معناداری نداشت. تیمارهای شاهد و عدم‌کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۳ در هزار روی کمترین درصد خاکستر را تولید کرد (جدول ۴). علت افزایش خاکستر علوفه در تیمارهای کاربرد میکوریزا این است که میکوریزا با افزایش سطح جذب ریشه‌ها، سبب افزایش جذب مواد معدنی توسط گیاهان می‌شود. بدین ترتیب، گیاه علاوه‌بر تولید مواد آلی، مواد معدنی بیشتری نیز تولید و در بافت‌های خود ذخیره می‌کند. علاوه‌بر این، نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها نشان می‌دهد (جدول ۴) محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی سبب بهبود کارایی میکوریزا در جذب مواد معدنی و در نتیجه افزایش خاکستر در بافت‌های گیاهی می‌شود. گزارش سلیم و همکاران [۳۱] نیز این نتیجه را تأیید می‌کند.

۱۰.۳. فیبرهای غیرمحلول در شویندهٔ اسیدی

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد اثر متقابل کاربرد میکوریزا در محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در سطح ۵ درصد و اثر متقابل محلول‌پاشی آهن و روی در سطح ۱ درصد بر میزان فیبرهای غیرمحلول در شویندهٔ اسیدی در علوفهٔ سورگوم معنادار بود (جدول ۳). بررسی مقایسهٔ میانگین بین تیمارها نشان داد که تیمار شاهد (۳۱/۴۲) بیشترین و تیمار کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۸ در هزار آهن و ۶ در هزار روی (۱۶/۲۵) کمترین درصد فیبرهای غیرمحلول در شویندهٔ اسیدی را تولید کرد (جدول ۴). افزایش فیبرهای غیرمحلول در شویندهٔ اسیدی سبب کاهش قابلیت هضم و خوش‌خوراکی علوفه و کاهش این صفت سبب بهبود کیفیت علوفه می‌شود [۱۴]. از این‌رو، در آزمایش حاضر مشاهده شد که نوع ارتباط این صفت با عملکرد و سایر صفات کیفی علوفه شامل درصد پروتئین خام، کربوهیدرات‌های محلول در آب، خاکستر و قابلیت هضم مادهٔ خشک منفی است (جدول ۵).

۱۱.۳. مادهٔ خشک قابل‌هضم

طبق نتایج تجزیهٔ واریانس، اثر متقابل کاربرد میکوریزا در محلول‌پاشی آهن در سطح ۱ درصد و اثر متقابل کاربرد میکوریزا در محلول‌پاشی روی و اثر متقابل محلول‌پاشی آهن و روی در سطح ۵ درصد بر مادهٔ خشک قابل‌هضم علوفهٔ سورگوم معنادار شد (جدول ۳). درصد مادهٔ خشک قابل‌هضم مهم‌ترین صفت در تعیین کیفیت علوفه شناخته می‌شود [۱۴]. این صفت نشان‌دهندهٔ نسبتی از علوفه است که از بدن دام دفع نمی‌شود و توسط دام جذب می‌شود. بررسی مقایسهٔ میانگین تیمارها برای اثر متقابل محلول‌پاشی آهن و روی نشان داد که تیمار محلول‌پاشی با غلظت ۸ در هزار آهن و ۶ در هزار روی بیشترین و تیمار عدم‌محلول‌پاشی کمترین درصد مادهٔ خشک قابل‌هضم را تولید کرد (جدول ۶). همچنین، مشاهده شد که محلول‌پاشی توأم آهن و روی بیش از محلول‌پاشی هر یک از عناصر به‌طور مجزا سبب افزایش درصد مادهٔ خشک قابل‌هضم علوفهٔ سورگوم شد و با افزایش غلظت عناصر در تیمارهای محلول‌پاشی توأم آهن و روی تولید مادهٔ خشک قابل‌هضم رشد بیشتری نشان داد (جدول ۶).

این نتایج با گزارش زیدان و همکاران [۳۵] مطابقت داشت. مقایسهٔ میانگین تیمارها برای اثر متقابل کاربرد

Archive of SID
www.SID.ir

میکوریزا در محلول‌پاشی روی نیز نشان داد که تیمار کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۳ در هزار روی بیشترین درصد مادهٔ خشک قابل‌هضم را تولید کرد که البته با تیمار کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۶ در هزار روی تفاوت معناداری نداشت و تیمار عدم‌کاربرد میکوریزا و عدم‌محلول‌پاشی روی کمترین درصد مادهٔ خشک قابل‌هضم را نشان داد (جدول ۷). همچنین، مقایسهٔ میانگین تیمارها برای اثر متقابل کاربرد میکوریزا در محلول‌پاشی آهن نشان داد که تیمار کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۴ در هزار آهن بیشترین درصد مادهٔ خشک قابل‌هضم را تولید کرد که با تیمار کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۸ در هزار آهن تفاوت معناداری نداشت و تیمار عدم‌کاربرد میکوریزا و عدم‌محلول‌پاشی آهن کمترین درصد مادهٔ خشک قابل‌هضم را تولید کرد (جدول ۸).

جدول ۶. مقایسهٔ میانگین درصد مادهٔ خشک قابل‌هضم تحت تأثیر محلول‌پاشی آهن و روی

F_0			F_4			F_8		
Z0	Z3	Z6	Z0	Z3	Z6	Z0	Z3	Z6
۶۴/۱۵^{f}	۶۸/۷۹^{d}	۷۰/۷۴^{c}	۶۷/۷۸^{e}	۷۲/۲۹^{b}	۷۲/۹۷^{ab}	۶۸/۲۷^{de}	۷۳/۰۴^{ab}	۷۳/۲۶^{a}

F محلول‌پاشی آهن و Z محلول‌پاشی روی. میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شد و حروف انگلیسی غیرمشترک در بالای اعداد نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنادار بین میانگین‌هاست.

جدول ۷. مقایسهٔ میانگین درصد مادهٔ خشک قابل‌هضم تحت تأثیر میکوریزا و محلول‌پاشی روی

عدم‌کاربرد میکوریزا			کاربرد میکوریزا		
Z0	Z3	Z6	Z0	Z3	Z6
۶۴/۸۳^{e}	۷۰/۱۷^{c}	۷۱/۴۵^{b}	۶۸/۶۴^{d}	۷۲/۵۷^{a}	۷۳/۲۰^{a}

Z محلول‌پاشی روی. میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شد. حروف انگلیسی غیرمشترک در بالای اعداد نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنادار بین میانگین‌هاست.

جدول ۸. مقایسهٔ میانگین درصد مادهٔ خشک قابل‌هضم تحت تأثیر میکوریزا و محلول‌پاشی آهن

عدم‌کاربرد میکوریزا			کاربرد میکوریزا		
F_0	F_4	F_8	F_0	F_4	F_8
۶۵/۹^{d}	۶۹/۶۱^{c}	۷۰/۹۵^{b}	۶۹/۸۹^{c}	۷۲/۴۲^{a}	۷۲/۱۰^{a}

F محلول‌پاشی آهن. میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شد. حروف انگلیسی غیرمشترک در بالای اعداد نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنادار بین میانگین‌هاست.

Archive of SID
www.SID.ir

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد بالاترین عملکرد علوفهٔ خشک، ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، پروتئین خام، کربوهیدرات‌های محلول در آب و خاکستر و کمترین درصد فیبرهای غیرمحلول در شویندهٔ اسیدی که شاخصی از خوش‌خوراکی است در تیمارهای تلفیقی کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی مشاهده شد. این نتایج بیانگر هم‌افزایی مثبت بین عامل‌های مورد بررسی در جذب آب و مواد غذایی و در نتیجه رشد عملکرد کمّی و کیفی علوفهٔ سورگوم است. نتایج مقایسهٔ میانگین تیمارها نیز نشان داد که در اغلب صفات کمّی و کیفی مورد بررسی، تیمار کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۴ در هزار آهن و ۳ در هزار روی بالاترین میانگین را داشت یا با بالاترین میانگین تفاوت معناداری نداشت. از این‌رو، این تیمار برای رشد عملکرد و ویژگی‌های کیفی سورگوم علوفه‌ای رقم 'پگاه' در منطقهٔ کرج توصیه می‌شود.

منابع

۱. افشانی س، امیرنیا ر و هادی ه (۱۳۹۴) بررسی اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزای پاییزه (*Brassica napus* L.) در شرایط کم‌آبیاری. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۳(۱): ۵۲-۴۳.

۲. امیرآبادی م، رجالی ف، اردکانی مر و برجی م (۱۳۸۸) تأثیر کاربرد مایهٔ تلقیح ازتو باکتر و قارچ میکوریزی بر جذب برخی عناصر معدنی توسط ذرت علوفه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ در سطوح مختلف فسفر. پژوهش‌های خاک. ۲۳ (۱): ۱۱۵-۱۰۷.

۳. حسین‌پور ع‌ر (۱۳۸۷) شیمی حاصلخیزی خاک. انتشارات دانشگاه پیام نور. تهران. ۳۲۰ ص.

۴. حمزه‌ئی ج و سلیمی ف (۱۳۹۳) درصد کلونیزاسیون ریشه، عملکرد و اجزای عملکرد دانهٔ ماریتیغال (*Silybum marianum*) متاثر از تلقیح مایکوریزا و کود فسفره. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۴(۴): ۹۶-۸۵.

۵. حمزه‌ئی ج و صادقی ف (۱۳۹۲) تأثیرات هم‌زیستی مایکوریزا بر شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکرد سورگوم دانه‌ای تحت شرایط دورهای مختلف آبیاری. به‌زراعی کشاورزی. ۲۵(۴): ۱۶۳-۱۵۱.

۶. حمزه ئی ج و صادقی ف (۱۳۹۲) مطالعهٔ درصد کلونیزاسیون ریشهٔ ارقام سورگوم دانه‌ای با دو گونه از قارچ میکوریزا و اثر آن بر بعضی صفات مورفولوژیک و زراعی. دانش کشاورزی. ۵(۹): ۳۶-۲۵.

۷. خلیلی محله ج و رشدی م (۱۳۸۷) اثر محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف بر خصوصیات کمّی و کیفی ذرت سیلویی ۷۰۴ در خوی. نهال و بذر. ۲۴: ۲۱۸-۲۹۳.

۸. دریایی ف، چائی‌چی مر و آقاعلیخانی م (۱۳۸۸) ارزیابی عملکرد کمّی و کیفی علوفه در کشت مخلوط نخود سیاه و جو. علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۰(۲): ۱۹-۱۱.

۹. رضوانی م، اردکانی مر، رجالی ف، نورمحمدی ق، زعفریان ف و تیموری س ا (۱۳۸۸) تأثیر سویه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزا روی ویژگی‌های ریشه و غلظت فسفر، پتاسیم، روی و آهن یونجه (*Medicagi sativa* L.). بوم‌شناسی گیاهان زراعی. ۵(۲): ۶۶-۵۵.

۱۰. رضوانی مقدم پ و نصیری محلاتی م (۱۳۸۳) بررسی قابلیت هضم و درصد پروتئین علوفهٔ سه رقم سوگوم علوفه‌ای در زمان های برداشت. علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۵(۴): ۷۹۶-۷۸۷.

۱۱. سعیدنژاد اح، خزاعی ح‌ر و رضوانی مقدم پ (۱۳۹۱) مطالعهٔ اثر کاربرد مواد آلی، کودهای بیولوژیک و کود

Archive of SID
www.SID.ir

شیمیایی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۰(۳): ۵۱۰-۵۰۳.

۱۲. سیلسپور م (۱۳۸۶) بررسی اثرات مصرف عناصر آهن و روی بر خصوصیات کمّی و کیفی گندم آبی و تعیین حد بحرانی آن‌ها در خاک‌های دشت ورامین. پژوهش و سازندگی. ۲۰(۳): ۱۳۳-۱۲۳.

۱۳. شرفی س، تاج‌بخش م، مجیدی ع، پورمیرزا ع‌ا و ملکوتی مج (۱۳۷۹) بررسی اثرات آهن و روی بر عملکرد، پروتئین و توازن تغذیه‌ای در دو رقم ذرت دانه‌ای. آب و خاک. ۱۲(۱۱): ۹۴-۸۵.

۱۴. فاتح ا (۱۳۸۶) تأثیر سیستم‌های مختلف حاصلخیزی خاک بر عملکرد و ویژگی‌های دارویی کنگرفرنگی. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. کرج. رسالهٔ دکتری.

۱۵. فومن ع (۱۳۸۹) ارزیابی صفات مرفولوژیک و عملکرد کمّی و کیفی سورگوم علوفه‌ای. علوم گیاهان زراعی .۴۱(۴): ۸۴۰-۸۳۳.

۱۶. کشاورز افشار ر، چائی‌چی مر، علیپور جهانگیری ع، انصاری جوینی م، مقدم ح، احتشامی س‌مر و خاوازی ک (۱۳۹۰) تأثیر محلول‌پاشی باکتری‌های محرک رشد گیاه بر عملکرد علوفه و دانهٔ سورگوم علوفه‌ای رقم 'اسپیدفید'. علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۲(۳): ۵۷۵-۵۸۴.

17. Adediran JA, Taiwo LB, Akande MO, Sobulo RA and Idowu OJ (2004) Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. Journal of Plant Nutrition. 27 (7): 1163-1181.

18. Amanullah MM, Archana J, Manoharan S and Subramanian KS (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.

19. Archana J, Amanullah MM, Manoharan S and Subramanian KS (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.

20. Asrar AA and Elhindi KM (2011) Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes ereca*) plants by using arbuscular mycorrhiza fungi. Saudi Journal of Biological Sciences. 18(1): 93-98.

21. Brundrett MC (2002) Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. New Phytol. 154(2): 275-304.

22. Dood J (2000) The role of arbuscular mycorrhiza fungi: in agro-natural ecosystems. Outlook. Agriculture. 29(1): 63-70.

23. Hemantranjan A (2009) Physiology and Biochemical Significance of Zinc in Plants. *In*: Hemantranjan A (Ed), Advancement in micronutrient Research. Scientific Publishers, Joudhpur, Rajasthan, India. pp. 151-178.

24. Jafari A, Connolly V, Frolich A and Walsh EK (2003) A note on estimation of quality in perennial ryegrass by near infrared spectroscopy. Irish Journal of Agricultural and Food Research. 42(2): 293-299.

25. Larsen J, Cornejo P and Barea JM (2009) Interactions between the arbuscular mycorrhiza 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.

Archive of SID
www.SID.ir

26. Liu A, Hamel C, Hamilton RI, Ma BL and Smith DL (2000) Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. Mycorrhiza. 9 (6): 331-336.

27. Marschner H (1995) Mineral nutrition of higher plants. 2th Ed. Academic press, 889 p.

28. Mc Gonigle T, Miller M and Swan J (1990) A new method that gives an objective measure of colonization of roots by vesicular arbuscalar mycorrhiza Fungi. New Phytol. 115(3): 495-501.

29. Paul Schreiner R (2010) Foliar Sprays Containing Phosphorus (P) Have Minimal Impact on 'Pinot noir' Growth and P Status, Mycorrhizal Colonization, and Fruit Quality. Horticultural Science 45(5): 815-821.

30. Phillips JM, Hayman DS (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhiza fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society. 55(1): 158-161.

31. Salim BBM, Eisa SS, Ibrahim IS, Girgis MGZ and Abdel-Rassoul M (2013) Effect of Biofertilizers, Mycorrhiza and Foliar Spraying of some Micronutrients (Fe+Mn+Zn) and Potassium Silicate on Enhancing Salt Tolerance of Wheat Plant. International Journal of Environment. 2(2): 35-45.

32. Valentine AJ, Mortimer PE, Lintnaar A and Borgo R (2006) Drought responses of arbuscular mycorrhuza grapevines. Symbiosis. 41(3): 127-133.

33. Vamerali T, Saccomani M, Mosca S, Guarise N and Ganis A (2003) A comparison of root charactertics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids. Plant and Soil. 255(1): 157-167.

34. Whitty EN and Chambliss CG (2005) Fertilization of Field and Forage Crops. Nevada State University Publication. 240 p.

35. Zeidan MS, Mohamed MF and Hamouda HA (2010) Effect of foliar fertilization of Fe, Mn and Zn on wheat yield and quality in low sandy soils fertility. World Journal Agricultural Science. 6(6): 696-699.

Archive of SID

www.SID.ir

Crops Improvement
(Journal of Agricultural Crops Production)
Vol. 19 ■ No. 3 ■ Autumn 2017

The mycorrhiza and iron and zinc foliar application on quantitative and qualitative characteristics of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.)

Mohsen Bagheri Dehabadi[1], Hossein Moghadam[2] Mohammad Reza Chaichi[3], Nasrin Zilouie[4]*

1. Ph.D. Student, Departmant of Plant Eco Physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2. Assistant Professor, Departmant of Agronomy and Plant Breeding, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3. Professor, Departmant of Agronomy and Plant Breeding, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
4. Ph.D. Student, Departmant of Agronomy and Plant Breeding, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: August 15, 2016 **Accepted: October 22, 2016**

Abstract

To assess the effects of bio-fertilizer and some of microelements on quantitative and qualitative characteristics of sorghum (var. Pegah), this experiment was conducted at the research farm of the University of Tehran (Karaj-Iran) in 2011. The experiment was arranged as split plot based on complete randomize design block with four replications. Two levels of mycorrhiza (inoculated and non-inoculated) and three levels of foliar application of iron (zero, four and eight per thousand) along with three levels of application of zinc (zero, three and six per thousand) were allocated to main and subplots respectivly. The results indicated that inoculation with mycorrhiza and application of micronutrients had positively significant effect on dry yield, plant height, shoot weight, leaf weight, crude protein, water soluble carbohydrates and ash (p<0.01) and reduced acid detergent fiber (p<0.05). However, foliar of Fe and Zn had no significant effects on root colonization. Also, investigated factors had no significant effects on number of leaves. The treatment of mycorrhiza and foliar application of the Fe and Zn in concentrations of four and three per thousand (respectively) produced the maximum of dry yield. This treatment increased yield by 40% compared with control. Based on the obtained results, treatment of myco-Fe_4Z_3 can be recommended for increasing yield and improving qualitative characteristics of forage sorghum (var. Pegah) in Karaj region.

Keywords: biological fertilizer, crude protein, dry matter digestibility, micronutrients, yield of forage.

Corresponding Author: hmoghadam@ut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir