به‌زراعی کشاورزی
دوره ۱۹ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۶
صفحه‌های ۳۸۶-۳۷۱

تأثیر همزیستی گونه‌های قارچ میکوریزا و شبه میکوریزا بر بهره‌وری آّب ذرت تحت سطوح مختلف آبیاری و فسفر در شرایط مختلف اقلیمی در استان مازندران

شهریار کاظمی[۱]، اسفندیار فرهمندفر[۲]، همت‌اله پیردشتی[۳]* مجتبی محمودی[۴]، ولی‌اله بابایی‌زاد[۵]

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲. استادیار، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳. دانشیار، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۴. استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران
۵. دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۱۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۲۴

چکیده

به‌منظور بررسی برهمکنش قارچ‌های شبه‌میکوریزا *Piriformospora indica* و میکوریزا *Glomus mosseae* بر بهبود عملکرد دانه و بهره‌وری آب در ذرت در سطوح مختلف آبیاری و فسفر، پژوهشی مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در دو منطقه قراخیل (قائم‌شهر) و بایع‌کلا (نکا) به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. تیمار آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) در کرت‌های اصلی و چهار سطح تلقیح (بدون تلقیح، تلقیح بذر با قارچ *گلوموس موسه*، تلقیح بذر با قارچ *پیریفورموسپورا ایندیکا* و تلقیح همزمان دو قارچ) به‌همراه سه سطح کود فسفره (عدم مصرف، ۵۰ و ۱۰۰ درصد مورد نیاز گیاه) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. مطابق نتایج، تلقیح همزمان قارچ‌ها موجب افزایش معنی‌دار میزان عملکرد دانه در هر دو منطقه (به‌ترتیب ۸/۶ و ۶/۳ درصد برای ایستگاه‌های قراخیل و بایع‌کلا) گردید. در هر دو منطقه، همزیستی قارچ‌های میکوریزا و شبه‌میکوریزا به‌ویژه تلقیح همزمان موجب بهبود قابل‌توجه بهره‌وری مصرف آب شد. همچنین، بیشترین تأثیر مثبت این همزیستی بر کارآیی مصرف آب در هر دو منطقه در شرایط آبیاری ۵۰ درصد (به‌ترتیب ۴/۳۳ و ۴/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب) مشاهده شد. در مجموع، نتایج بیانگر هم‌افزایی مطلوب این قارچ‌ها در بهبود بهره‌وری آب ذرت به‌ویژه در شرایط کم‌آبیاری است.

کلیدواژه‌ها: *پیریفورموسپورا ایندیکا*، تلقیح بذر، عملکرد دانه، کارآیی آب، *گلوموس موسه*.

* نویسنده مسئول
Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است و از لحاظ تولید جهانی، بعد از گندم در رتبه دوم قرار دارد [۲۳]. در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲، سطح زیرکشت ذرت دانه‌ای کشور حدود ۲۳۴ هزار هکتار برآورد شده که میزان تولید این محصول راهبردی در کشور حدود ۱/۶۶ میلیون تن با میانگین معادل ۷/۱ تن در هکتار در کشور و حدود ۵/۳ تن در هکتار در استان مازندران است [۱]. از سوی دیگر، میزان آب مورد نیاز ذرت بسته به شرایط محیطی و غذایی بین شش الی ۱۲ هزار متر مکعب در هکتار برآورد شده است [۳۶]. اما، کمبود آب از یک طرف و عدم کاربرد صحیح منابع آب موجود از جهت دیگر، امکان گسترش توسعه کشت در اراضی مستعد را عملاً مشکل نموده است [۱۸]. از این‌رو، بیشترین تلاش‌ها در جهت تولید بیشتر محصول در شرایط کم‌آبی خواهد بود. چالشی که سبب شده تا از بهره‌وری مصرف آب به‌عنوان یکی از شاخص‌های مصرف بهینه آب آبیاری نام برده شود [۱۲]. با این وجود، استفاده از روش‌های کاهش‌یافته یا کم‌آبیاری امکان قرار گرفتن گیاه در شرایط تنش آبی یا خشکی را افزایش داده و متعاقب آن موجب بروز اثرات متعددی در صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه و تغییر در میزان عملکرد محصولات و بهره‌وری آب می‌گردد [۴۸].

بر این اساس، جهت کاهش آسیب‌های این تنش، استفاده از روابط همزیستی و میکوریزایی به‌عنوان یک راهکار موثر مطرح می‌شود [۲۸]. همچنین، استفاده از ریزجانداران را یکی از روش‌های مناسب برای کاهش اثرات زیانبار خشکی معرفی شد [۵۳]. از سوی دیگر، استفاده از کودهای زیستی و جایگزینی آن به جای بخشی از کودهای شیمیایی حاوی فسفر در سال‌های اخیر نظر علاقمندان به کشاورزی پایدار را نیز به خود جلب کرده است [۱۷]. قارچ‌های میکوریزا و شبه‌میکوریزا از جمله قارچ‌های سودمند محسوب می‌شوند که با فراهم نمودن سطح جذب‌کننده وسیع‌تر برای انتقال عناصر غذایی موجود در خاک به ریشه گیاهان، سبب بهبود رشد گیاه می‌گردند [۲۸ و ۵۴]. بر اساس گزارش‌ها، قارچ‌های میکوریزی منجر به افزایش جذب فسفر، نیتروژن، پتاسیم، منگنز و روی در ذرت می‌شوند [۴۲]. در همین راستا، گزارش شد که کاربرد دو گونه قارچ میکوریزا از جنس گلوموس، سبب افزایش چشمگیر غلظت فسفر و عملکرد گیاه گردید [۵۱]. نتایج مشابهی نیز در همزیستی با قارچ *پیریفورموسپورا ایندیکا* گزارش گردید [۵۳]. علاوه بر این، از دیگر مزایای این ریزجانداران کمک به کاهش اثر تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری است [۵، ۳۵ و ۴۹]. پژوهشگران علت افزایش مقاومت گیاهان تلقیح‌شده در برابر تنش‌ها را ناشی از بیان ژن‌های مربوط به تولید و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های گیاهی دانستند که باعث جمع‌آوری بهتر گونه‌های اکسیژن فعال و جلوگیری از تنش اکسیداتیو می‌شوند [۵۰].

در حال حاضر میانگین بهره‌وری محصولات آبی در کشور مناسب نبوده و در حدود ۰/۷۹ کیلوگرم به ازای مصرف هر متر مکعب آب است [۷]. از سوی دیگر، فسفر از پرمصرف‌ترین و محدودکننده‌ترین عناصر در دستیابی به عملکرد مطلوب در ذرت به شمار می‌آید [۳]. از این‌رو، هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی اثربخشی همزیستی قارچ‌های *پیریفورموسپورا ایندیکا* و *گلوموس موسه* و مقادیر مختلف کاربرد کود فسفره از نظر بهره‌وری آب در گیاه ذرت در دو منطقه قراخیل و بابع‌کلا در استان مازندران در شرایط کم‌آبیاری می باشد.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو منطقه واقع در ایستگاه تحقیقات زراعی قراخیل (قائم‌شهر) با طول جغرافیای ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۴/۷ متر از سطح دریا و ایستگاه تحقیقاتی بابع‌کلا

Archive of SID
www.SID.ir

(نکا) با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی و ارتفاع چهار متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ به‌صورت آزمایش اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در کرت‌های اصلی سه سطح آبیاری ۵۰ ، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در نظر گرفته شد. سطوح مختلف آبی از مرحله شش برگی پس از استقرار کامل گیاه و بعد از تنک کردن مزرعه و رسیدن به تراکم مطلوب (۷۰ هزار بوته در هکتار) تا پایان رشد اعمال گردید. آبیاری در تیمار شاهد معادل نیاز آبی گیاه انجام شد. نیاز آبی گیاه با تعیین میزان تبخیر روزانه با استفاده از تشتک تبخیر تعیین و سپس با استفاده از ضریب تشتک تبخیر و ضریب گیاهی، حجم آب مصرفی مورد نیاز در هر مرحله از آبیاری تعیین گردید [۲۴]. بر این اساس، میزان مجموع آب آبیاری و بارش باران (جدول ۱) در طول فصل رشد برای آبیاری کامل و کم‌آبیاری با ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، به‌ترتیب برای ایستگاه تحقیقات زراعی قراخیل، ۵۳۴۷/۷۳، ۴۳۳۰/۵ و ۳۳۱۳/۳۳ مترمکعب در هکتار و برای ایستگاه تحقیقاتی بایع‌کلا، ۵۸۰۸/۸، ۴۷۰۵/۶ و ۳۶۰۲/۳۹ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد.

تعیین نیاز آبی بر اساس داده‌های تشتک تبخیر کلاس A هر هفت روز یک بار صورت گرفت و تبخیر روزانه از تشتک (V) اندازه گیری شد. با توجه به مساحت تشتک تبخیر (S)میزان آب تبخیر شده (H) از رابطه V= S × H محاسبه شد. همچنین از حاصلضرب ضریب تشتک ۰/۷ [۴۵] و آب تبخیرشده، پتانسیل تبخیر و تعرق بدست آمد. سپس از رابطه (۱) میزان آب ورودی به کرت محاسبه شد [۱۳].

آبیاری کرت‌ها با لوله‌های پلی‌اتیلن انجام و حجم آب ورودی به کرت‌ها با کنتور آب کنترل شد. چهار سطح کود زیستی شامل شاهد (بدون تلقیح)، تلقیح با قارچ *گلوموس موسه*، تلقیح با قارچ *پیریفورموسپورا ایندیکا*و تلقیح همزمان دو قارچ به همراه سه سطح کود شیمیایی فسفره شامل عدم مصرف، ۵۰ و ۱۰۰ درصد موردنیاز در کرت‌های فرعی به صورت فاکتوریل قرار گرفتند.

رابطه (۱) کارآیی آب مزرعه × ضریب گیاهی × پتانسیل تبخیر و تعرق × مساحت کرت = حجم آب ورودی به کرت

جدول ۱. آمار هواشناسی در طول دوره رشد ذرت (بازه زمانی اول اردیبهشت تا سی و یکم شهریور ۱۳۹۴)

منطقه	ماه	متوسط ساعات آفتابی	بارندگی (میلی‌متر)	متوسط رطوبت نسبی (درصد)	درجه حرارت (سانتی‌گراد)	
					کمینه	بیشینه
ایستگاه قراخیل	اردیبهشت	۶/۶۱	۱۰/۶	۷۵	۱۳/۹	۲۳/۷
	خرداد	۷/۵۳	۸/۷	۷۱	۲۰/۱	۳۰/۸
	تیر	۷/۰۲	۷۰/۳	۷۴	۲۲/۹	۳۱/۵
	مرداد	۹/۶۲	۸/۴	۷۱	۲۲/۶	۳۳/۷
	شهریور	۵/۹۳	۸۸/۶	۷۹	۲۰/۳	۲۹/۲
	مجموع	۷/۳۴	۱۸۶/۶	۷۴	۱۹/۹۶	۲۹/۷۸
ایستگاه بایع‌کلا	اردیبهشت	۷	۱/۵	۷۵	۱۴/۱	۲۳/۰۶
	خرداد	۸/۲	۰/۵	۶۴	۲۰/۰۶	۳۱/۳۳
	تیر	۸/۲۳	۸۱	۶۷	۲۳/۰۷	۳۲/۰۹
	مرداد	۱۰/۷۸	۵/۵	۷۰	۲۲/۲۸	۳۳/۶۳
	شهریور	۷/۰۶	۵۹	۷۷	۲۰/۴۱	۲۹/۷۶
	مجموع	۸/۲۵	۱۴۷/۵	۷۰/۶	۱۹/۹۸	۲۹/۹۷

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

منطقه	بافت	کربن آلی	ماده آلی	اسیدیته کل	هدایت الکتریکی	نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
		(درصد)		اشباع	(دسی‌زیمنس بر متر)	درصد	میلی گرم بر کیلوگرم	
ایستگاه قراخیل	سیلتی رسی لوم	۱/۲۳	۲/۱۱	۷/۵	۱/۱	۰/۱۶۵	۱۳	۱۶۲
ایستگاه بایع‌کلا	سیلتی رسی	۱/۳۹	۲/۳۸	۷/۷	۰/۸	۰/۱۱۵	۹	۳۵۳

هر کرت فرعی ۱۱ مترمربع شامل پنج خط کاشت با فاصله بین ردیف‌ها ۷۰ و روی ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و بین تکرارها دو متر باقی گذاشته شد. بر اساس آزمون خاک قبل از کاشت (جدول ۲)، نیمی از کود اوره (۹۰ کیلوگرم در هکتار)، تمامی کود فسفاته (به‌ترتیب ۱۵۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار برای ایستگاه‌های بایع‌کلا و قراخیل) و پتاسه (به‌ترتیب ۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار برای ایستگاه‌های بایع‌کلا و قراخیل) از منبع سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم در هنگام کاشت و بقیه کود اوره به صورت سرک در مرحله هشت برگی و گلدهی مورد استفاده قرار گرفت. در این آزمایش از بذر ذرت هیبرید سنگل‌کراس ۷۰۴ استفاده شد. این رقم دیررس (۱۳۵–۱۲۵روزه)، تک بلال و دندان اسبی است [۱۱].

مایه تلقیح قارچ *گلوموس موسه* ازکلینیک گیاهپزشکی ارگانیک همدان تهیه گردید. این مایه تلقیح شامل خاک، بقایای ریشه‌ای و اندام‌های قارچی با تراکم ۱۲۰ عدد اسپور فعال در گرم بود. بر این اساس، قبل از کاشت در کرت‌های مربوط به تیمار قارچی مقدار پنج گرم مایه تلقیح درون حفره‌هایی که برای کاشت بذر ایجاد شده بودند ریخته شد. سپس روی این مایه تلقیح مقداری خاک اضافه و بذر روی آن قرار داده و در نهایت بذرها با خاک پوشانده شدند [۲۷]. مایه تلقیح قارچ *پیریفورموسپورا ایندیکا* نیز از پژوهشکده ژنتیک وزیست فناوری کشاورزی طبرستان تهیه شد. این قارچ در محیط کشت کفر [۳۸] کشت شده و به مدت دو هفته در دمای ۲۸ درجه سانتیگراد و سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه در دستگاه شیکر (مدل SI-100R، کمپانی HYSC، کره جنوبی) قرار داده شد. پس از به حداکثر رسیدن رشد رویشی قارچ، با استفاده از محلول آب توئین ۰/۰۵ درصد، سوسپانسیونی با غلظت حدود 10^9 کلونی در میلی لیتر تهیه شده و جهت بیوپرایمینگ بذرها استفاده شد [۲۷]. به‌منظور افزایش همزیستی مایه تلقیح با بذر، از بذور ضدعفونی‌نشده استفاده شد. کاشت در اواخر اردیبهشت با دست انجام و برای کنترل علف‌های هرز، عملیات وجین به‌صورت دستی انجام شد.

برای اندازه‌گیری عملکرد پس از مرحله رسیدگی فیزیولوژیک محصول در اواخر شهریور و با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای، بوته‌ها در دو متر مربع از متن هر کرت برداشت شدند. آن‌گاه صفات مرتبط با عملکرد دانه شامل تعداد دانه در بلال و وزن ۱۰۰ دانه (گرم) روی ۱۰ بلال تصادفی در هر کرت اندازه‌گیری و پس از جدا کردن دانه‌ها با شیلر و تعیین درصد رطوبت دانه توسط رطوبت‌سنج (kJT-270 Model, NIR Composition analyzer, Kett, Japan)، میزان عملکرد نهایی دانه و عملکرد بیولوژیک بر حسب تن در هکتار و شاخص برداشت، از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک محاسبه شد. سپس بهره‌وری و کارایی مصرف آب به‌ترتیب با استفاده از روابط ۲ و ۳ محاسبه گردید [۱۲].

Archive of SID
www.SID.ir

$$\text{بهره‌وری مصرف آب} = \frac{\text{عملکرد دانه (کیلوگرم)}}{\text{مقدار آب آبیاری + میزان بارش باران (مترمکعب)}} \quad \text{رابطه [۲]}$$

$$\text{کارآیی مصرف آب} = \frac{\text{عملکرد بیولوژیک (کیاوگرم)}}{\text{مقدار آب آبیاری + میزان بارش باران (مترمکعب)}} \quad \text{رابطه [۳]}$$

در پایان، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C تجزیه و تحلیل و میانگین صفات مورد بررسی توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. پیش از انجام آنالیز میانگین مربعات و به‌منظور تعیین یکنواختی و متجانس بودن واریانس اشتباه آزمایش‌های مختلف، از آزمون بارتلت با کمک نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) استفاده گردید [۶].

۳. نتایج و بحث

از آنجایی‌که آزمون همگنی واریانس آزمایش (بارتلت) دلالت بر عدم یکنواختی واریانس آزمایش در دو منطقه داشت (جدول ۳)، از این رو، صفات مورد مطالعه در هر مکان به‌طور مجزا مورد بررسی قرار گرفتند.

بر اساس آنالیز میانگین مربعات صفات مورد مطالعه، تیمار کم‌آبیاری در ایستگاه قراخیل، اثر معنی‌داری بر صفات عملکرد دانه و بیولوژیک، کارآیی و بهره‌وری مصرف آب و در استگاه بایع‌کلا، بر تعداد دانه در بلال، عملکرد دانه و بیولوژیک، کارآیی و بهره‌وری مصرف آب داشت. تلقیح با قارچ نیز موجب اختلاف معنی‌داری بر صفات عملکرد دانه و بیولوژیک، کارآیی و بهره‌وری مصرف آب، در ایستگاه قراخیل و بر عملکرد دانه، شاخص برداشت و بهره‌وری مصرف آب، در ایستگاه بایع‌کلا گردید. همچنین با اعمال تیمار کود فسفره اختلاف معنی‌داری از لحاظ صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، بهره‌وری و کارآیی آب در هر دو ایستگاه و وزن ۱۰۰ دانه در ایستگاه بایع‌کلا مشاهده گردید. برهمکنش تیمارهای کم‌آبیاری، تلقیح با قارچ و مصرف کود فسفره بر هیچ‌یک از صفات اثر معنی‌داری نداشت. با این وجود، اثرات متقابل کم‌آبیاری و تیمار تلقیح از نظر صفات عملکرد بیولوژیک و کارآیی مصرف آب (α=۰/۰۵) در هر دو ایستگاه و از نظر عملکرد دانه (α=۰/۰۱) و بهره‌وری آب (α=۰/۰۵) در ایستگاه بایع‌کلا معنی‌دار بود. از سوی دیگر، برهمکنش تیمارهای کم‌آبیاری و کود فسفره و برهمکنش تیمار تلقیح قارچ و کود فسفره اثر معنی‌داری بر هیچیک از صفات نداشت (داده‌ها نشان داده نشد).

جدول ۳. آزمون همگنی واریانس (آزمون بارتلت) در دو منطقه قراخیل و بایع‌کلا

صفات	وزن صد دانه	تعداد دانه در بلال	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	کارآیی آب	بهره‌وری آب
کای اسکوار بارتلت	۶/۰۶ *	۱۲/۸۵ **	۲۷/۱۲ **	۱۴/۶۹ **	۶/۵۵ *	۶۰/۹۷ **	۵۶/۸۱ **

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

بر اساس آنالیز میانگین مربعات صفات مورد مطالعه، تیمار کم‌آبیاری در ایستگاه قراخیل، اثر معنی‌داری بر صفات عملکرد دانه و بیولوژیک، کارآیی و بهره‌وری مصرف آب و در استگاه بایع‌کلا، بر تعداد دانه در بلال، عملکرد دانه و بیولوژیک، کارآیی و بهره‌وری مصرف آب داشت. تلقیح با قارچ نیز موجب اختلاف معنی‌داری بر صفات عملکرد دانه و بیولوژیک، کارآیی و بهره‌وری مصرف آب، در ایستگاه قراخیل و بر عملکرد دانه، شاخص برداشت و بهره‌وری مصرف آب، در ایستگاه بایع‌کلا گردید. همچنین با اعمال تیمار کود فسفره اختلاف معنی‌داری از لحاظ صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، بهره‌وری و کارآیی آب در هر دو ایستگاه و وزن ۱۰۰ دانه در ایستگاه بایع‌کلا مشاهده گردید. برهمکنش تیمارهای کم‌آبیاری، تلقیح با قارچ و مصرف کود فسفره بر هیچ‌یک از صفات اثر معنی‌داری نداشت. با این وجود، اثرات متقابل کم‌آبیاری و تیمار تلقیح از نظر صفات عملکرد بیولوژیک و کارآیی مصرف آب (α=۰/۰۵) در هر دو ایستگاه و از نظر عملکرد دانه (α=۰/۰۱) و بهره‌وری آب (α=۰/۰۵) در ایستگاه بایع‌کلا معنی‌دار بود. از سوی دیگر، برهمکنش تیمارهای کم‌آبیاری و کود فسفره و برهمکنش تیمار تلقیح قارچ و کود فسفره اثر معنی‌داری بر هیچیک از صفات نداشت (داده‌ها نشان داده نشد).

۱.۳. تعداد دانه در بلال و وزن صد دانه

بر اساس یافته‌ها، تیمار کم‌آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در ایستگاه قراخیل از نظر وزن صد دانه و تعداد دانه در بلال اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای آبیاری داشت. بر این اساس، وزن صد دانه و تعداد دانه در بلال به‌ترتیب در حدود ۵/۳ و ۵/۶، درصد کمتر از آبیاری کامل بود. از سوی دیگر، بین تیمار کم‌آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی و آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری از لحاظ صفات مذکور وجود نداشت (جدول ۴). در ایستگاه بایع‌کلا نیز، وزن صد دانه و تعداد دانه در بلال در تیمار کم‌آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار آبیاری کامل داشت. همچنین، بین تیمار کم‌آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری از لحاظ وزن صد دانه وجود داشت (جدول ۴). سطوح مختلف تیمار تلقیح اثر معنی‌داری بر وزن صد دانه و تعداد دانه در بلال، در ایستگاه قراخیل و وزن صد دانه، در ایستگاه بایع‌کلا نداشت. در همین تیمار، بیشترین میزان تعداد دانه در بلال از تلقیح همزمان قارچ‌ها به‌دست آمد که ۴/۰۸ درصد بیشتر از تیمار عدم تلقیح بود. از سوی دیگر، سطوح کاربرد کود فسفره (۱۰۰ و ۵۰ درصد میزان مورد نیاز)، سبب افزایش میزان وزن صد دانه و تعداد دانه در بلال در ایستگاه بایع‌کلا، نسبت به سطح عدم مصرف کود گردید، اگرچه این افزایش برای تعداد دانه در بلال معنی‌دار نبود. با این وجود، در ایستگاه قراخیل، افزایش وزن صد دانه معنی‌دار بود (جدول ۴).

نتایج سایر پژوهشگران نیز حاکی از کاهش تعداد دانه در بلال تحت تنش کم‌آبی است [۱۴]. کاهش وزن صد دانه در اثر تنش کم‌آبی، مشابه نتایج مطالعه حاضر، پیش‌تر در پژوهش‌ها روی گیاهان ذرت، آفتابگردان و گلرنگ نیز گزارش شده بود [۵، ۱۴، ۱۷ و ۲۶]. هرچند وزن صد دانه بیشتر یک ویژگی ژنتیکی است اما تا اندازه‌ای متأثر از شرایط دوره رسیدگی است [۱۰]. از سوی دیگر، عدم کاهش معنی‌دار وزن صد دانه در کم‌آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه را می‌توان رابطه جبران‌کنندگی بین اجزای عملکرد نسبت داد، به‌طوری‌که در تیمارهای کم‌آبیاری تعداد دانه کمتری تولید شده و در نتیجه فرصت بیشتری برای پر کردن دانه‌ها و افزایش وزن دانه وجود دارد [۲۵].

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۴. مقایسه میانگین تیمارهای کم‌آبیاری، همزیستی قارچ و کاربرد کود فسفره بر میزان صفات مورد مطالعه در دو منطقه ایستگاه تحقیقات زراعی قراخیل، قائم‌شهر

تیمار	سطح	وزن ۱۰۰ دانه (gr)	تعداد دانه در بلال	عملکرد دانه (Kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (Kg/ha)	شاخص برداشت (%)	کارآیی آب (Kg/m^3)	بهره‌وری آب (Kg/m^3)
کم‌آبیاری	آبیاری کامل	۲۵/۹۰ a	۷۴۳/۲ a	۸۷۵۸ a	۱۵۰۹۰ a	۵۸/۰۶ a	۲/۸۲ c	۱/۶۴ c
	۷۵ درصد نیاز آبی گیاه	۲۵/۸۷ a	۷۲۵/۴ ab	۸۶۳۷ a	۱۵۱۳۰ a	۵۷/۰۵ a	۳/۵۰ b	۱/۹۹ b
	۵۰ درصد نیاز آبی گیاه	۲۴/۵۴ b	۷۰۱/۴ b	۷۶۲۱ b	۱۳۳۸۰ b	۵۶/۹۹ a	۴/۰۴ a	۲/۳۰ a
LSD		۰/۸۲	۲۵/۴۵	۷۶۲۱	۴۴۵/۵	۱/۴۰	۰/۱۷	۰/۱۱
تلقیح قارچ	عدم تلقیح	۲۵/۲۴ a	۷۱۲/۴ a	۸۱۸۰ b	۱۴۲۵۰ b	۵۷/۳۹ ab	۳/۳۷ b	۱/۹۳ b
	تلقیح گلوموس موسه	۲۵/۱۲ a	۷۱۷/۳ a	۷۹۴۲ b	۱۴۰۷۰ b	۵۶/۴۲ b	۳/۳۱ b	۱/۸۶ b
	تلقیح پیرغورموسپورا / ایندیکا	۲۵/۹۰ a	۷۲۲/۶ a	۸۳۴۶ b	۱۴۵۹۰ ab	۵۷/۳۱ ab	۳/۵۰ ab	۱/۹۹ ab
	تلقیح همزمان	۲۵/۵۰ a	۷۴۱/۲ a	۸۸۸۶ a	۱۵۲۲۰ a	۵۸/۳۶ a	۳/۶۰ a	۲/۱۱ a
LSD		۰/۹۵	۲۹/۳۹	۵۱۴/۴	۷۸۲/۸	۱/۶۱	۰/۲۰	۰/۱۲
کود فسفره	عدم مصرف	۲۵/۸۴ a	۷۱۳/۵ b	۷۷۵۵ b	۱۳۸۳۰ b	۵۶/۲۵ b	۳/۲۷ b	۱/۸۴ b
	۵۰ ٪ میزان مورد نیاز	۲۵/۲۷ a	۷۲۴/۶ ab	۸۴۴۰ a	۱۴۷۴۰ a	۵۷/۱۹ b	۳/۵۱ a	۲/۰۰ a
	۱۰۰ ٪ میزان مورد نیاز	۲۵/۲۱ a	۷۳۱/۹ a	۸۸۲۱ a	۱۵۰۳۰ a	۵۸/۶۶ a	۳/۵۶ a	۲/۰۸ a
LSD		۰/۸۲	۲۵/۴۵	۴۴۵/۵	۶۷۷/۹	۱/۴۰	۰/۱۷	۰/۱۱
ایستگاه تحقیقاتی بابع کلا، نکا								
کم‌آبیاری	آبیاری کامل	۲۷/۰۳ a	۷۷۸/۲ a	۱۰۳۲۰ a	۱۷۱۴۰ a	۶۰/۲۲ a	۲/۹۵ c	۱/۷۷ c
	۷۵ درصد نیاز آبی گیاه	۲۵/۹۵ b	۷۴۶/۴ ab	۸۹۰۸ b	۱۵۲۵۰ b	۵۸/۴۶ b	۳/۲۴ b	۱/۸۹ b
	۵۰ درصد نیاز آبی گیاه	۲۵/۷۴ b	۷۲۲/۹ b	۸۰۷۳ c	۱۴۳۲۰ c	۵۶/۴۳ c	۳/۹۷ a	۲/۲۴ a
LSD		۰/۸۷	۲۴/۵۹	۲۷۵/۲	۴۶۸/۳	۱/۱۶	۰/۱۱	۰/۰۶
تلقیح قارچ	عدم تلقیح	۲۶/۴۳ a	۷۳۵/۲ b	۸۹۸۴ b	۱۵۳۹۰ a	۵۸/۲۸ b	۳/۳۲ b	۱/۹۳ c
	تلقیح گلوموس موسه	۲۶/۵۴ a	۷۵۵/۴ ab	۸۸۶۲ b	۱۵۴۸۰ a	۵۷/۱۵ b	۳/۳۶ ab	۱/۹۱ b
	تلقیح پیرغورموسپورا / ایندیکا	۲۶/۱۶ a	۷۴۱/۳ ab	۹۰۰۴ b	۱۵۵۸۰ a	۵۷/۷۰ b	۳/۴۰ ab	۱/۹۵ b
	تلقیح همزمان	۲۷/۱۷ a	۷۶۵/۲ a	۹۵۵۴ a	۱۵۸۲۰ a	۶۰/۳۶ a	۳/۴۵ a	۲/۰۸ a
LSD		۱/۰۱	۲۸/۴۰	۳۱۷/۸	۵۴۰/۸	۱/۳۴	۰/۱۲	۰/۰۷
کود فسفره	عدم مصرف	۲۵/۷۸ b	۷۴۲/۶ a	۸۵۱۶ b	۱۴۸۰۰ b	۵۷/۴۶ b	۳/۲۲ b	۱/۸۴ c
	۵۰ ٪ میزان مورد نیاز	۲۶/۹۷ a	۷۵۳/۳ a	۹۳۴۳ a	۱۶۰۲۰ a	۵۸/۳۰ ab	۳/۴۸ a	۲/۰۲ b
	۱۰۰ ٪ میزان مورد نیاز	۲۶/۹۷ a	۷۵۱/۸ a	۹۴۴۴ a	۱۵۸۹۰ a	۵۹/۳۶ a	۳/۴۵ a	۲/۰۴ a
LSD		۰/۸۷	۲۴/۵۹	۲۷۵/۸۲	۴۶۸/۳	۱/۱۶	۰/۱۱	۰/۰۶

Archive of SID

www.SID.ir

همچنین، محققان اظهار داشتند که همزیستی قارچ‌های میکوریزی منجر به افزایش تعداد دانه در هر بلال می‌شود [۴۲]، اما در پژوهش حاضر این افزایش معنی‌دار نبود. عدم افزایش معنی‌دار وزن دانه در گندم در تلقیح با قارچ‌های *پیریفورموسپورا ایندیکا* و *گلوموس موسه* پیش‌تر گزارش شده بود [۲۷] که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. با این وجود، افزایش وزن دانه در تلقیح با *پیریفورموسپورا ایندیکا* نیز توسط دیگر محققین [۴ و ۳۹] گزارش شد. آن‌ها این افزایش را به اثر تلقیح در افزایش فتوسنتز و انتقال شیره پرورده بیشتر به دانه در مرحله پر شدن دانه به دلیل بهبود جذب آب و عناصر غذایی مرتبط دانستند. علت تفاوت در نتایج می‌تواند به تفاوت در نوع گیاه مورد مطالعه، نوع و نحوه اعمال تیمارهای کم‌آبیاری مربوط باشد. همچنین، افزایش وزن دانه‌ها با کاربرد کود شیمیایی نیز توسط پژوهشگران گزارش شده بود [۴۰]. آن‌ها اظهار داشتند که استفاده از منابع کودی باعث فراهمی مواد غذایی و توسعه بهتر ریشه شده و در نتیجه گیاه در مرحله پر شدن دانه‌ها با شرایط مطلوبی مواجه و همین عامل موجب افزایش وزن دانه‌ها می‌گردد.

۲.۳. عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

بر اساس یافته‌ها، تیمار کم‌آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در ایستگاه قراخیل از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای آبیاری داشت اما از لحاظ شاخص برداشت، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بر این اساس، عملکرد دانه و شاخص برداشت، به‌ترتیب در حدود ۱۳ و ۱/۸ درصد کمتر از آبیاری کامل بود. از سوی دیگر، بین تیمار کم‌آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی و آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری از لحاظ صفات مذکور وجود نداشت (جدول ۴). در ایستگاه بایع‌کلا نیز، شاخص برداشت در تیمار کم-آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار آبیاری کامل داشت. همچنین، بین تیمار کم‌آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری از لحاظ شاخص برداشت وجود داشت (جدول ۴). با این وجود، تلقیح همزمان قارچ‌های *پیریفورموسپورا ایندیکا* و *گلوموس موسه* موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گردید، به‌طوری‌که میزان این صفات به‌ترتیب در حدود ۸/۶ و ۶/۸ درصد بیشتر از تیمار عدم تلقیح بود. همچنین، کاربرد ۱۰۰ و ۵۰ درصد فسفر مورد نیاز به‌ترتیب، سبب افزایش ۱۳/۷ و ۸/۸ درصدی عملکرد دانه و ۸/۶ و ۶/۵ درصدی عملکرد بیولوژیک گردید (جدول ۴). همچنین، در ایستگاه بایع‌کلا سطوح مختلف تیمار تلقیح با قارچ نیز اثر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک نداشت. در همین تیمار، بیشترین عملکرد دانه و شاخص برداشت از تلقیح همزمان قارچ‌ها به‌دست آمد. بر این اساس، میزان صفات یاد شده، ۶/۳ و ۳/۵ درصد بیشتر از تیمار عدم تلقیح بود (جدول ۴). در ایستگاه قراخیل، برهمکنش تیمارهای کم‌آبیاری و تلقیح اثر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک داشت. بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک معادل ۱۶۱۶۰ کیلوگرم در هکتار از ترکیب تیماری آبیاری کامل و تلقیح همزمان قارچ‌ها حاصل شد (جدول ۵). برهمکنش تیمارهای کم‌آبیاری و تلقیح در ایستگاه بایع‌کلا نیز اثر معنی‌داری بر صفات عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک داشت. بیشترین میزان عملکرد دانه و بیولوژیک، به‌ترتیب معادل ۱۰۳۰۰ و ۱۶۶۸۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به ترکیب تیماری آبیاری کامل و تلقیح همزمان قارچ‌ها بود (جدول ۵).

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۵. مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای کم‌آبیاری و تلقیح با قارچ بر صفات مورد مطالعه در دو منطقه

ترکیب تیماری		ایستگاه قراخیل		ایستگاه بابع‌کلا			
کم‌آبیاری	تلقیح قارچ	عملکرد بیولوژیک (Kg/ha)	کارآیی آب (Kg/m^3)	عملکرد دانه (Kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (Kg/ha)	کارآیی آب (Kg/m^3)	بهره‌وری آب (Kg/m^3)
آبیاری کامل	عدم تلقیح	۱۵۱۰۰ abc	۲/۸۲ fg	۱۰۶۲۰ a	۱۷۵۴۰ a	۳/۰۲ def	۱/۸۲ d
	تلقیح *گلوموس موسه*	۱۴۹۷۰ abc	۲/۸۰ fg	۱۰۱۲۰ ab	۱۷۱۶۰ a	۲/۹۵ ef	۱/۷۴ d
	تلقیح *پیریفورموسپورا ایندیکا*	۱۴۱۴۰ cd	۲/۶۴ g	۱۰۲۵۰ ab	۱۶۹۷۰ a	۲/۹۲ f	۱/۷۶ d
	تلقیح همزمان	۱۶۱۶۰ a	۳/۰۲ ef	۱۰۳۰۰ a	۱۶۸۸۰ a	۲/۹۰ f	۱/۷۷ d
۷۵ درصد نیاز آبی گیاه	عدم تلقیح	۱۴۵۴۰ bc	۳/۳۵ de	۸۶۷۹ c	۱۵۰۷۰ bc	۳/۲۰ cd	۱/۴ d
	تلقیح *گلوموس موسه*	۱۵۱۶۰ abc	۳/۵۰ d	۸۶۴۵ c	۱۵۳۲۰ bc	۳/۲۰ c	۱/۸۳ d
	تلقیح *پیریفورموسپورا ایندیکا*	۱۵۲۸۰ abc	۳/۵۲ d	۸۶۰۷ c	۱۴۸۳۰ cd	۳/۲۵ cde	۱/۸۲ d
	تلقیح همزمان	۱۵۵۲۰ ab	۳/۵۸ d	۹۷۰۱ b	۱۵۷۶۰ b	۳/۱۵ c	۲/۰۶ c
۵۰ درصد نیاز آبی گیاه	عدم تلقیح	۱۳۱۰۰ de	۳/۹۵ bc	۷۶۵۲ d	۱۳۵۵۰ e	۳/۷۶ b	۲/۱۲ c
	تلقیح *گلوموس موسه*	۱۲۰۹۰ e	۳/۶۵ cd	۷۸۲۴ d	۱۳۹۶۰ de	۳/۸۷ b	۲/۱۷ bc
	تلقیح *پیریفورموسپورا ایندیکا*	۱۴۳۵۰ bcd	۴/۳۳ a	۸۱۵۵ cd	۱۴۹۴۰ bc	۴/۱۵ a	۲/۲۶ b
	تلقیح همزمان	۱۳۹۸۰ cd	۴/۲۱ ab	۸۶۶۰ c	۱۴۸۳۰ cd	۴/۱۱ a	۲/۴۰ a
LSD		۱۳۵۶	۰/۳۵	۵۵۰/۴	۹۳۶/۷	۰/۲۲	۰/۱۲

یافته‌های پژوهش حاضر حاکی از کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک با کاهش آبیاری بود. این نتایج توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده بود [۲۲، ۲۴ و ۴۸]. در پژوهشی دیگر بیشترین عملکرد ذرت در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد و تنش آبی موجب کاهش محصول به میزان ۴۰٪ شد [۳۲]. همچنین، گزارش شد که تیمارهای کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری عملکرد ذرت را تحت‌تأثیر قرار دادند اما کاهش میزان عملکرد در ۷۰ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با آبیاری کامل معنی‌دار نبود [۳۲]. علاوه بر این، گزارش گردید که تنش خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز از یک سو و اثر بر فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوطه از سوی دیگر، موجب افت عملکرد دانه از طریق کاهش اجزای عملکرد می‌شود [۱۵]. در این پژوهش، تیمار تلقیح با قارچ سبب افزایش معنی‌دار میزان عملکرد دانه در هر دو ایستگاه و عملکرد بیولوژیک در ایستگاه قراخیل گردید. نتایج مشابهی در گندم [۲۸]، جو [۱۹] و ذرت [۳۴ و ۵۳] گزارش شده است. همچنین، در پژوهشی ثابت شد که تلقیح همزمان قارچ‌های *پیریفورموسپورا ایندیکا* و *گلوموس موسه*، عملکرد دانه و بیولوژیک گندم را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد [۲۹]. یافته‌های سایر پژوهشگران نیز نشان داد که قارچ‌های میکوریزا و شبه‌میکوریزا از طریق همزیستی با ریشه گیاهان موجب افزایش معنی‌دار رشد و عملکرد آن‌ها می‌شود [۴۱]. همچنین تحقیقات نشان دادند که تأثیر قارچ *پیریفورموسپورا ایندیکا* بر توسعه و افزایش رشد گیاهان شبیه قارچ‌های

Archive of SID
www.SID.ir

میکوریزا آربسکولار است [۳۷]. در همین راستا گزارش شده است که بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش جذب آب، از دلایل اصلی افزایش عملکرد دانه در اثر تلقیح است [۴۷]. اگرچه در این پژوهش میزان جذب عناصر اندازه‌گیری نشد، اما با توجه به یافته‌های سایر پژوهشگران، تلقیح با قارچ در فراهمی و متابولیسم عناصر مورد نیاز گیاه تأثیر مهمی داشته و سبب افزایش میزان این عناصر در گیاهان تلقیح شده می‌گردد. نتایج سایر پژوهش‌ها نیز نشان داد که قارچ *پیریفورموسپورا ایندیکا* و *گلوموس موسه* بر متابولیسم فسفر، گوگرد و نیتروژن تأثیر مستقیم داشته و فراهمی آن‌ها در خاک را افزایش می‌دهد [۴۴]. افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک با کاربرد کود شیمیایی فسفره نیز در پژوهش حاضر گزارش گردید، زیرا عملکرد دانه ذرت متأثر از برهمکنش مدیریت‌های زراعی و عوامل محیطی می‌باشد و تنش خشکی و کمبود عناصر غذایی از مهم‌ترین این عوامل می‌باشند [۱۱]. از سوی دیگر، بین کاربرد فسفر به‌میزان ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز گیاه در هر دو منطقه مورد مطالعه، اختلاف معنی‌داری از لحاظ عملکرد دانه و بیولوژیک مشاهده نشد که می‌توان آن را به قانون شلفورد نسبت داد که می‌گوید افزایش مقدار هر عامل یا عنصر نیز برای موجودات محدودکننده است [۲].

کمبود آب از جمله عوامل محدودکننده رشد و نمو گیاه بوده که علاوه بر کاهش تولید ماده خشک، موجب اختلال در تسهیم کربوهیدرات‌ها به دانه و در نتیجه کاهش شاخص برداشت می‌شود [۲۴]. این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر در ایستگاه بایع‌کلا مطابقت دارد که با کاهش آبیاری، میزان شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. این درحالی‌است که در ایستگاه قراخیل کاهش معنی‌داری در میزان شاخص برداشت مشاهده نشد. یکی از دلایل آن ممکن است کاهش حدود ۲۱ درصدی میزان بارندگی و افزایش حدود ۱۱ درصدی ساعات آفتابی در ایستگاه بایع‌کلا در طول فصل رشد ذرت در مقایسه با ایستگاه قراخیل باشد (جدول ۱). شرایطی که منجر به افزایش تبخیر آب و در نهایت، کاهش بیشتر عملکرد دانه از حدود ۲۲ درصد در ایستگاه بایع‌کلا به ۱۳ درصد در ایستگاه قراخیل در تیمار کم‌آبیاری با ۵۰ درصد نیاز گیاه شد. همچنین، مطابق با یافته‌های این پژوهش در ایستگاه قراخیل، عدم افزایش معنی‌دار شاخص برداشت در گندم در تلقیح با قارچ‌های *پیریفورموسپورا ایندیکا* و *گلوموس موسه* قبلاً گزارش شده بود [۲۷]. اما، در ایستگاه بایع‌کلا، میزان شاخص برداشت در تلقیح همزمان به‌طور معنی‌داری بیشتر از عدم تلقیح بود. یکی از دلایل این تفاوت در دو منطقه ممکن است به میزان فسفر قابل جذب خاک مربوط باشد که در ایستگاه بایع‌کلا در حدود ۳۱ درصد کمتر از ایستگاه قراخیل بود (جدول ۲). چراکه مهمترین تأثیر رابطه همزیستی با قارچ‌های میکوریز، افزایش جذب عناصر معدنی به‌ویژه فسفر در گیاه میزبان است [۲۹]. این تأثیر به‌ویژه در اراضی که فسفر محلول در خاک کم بوده یا در اثر خشکی ضریب پخشیدگی عنصر فسفر بسیار کاهش یافته است، مشهودتر می‌باشد [۲]. از سوی دیگر، قارچ‌های یاد شده حاوی مقدار قابل‌توجهی اسید فسفاتاز هستند که پتانسیل محلول‌سازی فسفر در خاک و فراهمی آن برای گیاه میزبان را دارند [۴۱]. بنابراین این قارچ می‌تواند در خاک‌های غنی از ماده آلی اثر بهتری داشته باشد [۳۰]. همان‌گونه که در ایستگاه بایع‌کلا با بیشتر بودن حدود ۱۲ درصدی میزان ماده آلی خاک در مقایسه با ایستگاه قراخیل (جدول ۲) اثر معنی‌داری در همزیستی با قارچ مشاهده شد. با این وجود، شاخص برداشت غلات در بهترین شرایط نیز از ۶۰ درصد بالاتر نخواهد رفت [۲۰]. در همین زمینه، شاخص برداشت گزارش شده برای ذرت سینگل‌کراس ۷۰۴ در پژوهش‌های داخلی از ۲۶ تا ۵۵ درصد متفاوت بود [۸]. در پژوهش حاضر نیز، میزان

Archive of SID
www.SID.ir

شاخص برداشت از ۵۶/۲ تا ۵۸/۶ درصد در ایستگاه قراخیل و از ۵۶/۴ تا ۶۰/۴ درصد در ایستگاه بایع‌کلا متغیر بود.

۳.۳. بهره‌وری و کارآیی مصرف آب

مطابق نتایج در ایستگاه قراخیل، تیمار کم‌آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه از نظر بهره‌وری آب اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای آبیاری داشت. بر این اساس، با کاهش مصرف آب، بهره‌وری آب به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و از ۱/۶۴ کیلوگرم بر مترمکعب در آبیاری کامل به ۱/۹۹ و ۲/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمارهای کم‌آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه افزایش یافت (جدول ۴). همچنین، تلقیح همزمان قارچ‌های *پیریفورموسپورا ایندیکا* و *گلوموس موسه* موجب افزایش معنی‌دار کارآیی و بهره‌وری آب گردید، به‌طوری‌که میزان این صفات به‌ترتیب در حدود ۶/۸ و ۹/۳ درصد بیشتر از تیمار عدم تلقیح بود. همچنین، کاربرد ۱۰۰ و ۵۰ درصد فسفر مورد نیاز به‌ترتیب، سبب افزایش ۸/۸ و ۷/۳ درصدی کارآیی آب و ۱۳ و چهار درصدی بهره‌وری آب گردید (جدول ۴). همچنین، در ایستگاه بایع‌کلا بیشترین میزان کارآیی و بهره‌وری آب از تلقیح همزمان قارچ‌ها به‌دست آمد. بر این اساس، میزان صفات یاد شده، ۳/۹ و ۷/۷ درصد بیشتر از تیمار عدم تلقیح بود.

برهمکنش تیمارهای کم‌آبیاری و تلقیح در ایستگاه قراخیل نیز اثر معنی‌داری بر کارآیی آب داشت. بر این اساس، کمترین میزان کارآیی آب از سطوح مختلف تیمار تلقیح در روش آبیاری کامل به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای کم‌آبیاری بود. بیشترین میزان کارآیی آب نیز معادل ۴/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب از تیمار تلقیح *پیریفورموسپورا ایندیکا* در کم‌آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد (جدول ۵). این برهمکنش در ایستگاه بایع‌کلا نیز، اثر معنی‌داری بر کارآیی و بهره‌وری آب داشت. بیشترین میزان کارآیی و بهره‌وری آب از سطوح مختلف تیمار تلقیح در روش کم‌آبیاری بر اساس ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارهای آبیاری بود. بیشترین میزان بهره‌وری آب معادل ۲/۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب از ترکیب تیماری تلقیح همزمان قارچ‌ها در کم‌آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد. همچنین، بیشترین میزان کارآیی آب به میزان ۴/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب مربوط به تلقیح *پیریفورموسپورا ایندیکا* در همین سطح آبیاری بود که با تلقیح همزمان دو قارچ در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۵).

یافته‌های پژوهش حاضر در خصوص افزایش کارآیی و بهره‌وری آب با کاهش آبیاری، با نتایج سایر پژوهشگران همخوانی دارد [۲۳]. آن‌ها در پژوهش خود، بیشترین کارآیی آب ذرت سینگل‌کراس ۷۰۴ را در تیمار آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به مقدار ۱/۱۷۶ کیلوگرم دانه در هر مترمکعب آب به‌دست آوردند. در پژوهشی دیگر، با اعمال سه سطح آبیاری مشاهده شد که حداکثر بهره‌وری آب برای تیمار آبیاری مطلوب بوده و با اعمال کم‌آبیاری، بهره‌وری آب کاهش معنی‌داری می‌یابد [۲۱]. مطابق نتایج، کاربرد کود فسفره نیز موجب افزایش معنی‌دار کارآیی و بهره‌وری آب گردید. در همین راستا، پژوهشگران بیان کردند که علاوه بر آب، تأمین و فراهمی عناصر غذایی گیاه و به‌صورت متعادل برای نیل به عملکرد و کیفیت مطلوب محصولات کشاورزی ضرورت کامل دارد [۱۸]. آن‌ها افزایش کارآیی آب را مرتبط با مصرف بهینه کود دانستند. همچنین، افزایش کارآیی آب در گیاهان همزیست‌شده با قارچ توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده بود [۳۳ و ۴۳]. همچنین، در پژوهشی دیگر علت افزایش کارآیی آب از طریق همزیستی با میکوریزا را با بهبود جذب فسفر

Archive of SID
www.SID.ir

مرتبط دانستند که باعث افزایش عملکرد بیولوژیک و در نتیجه افزایش کارآیی مصرف آب می‌شود [۳۰].

به‌طور کلی، کاهش وزن ۱۰۰ دانه، تعداد دانه در بلال، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نشان‌دهنده‌ی بروز تنش در گیاه در اثر کاربرد روش‌های کم‌آبیاری است. با این وجود، میزان کارآیی و بهره‌وری مصرف آب در روش‌های کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری بیشتر از روش آبیاری کامل بود. بر این اساس و با در نظر گرفتن این‌که در پژوهش حاضر، در حدود دو برابر در میزان مصرف آب صرفه‌جویی شده، می‌توان اظهار داشت که در صورت کمبود آب حتی در بخشی از فصل زراعی، استفاده از روش‌های کم‌آبیاری ارجحیت دارد. همچنین، با توجه به اینکه در پژوهش حاضر تأثیر تلقیح با قارچ‌های *پیریفورموسپورا اینـدیکا* و *گلوموس موسه* بر برخی از صفات اندازه‌گیری شده تأثیر مثبت قابل توجهی نسبت به تیمار شاهد داشته است، بنابراین به‌نظر می‌رسد این قارچ‌ها قادر به تعدیل اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی در گیاه ذرت هستند. لذا استفاده از این قارچ در مواقع کم‌آبی به منظور استفاده بهینه از منابع آب موجود باید به‌عنوان راهکاری جدید جهت افزایش بهره‌وری آب در دسترس و به حداقل رسانیدن خسارات اقتصادی مورد توجه قرار گیرد.

منابع

۱. آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی (۱۳۹۴) آمارنامه کشاورزی، محصولات زراعی (جلد اول). وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

۲. اردکانی م ر (۱۳۸۶) اکولوژی. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۴۰ صفحه.

۳. اصلانی ز، حسنی ع، رسولی صدقیانی م، سفیدکن ف و برین م (۱۳۹۰) تأثیر دو گونه قارچ آربوسکولار مایکوریزا (*Glomus mosseae* و *Glomus intraradices*) بر رشد، مقادیر کلروفیل و جذب فسفر در گیاه ریحان تحت شرایط تنش خشکی. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۷(۳): ۴۸۶-۴۷۱.

۴. پورابراهیمی م، زواره م و احتشامی س م ر (۱۳۹۲) تأثیر تلقیح بذر با باکتری سودوموناس و قارچ مایکوریزا بر عملکرد کمی و کیفی دو رقم ذرت علوفه‌ای. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۳(۱۰): ۲۴-۱۳.

۵. جمشیدی ا، قلاوند ا، سفیدکن ف و محمدی گل‌تپه ا (۱۳۹۲) اثر مثبت قارچ *پیریفورموسپورا اینـدیکا* بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد رازیانه تحت تأثیر مواد آلی. ویژه‌نامه نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۱۴۴-۱۵۸.

۶. حیدری م و کرمی ا (۱۳۹۲) تأثیر تنش خشکی و سویه‌های مایکوریزا بر عملکرد و رنگیزه‌های فتوسنتزی آفتابگردان. مجله تنش‌های محیطی در گیاهان زراعی. ۶(۱): ۲۶-۱۷.

۷. دری م ع، کامکار ب، اقدسی م و کمشی‌کمر ا (۱۳۹۴) اثر تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی ماریتیغال در شرایط آب و هوایی استان گلستان. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۸(۴): ۸۶-۶۷.

۸. دهقان ا، ذبیحی‌افروز ر و حسینی‌ثابت م (۱۳۸۸) بهره‌وری محصولات زراعی در ازای مصرف آب در ایران و مقایسه آن با کشورهای جهان. مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصادکشاورزی و توسعه روستایی. مدیریت امور پردازش یافته‌های تحقیقاتی. ۸۲ صفحه.

Archive of SID
www.SID.ir

۹. رضایی استخروئیه ع، هوشمند ع، برومندنسب س و خانجانی م ج (۱۳۹۳) کارایی مصرف آب و شاخص برداشت ذرت دانه‌ای تحت تأثیر خشکی موضعی ریشه در منطقه کرمان. مجله پژوهش آب ایران. ۱۵ (پاییز و زمستان): ۱۱۳-۱۰۳.

۱۰. رفیعی م (۱۳۸۱) اثرات تنش کمبود آب، روی و فسفر بر شاخص‌های رشد و عملکرد کمی و کیفی ذرت دانه‌ای. پایان‌نامه دکتری تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات اهواز.

۱۱. صداقت ن (۱۳۹۱) مقایسه مدیریت‌های مختلف آبیاری در برنج از نظر مصرف آب و عملکرد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۱۲. طباطبایی س ع، شاکری ا و نصیری ح (۱۳۹۳) تأثیر شیوه‌های مختلف آبیاری و مقادیر کود دامی بر ذرت دانه‌ای رقم سینگل‌کراس ۷۰۴. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۲(۴) ۷۷۵-۷۶۶.

۱۳. عباسی ف، ناصری ا، سهراب ف، باغانی ج، عباسی ن و اکبری م (۱۳۹۴) ارتقای بهره‌وری مصرف آب. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. ۶۸ صفحه.

۱۴. علیزاده ا (۱۳۷۲) اصول طراحی سیستم‌های آبیاری (ترجمه). انتشارات آستان قدس رضوی. ۵۳۹ صفحه.

۱۵. علیزاده ا، مجیدی ا، نادیان ح ا، نورمحمدی ق و عامریان م ر (۱۳۸۶) اثر تنش خشکی و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای در منطقه لرستان. پایان‌نامه دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۱۶. فرخی‌نیا م، رشدی م، پاسبان اسلام ب و ساسان‌دوست ر (۱۳۹۰) بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ بهاره تحت تنش کمبود آب. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴(۳): ۵۵۳-۵۴۵.

۱۷. کارگر ف (۱۳۹۲) تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی متانول بر ویژگی‌های کمی و کیفی گلرنگ. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل.

۱۸. کاظمی ش، آذرآبادی س، رحیم‌زاده خوئی ف، نظری ن و مردان ر (۱۳۹۰) مقایسه کارآیی کاربرد سطوح مختلف کود فسفر بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. اولین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی دانشگاه ساوه.

۱۹. کریمی ا، همایی م، معز اردلان م، لیاقت ع م و رییسی ف.(۱۳۸۵) اثر کود -آبیاری بر عملکرد و کارآیی مصرف آب در ذرت به روش آبیاری قطره‌ای- خطی. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی. ۱۲(۳): ۵۷۵-۵۶۱.

۲۰. کریمی شرودانی ف، سپهری م، افیونی م و حاج عباسی م ع (۱۳۹۴) اثر قارچ اندوفایت *Piriformospora indica* بر افزایش مقاومت گیاه جو به فلز سرب. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۹(۷۱): ۳۲۱-۳۱۱.

۲۱. کشاورز ع و صادق‌زاده ک (۱۳۷۹) مدیریت آب در بخش کشاورزی، برآورد تقاضا برای آینده بحران خشکسالی، وضعیت موجود، چشم‌اندازهای آینده و راهکارهایی جهت بهینه‌سازی مصرف آب. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جهاد کشاورزی.

۲۲. گلستانی س، نوری م، شایان‌نژاد م، محمدخانی ع و شاه‌نظری ع (۱۳۹۱) مطالعه اثرات روش کم‌آبیاری متناوب بر تعدادی از صفات فیزیولوژیکی گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا. اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار.

Archive of SID
www.SID.ir

۲۳. لک ش (۱۳۹۲) ارزیابی صفات فیزیولوژیکی مؤثر بر عملکرد دانه ذرت در سطوح مختلف آبیاری، نیتروژن و تراکم بوته. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۵(۱۹): ۳۳-۱۷.

۲۴. مجیدیان م، قلاوند ا، کریمیان ن ع و کامکار حقیقی ع ا (۱۳۸۷) تأثیر تنش رطوبت، کود شیمیایی نیتروژنه، کود دامی و تلفیقی از کود نیتروژن و کود دامی بر عملکرد، اجزاء عملکرد و راندمان استفاده از آب ذرت سینگل کراس ۷۰۴ . مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲(۴۵): ۴۳۲-۴۱۷.

۲۵. مسجدی ع، شکوه‌فر ع و علوی فاضل م (۱۳۸۷) تعیین مناسب‌ترین دور آبیاری ذرت تابستانه و بررسی اثر تنش خشکی بر محصول با استفاده از اطلاعات تشت تبخیر کلاس A. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۴۶(ب): ۵۵۱-۵۴۳.

۲۶. میری ح ر، نیاکان و و باقری ع ر (۱۳۹۱) تأثیر آبیاری تناوبی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب در کشت مستقیم برنج در منطقه کازرون. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۲(۵): ۲۷-۱۳.

۲۷. یداللهی ده‌چشمه پ، باقری ع ا، امیری ا و اسمعیل‌زاده بهابادی ص (۱۳۹۳) اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی کیتوزان بر عملکرد و رنگیزه‌های فتوسنتزی در آفتابگردان. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۲۱: ۸۳-۷۳.

۲۸. یعقوبیان ی (۱۳۹۰) تأثیر قارچ‌های آربوسکولار و شبه میکوریزا (*Piriformospora indica*, *Glomus mosseae*) روی مقاومت به خشکی گندم با استفاده از شاخص‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۲۹. یعقوبیان ی، پیردشتی ه، محمدی گل‌تپه ا، فیضی اصلی و و اسفندیاری ع (۱۳۹۱) ارزیابی واکنش گندم دیم رقم آذر ۲ به همزیستی با قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار و شبه میکوریزا در سطوح مختلف تنش خشکی. بوم‌شناسی کشاورزی. ۴(۱): ۷۳-۶۳.

۳۰. یعقوبیان ی، عالمی سعید خ، پیردشتی ه، محمدی گل‌تپه ا، فیضی‌اصل و و اسفندیاری ع (۱۳۹۲) اثر قارچ‌های *Glomus mosseae* و *Piriformospora indica* و سطوح مختلف مواد آلی بر روابط بین صفات مرتبط با عملکرد گندم. تحقیقات غلات. ۳(۳): ۲۲۶-۲۱۱.

31. Aliabadi Farahani H, Lebaschi H, Hussein M, Shiranirad A, Valadabadi A and Daneshian J (2008). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi different levels of phosphorus and drought stress on water use efficiency relative water content and proline accumulation rate of coriander (*Coriandrum sativum* L.). Journal of Medicinal Plants Research. 2(6): 125-131.

32. Caker R (2004) Effect of water stress at different development stage on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research. 89(1): 1-16

33. Dagdelen N, Yilmaz E, Sezgin F and Gorbuz T (2006) Water yield relation and water use efficiency of cotton and season crop corn in Western Turkey. Agricultural Water Management. 82:1-2. 93-85.

34. Estrada-Luna AA and Davies J (2003) Arbuscular mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chileancho pepper (*Capsicum annuum*) plants during acclimatization and post-acclimatization. Journal plant physiology. 160: 1073-1083.

Archive of SID
www.SID.ir

35. Faramarzi A, Noormohamadi G, Ardakani MR, Darvish F and Khorshidi Benam MB (2012) Effect of mycorrhiza inoculation and application of different phosphorus fertilizer levels on yield and yield components of corn (cv. KSC647) in Miyaneh region, Iran. Journal of Food, Agriculture and Environment.10 (1): 320-322.

36. Ghorbanian D, Harutyunyan S, Mazaheri D, Rasoli V and Mohebi A (2012) Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and different levels of phosphorus on the growth of corn in water stress conditions. African Journal of Agricultural Research. 7(16): 2575-2580.

37. Golbashy M, Ebrahimi M, Khavari Khorasani S and Choucan R (2010) Evaluation of drought tolerance of some corn (*Zea mays* L.) hybrids in Iran. African Journal of Agricultural Research. 5(19): 2714-2719.

38. Harrison MJ (2005) Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. Annual Review of Microbiology. 59:19–42.

39. Kaefer E (1977) Meiotic mitotic recombination in Aspergillus and its chromosomal aberration. Advances in Genetics. 19: 33-131.

40. Liu A, Plenchette C and Hamel C (2007) Soil nutrient and water providers: how arbuscular mycorrhizal mycelia support plant performance in a resource limited world. In: Hamel, C., Plenchette, C. (Eds.), Mycorrhizae in Crop Production. Haworth Food & Agricultural Products Press, Binghamton, NY, pp. 37–66.

41. Lupway NZ, Girma M and Haque I (2000) Plant nutrient content of cattle manure from small-scale farms and experimental stations in the Ethiopian highlands. Agriculture. Ecosystem and Environment. 78: 57-63.

42. Malla RA, Singh MD, Zeyaullah V, Yadav A, Verma A and Rai M (2002) *Piriformospora indica* and plant growth promoting rhizobacteria: an appraisal. *Frontiers of Fungal Diversity inIndia* (Prof. Kamal Festscrift). International Book Distributing Co. Lucknow, India, p. 401-419.

43. Mobasser HR, Moradgholi A, Mehraban A, Koohkan S (2012) Investigation of mycorrhizal effect on agronomic traits and protein percent of corn varieties in Sistan. International Journal of AgriScience. 2(2): 108-119.

44. Nagarathna T K, Prasad TG, Bagyaraj DJ and Shadakshar YGI (2007) Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus levels on growth and water use efficiency in sunflower at different soil moisture stress. Journal of Agricultural Technology. 3(2): 221-229.

45. Oelmuller R, Sherameti I, Tripathi S and Varma A (2009) *Piriformospora indica*, a cultivable root endophyte with multiple biotechnological applications. Symbiosis. 49:1-17.

46. Orang M (1998) Potential accuracy of the popular non-linear regression equations for estimating pan coefficient values in the original and FAO-24 tables. Unpublished California Department of Water Resources Report, Sacramento, Calif.

47. Osborne SL, Scheppers JS, Francis DD and Schlemmer MR **(**2002) Use of spectral radiance to in season biomass and grain yield in nitrogen and water – stressed corn. Crop Science. 42: 165-171.

48. Sieverding E (1991) Vesicular arbuscular mycorrhizal management in tropical agrosystems. Technical Cooperation, Federal Repuplic of Germany Eschbom. ISBN 3-88085-462.

49. Singh MP, Chaturvedi AK and Shah D (2014) Photosynthetic carbon assimilation and grain

Archive of SID
www.SID.ir

yield in contrasting rice genotypes under elevated CO_2 in face and otc. 4th International Rice Congress. Thailand.

50. Shahhosseini Z, Gholami A and Asghari H (2012) Study the correlation among some growth characteristics of maize and yield under symbiosis with mycorrhizae fungi. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 4: 696-698.

51. Sun CA, Johnson J, Cai DG, Sherameti I, Oelmuller R and Lou BG (2010) *Piriformospora indica* confers drought tolerance in Chinese cabbage leaves by stimulating antioxidant enzymes, the expression of drought-related genes and the plastid-localized CAS protein. Journal of Plant Physiology. 167:1009–1017.

52. Toussaint JP, Smith FA and Smith SE (2007) Arbuscular mycorrhizal fungi can induce the production of phytochemicals in sweet basil irrespective of phosphorus nutrition. Mycorrhiza. 17(4): 291 – 297.

53. Varma A, Bakshi M, Lou B, Hartmann A, Oelmueller R (2012) *Piriformospora indica*: a novel plant growth-promoting mycorrhizal fungus. Journal of Agricultural Research. 1(2):117-131.

54. Verma S, Varma A, Rexer KH, Kost G, Sarbhoy A, Bisen P, Butehorn B and Franken P (1998) *Piriformospora indica* gen. et sp. Nov., A new root-colonizing fungus. Mycologia. 95: 896-903.

Archive of SID

www.SID.ir