



به زراعی کشاورزی

دوره ۱۷ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۴
صفحه‌های ۶۳۴-۶۲۱

اثر قارچ میکوریزای آربوسکولار بر برخی صفات رویشی و عملکرد بزرک (*Linum ussitatissimum* L.) تحت تنش کم‌آبی

مریم سلطانیان^{۱*}، علی تدین^۲ و سیفاله فلاح^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۲. دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۷/۱۷

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۰۵/۲۰

چکیده

به منظور بررسی تأثیر قارچ میکوریزای آربوسکولار بر بزرک در شرایط تنش کم‌آبی، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۲ انجام گرفت. تنش کم‌آبی در چهار سطح آبیاری براساس ۱۰۰ (بدون تنش)، ۷۵ (تنش ملایم)، ۵۰ (تنش متوسط) و ۲۵ (تنش شدید) درصد نیاز آبی گیاه، به‌عنوان فاکتور اصلی و تلقیح بذر گیاه بزرک با دو گونه میکوریزا شامل *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae* و یک تیمار بدون تلقیح میکوریزا به‌عنوان فاکتور فرعی، منظور شد. نتایج نشان داد که اثر تلقیح میکوریزا و تنش کم‌آبی بر تمام صفات اندازه‌گیری‌شده معنادار بود. اثر متقابل میکوریزا با تنش کم‌آبی بر ارتفاع بوته و وزن خشک اندام هوایی معنادار بود. نتایج نشان داد کاربرد هر دو گونه میکوریزا موجب افزایش معنادار عملکرد دانه شد، به طوری که تیمار تلقیح‌شده با میکوریزای *G. intraradices* (۰/۰۸۰ کیلوگرم در متر مربع) بیشترین و تیمار بدون تلقیح با میکوریزا کم‌ترین (۰/۰۶۳ کیلوگرم در متر مربع) عملکرد دانه را تولید کرد. بیشترین (۰/۰۹۷ کیلوگرم در متر مربع) و کمترین (۰/۰۵۰ کیلوگرم در متر مربع) عملکرد دانه به ترتیب در تیمار بدون تنش کم‌آبی و تیمار تنش شدید کم‌آبی به دست آمد.

کلیدواژه‌ها: آبیاری، تلقیح، شاخه فرعی، عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی.

۱. مقدمه

یکی از نیازهای اساسی روند رشد جمعیت در زمینه محصولات کشاورزی، تأمین روغن‌های گیاهی حاصل از دانه‌های روغنی است که تولیدات آنها به مصارف مختلف صنعتی، خوراکی، لوازم بهداشتی و آرایشی می‌رسد [۲]. یکی از گیاهان روغنی که در بعضی از کشورهای آسیایی از روغن آن با هدف خوراکی و به‌عنوان جایگزینی برای چربی‌های حیوانی در رژیم غذایی استفاده می‌کنند، بزرک^۱ است [۲۶].

به دلیل وجود ترکیبات مفید مختلف در کتان روغنی، امروزه مصارف دارویی زیادی برای این گیاه شناخته شده است. یکی از این ترکیبات، اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه به‌ویژه اسید آلفا لینولنیک^۲ یعنی اسید چرب امگا ۳ و اسید لینولئیک یعنی اسید چرب امگا ۶ است. اسید لینولنیک ۵۷ درصد کل اسید چرب کتان را تشکیل می‌دهد [۲۹]. این اسید چرب برای سلامت انسان ضروری است و موجب پیشگیری و بهبود بیماری‌های قلبی، ورم مفاصل، التهاب، بیماری‌های دستگاه ایمنی و سرطان می‌شود [۳۴]. [۲۱]. تغذیه از مخلوط دانه بزرک و نان گندم سبب کاهش قند خون شده است [۹]. مقدار اسیدهای چرب غیراشباع امگا ۳ در روغن کتان در حجم مساوی دوبرابر روغن موجود در ماهی است [۳۱].

خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده غیرزنده رشد، اثر نامطلوبی بر رشد و تولید گیاهان زراعی می‌گذارد [۱۷]. تنش خشکی، اغلب یک عامل کاهش عملکرد است و این امر حتی در مواردی که صدمه مشهود نباشد نیز صادق است. زمانی که رطوبت خاک کم باشد، استقرار گیاه کاهش می‌یابد، رشد محدود و نمو گیاه مختل می‌شود و در نهایت عملکرد گیاه کاهش می‌یابد [۲۸]. تنش خشکی، در

هنگام رشد فعال گیاه، توسعه طولی قسمت‌های مختلف گیاه را به تأخیر می‌اندازد و پس از رفع تنش، بهبودی به سرعت و به‌طور کامل صورت نمی‌گیرد و کاهش اندازه گیاه و در نهایت کم شدن عملکرد دانه را در پی دارد [۱۹]. برقراری همزیستی گیاه با قارچ‌های میکوریزا آریسکولار و بهبود روابط آبی آن با گیاه میزبان از جمله راهکارهایی است که طی دهه‌های اخیر به‌کار گرفته شده است [۳۵]. قارچ‌های آریسکولار - میکوریزا از مهم‌ترین قارچ‌های اندومیکوریزا هستند که با بیش از ۹۰ درصد گیاهان زراعی همزیستی برقرار می‌کنند [۳۵]. قارچ‌های میکوریزا با کاهش تنش و افزایش جذب عناصر غذایی، به رشد گیاهان تحت شرایط تنش خشکی کمک می‌کنند [۳۳]. هیف‌های قارچ میکوریزا می‌توانند به منافذ بسیار ریزی که حتی تارهای کشنده قادر به نفوذ در آنها نیستند وارد شده و موجب افزایش جذب آب شوند [۳۷].

بهبود تولید در گیاهان میکوریزی تحت شرایط تنش خشکی را به غلظت بیشتر عناصر غذایی غیرمتحرک نظیر فسفر، روی و مس نسبت می‌دهند [۲۰]. افزایش ماده خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی در تلقیح با قارچ میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح احتمالاً به دلیل افزایش غلظت آب و مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد در اندام گیاهی و نیز افزایش فتوسنتز گیاه است که به ساخته شدن مواد فتوسنتزی بیشتری می‌انجامد [۳۸]. همزیستی میکوریزا به موفقیت استقرار گیاه و بقای آن کمک می‌کند و غلظت آب و تنظیم اسمزی تحت تنش خشکی را افزایش می‌دهد [۲۳]. بنا بر تحقیقات درباره ارقام بزرک، عملکرد دانه در شرایط دیم، نسبت به سالی که بارش مناسب بود، ۴۰ درصد کاهش نشان داد [۴۱]. عملکرد آفتابگردان به‌واسطه همزیستی با میکوریزا در شرایط بدون تنش و تنش آبی، افزایش یافت و اثر میکوریزا بر عملکرد دانه آفتابگردان در شرایط تنش آبی نسبت به شرایط بدون تنش بیشتر بود [۴].

1. *Linum ussitatissimum*
2. Alpha linolenic acid

به‌زراعی کشاورزی

اثر قارچ میکوریزی آربوسکولار بر برخی صفات رویشی و عملکرد بزرک (*Linum ussitatissimum* L.) تحت تنش کم آبی

با سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح آبیاری براساس ۱۰۰ (بدون تنش)، ۷۵ (تنش ملایم)، ۵۰ (تنش متوسط) و ۲۵ (تنش شدید) درصد نیاز آبی گیاه، به عنوان فاکتور اصلی و تلقیح با میکوریزا در سه سطح شامل تلقیح با *Glomus intraradices*، تلقیح با *Glomus mosseae* و عدم تلقیح، به عنوان فاکتور فرعی بود.

به منظور بررسی خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه، قبل از کاشت از پنج قسمت از خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری نمونه برداری شد. سپس نمونه مرکب خاک از لحاظ برخی خصوصیات شیمیایی از طریق آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی شهرکرد ارزیابی شد (جدول ۱).

هدف پژوهش حاضر، بررسی اثر قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار شامل *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae* بر عملکرد و برخی صفات بزرک در شرایط تنش کم آبی بود.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۲ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰۶۱ متر از سطح دریا به صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری مزرعه آزمایشی قبل از کاشت

مس	آهن	منگنز	روی	نیتروژن کل	پتاسیم قابل استفاده	فسفر قابل استفاده	مواد خنثی شونده	کربن آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته
(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	کل (%)	استفاده (mg/kg)	استفاده (mg/kg)	شونده (%)	آلی (%)	(dS/m)	
۰/۹۱	۴/۸۶	۷/۹۱	۰/۶۷	۰/۰۴۶	۳۰۳	۱۲/۳	۲۶	۰/۵۸۵	۰/۴۵۲	۷/۹۳

در مرحله قبل از گلدهی همراه با آب آبیاری به کرت‌ها اضافه شد.

ابعاد هر کرت آزمایشی ۲ × ۳ متر بود. به منظور جلوگیری از هر گونه خطا، فاصله بین کرت‌ها ۱ متر و فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد. در طول ۳ متر کرت‌ها کشت به صورت ردیفی روی زمین صاف به فاصله ردیف ۱۵ و فاصله ۳ سانتی متر روی ۲۰ ردیف انجام گرفت [۵]. عمق کاشت به طور متوسط ۳ سانتی متر در نظر گرفته شد. برای کاشت از بذر بزرک ایرانی که از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شده بود، استفاده شد.

برای تلقیح خاک از مایه تلقیح قارچ (*G. intraradices*)

عملیات آماده‌سازی زمین برای اجرای آزمایش در اواسط اردیبهشت ۱۳۹۲ آغاز شد. به این منظور، عملیات خاک‌ورزی زمین به وسیله گاواهن برگردان‌دار و زدن دو دیسک عمود برهم انجام گرفت. قبل از اجرای عملیات دیسک زدن، کودهای شیمیایی مورد نیاز به زمین افزوده و با استفاده از دیسک در خاک مخلوط شد. مطابق آنالیز خاک، کودهای نیتروژن مورد نیاز در کرت‌های آزمایش به مقدار متوسط ۱۱۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار در نظر گرفته شد. یک سوم کود نیتروژن به صورت پیش‌کاشت قبل از کشت براساس مساحت کرت‌ها اضافه شد. یک سوم دیگر کود اوره در مرحله به ساقه رفتن و یک سوم آخری

به زراعی کشاورزی

استفاده، PWP رطوبت خاک در نقطه پژمردگی، FC ظرفیت مزرعه، RAW آب سهل الوصول، ET_c نیاز آبی گیاه، D_r عمق توسعه ریشه، ρ_b جرم مخصوص ظاهری و f ضریب تخلیه مجاز است [۸]. Θ_{FC} درصد جرمی رطوبت در ظرفیت زراعی و Θ_{PWP} درصد جرمی رطوبت در نقطه پژمردگی. P_b جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب) است که در آزمایشگاه اندازه گیری شد.

برای نمونه برداری و اندازه گیری عملکرد دانه، دو ردیف کناری از هر کرت و ابتدا و انتهای کرت ها به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و عملکرد دانه در متر مربع محاسبه شد.

برای بررسی روند تغییرات صفات مربوط به میانگین ارتفاع بوته، تعداد کل برگ در بوته، تعداد شاخه فرعی و وزن خشک اندام هوایی هر ۱۰ روز یکبار پس از ظهور گیاه در سطح خاک تا مرحله برداشت، ۱۰ بوته به طور تصادفی برداشت و میانگین آن صفات در بوته محاسبه شد. بوته های برداشت شده در آون در دمای ۷۵ درجه به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و سپس وزن خشک بوته ها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه گیری [۶] و میانگین تک بوته محاسبه شد.

داده های حاصل با استفاده از نرم افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل شد. میانگین های معنادار شده تأثیرات متقابل با استفاده از نرم افزارهای آماری SAS و MSTATC با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شد. در ضمن برآزش داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SigmaPlot-10 انجام گرفت. برای رسم گراف ها و جدول ها از نرم افزار اکسل استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. تعداد برگ

نتایج اثر تنش کم آبی بر تعداد برگ در بوته را نشان می دهد که در سطح ۱ درصد معنادار بوده است (جدول ۲). کاهش

و *G. mosseae*) استفاده شد. مایه تلقیح مورد نظر از شرکت زیست فناور توران شاهرود تهیه شد که شامل مخلوطی از اسپور (۵۰ تا ۱۵۰ اسپور زنده قارچ در هر گرم خاک)، هیف و قطعات جدا شده ریشه های آلوده به عنوان تلقیح کننده (حاوی ریشه های گیاهان میکوریزی شده و ریشه های قارچ میکوریزا ۲۰ تا ۵۰ متر در هر گرم خاک) است. برای کلونیزاسیون بهتر گیاه، در تیمارهای میکوریزایی، پس از ایجاد ردیف ها، به ازای هر متر مربع، حداقل ۱۰۰ گرم قارچ میکوریزا، استفاده شد و لایه ای خاک به عمق ۵ سانتی متر روی آن ریخته و سپس بذرها در عمق ۳ سانتی متری کاشته شد.

آبیاری به صورت متوالی، پس از کاشت مطابق نیاز منطقه هر هفت روز یکبار تا زمان اعمال تنش طی مدت یک ماه در مرحله استقرار در آغاز رشد رویشی گیاه به صورت غرقابی انجام گرفت. پس از سبز شدن بذور، به منظور تنظیم فاصله بوته ها روی خطوط کشت و رسیدن به تراکم مطلوب در زمان پنج برگی عملیات تنک انجام گرفت. کنترل علف های هرز بدون استفاده از علف کش ها و به صورت وجین دستی در طی آزمایش انجام گرفت. تیمارهای کم آبی پس از استقرار گیاه در اوایل مرحله رویشی، اعمال شد.

برای به دست آوردن دور آبیاری، نیاز آبی گیاه با استفاده از نرم افزار CROPWAT (که براساس منطقه مورد مطالعه، نیاز آبی گیاه را در ماه های مختلف برآورد می کند) محاسبه شد و با استفاده از فرمول های زیر، دور آبیاری مشخص شد:

$$TAW = \rho_b \times D_r (\Theta_{FC} - \Theta_{PWP}) \quad (1)$$

$$RAW = f \times TAW \quad (2)$$

$$N = \frac{RAW}{ET_c} \quad (3)$$

در این رابطه ها، N دور آبیاری، TAW کل آب قابل

اثر قارچ میکوریزای آربوسکولار بر برخی صفات رویشی و عملکرد بزرک (*Linum ussitatissimum* L.) تحت تنش کم آبی

تعداد برگ در تیمارهای تنش شدید، متوسط و ملایم، به ترتیب ۴۷، ۳۱ و ۱۶ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کم آبی بود (جدول ۳). تنش خشکی سبب پیری زودرس برگ‌ها و کاهش تعداد برگ آفتابگردان می‌شود [۴۰]. به نظر می‌رسد تنش کم آبی، مقدار آب موجود در سلول یا بافت تعداد برگ در تیمارهای تنش شدید، متوسط و ملایم، به ترتیب ۴۷، ۳۱ و ۱۶ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کم آبی بود (جدول ۳). تنش خشکی سبب پیری زودرس برگ‌ها و کاهش تعداد برگ آفتابگردان می‌شود [۴۰]. به نظر می‌رسد تنش کم آبی، مقدار آب موجود در سلول یا بافت

گیاه را کاهش داده است. از آنجا که با کاهش محتوای رطوبت خاک، پسابیدگی پروتوپلاسم همراه با کاهش آماس سلول اتفاق می‌افتد، اندازه سلول و سرعت تقسیم سلولی روند کاهشی شدیدی پیدا خواهد کرد که به کاهش رشد و سطح فتوسنتزکننده گیاه منجر می‌شود [۱۵].

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات بررسی شده بزرک در تیمارهای مختلف تنش کم آبی و میکوریزا

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد برگ	ارتفاع بوته	تعداد شاخه فرعی	وزن خشک اندام هوایی	عملکرد دانه
بلوک	۲	۷۷۹/۶۶ ^{ns}	۰/۶۷ ^{ns}	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۱۰ ^{ns}
تنش کم آبی	۳	۲۷۷۹۱/۲۱ ^{**}	۱۱۶/۲۱ ^{**}	۳۹/۹۳ ^{**}	۶/۳۴ ^{**}	۰/۰۰۳۳۶۲ [*]
خطای a	۶	۸۸/۰۰	۰/۳۷	۰/۲۷	۰/۰۲	۰/۰۰۰۰۴۱۶
میکوریزا	۲	۱۰۴۲/۹۶ [*]	۳۲/۹۹ ^{**}	۳/۸۷ ^{**}	۰/۸۳ ^{**}	۰/۰۰۱۱۰۷ ^{**}
تنش کم آبی × میکوریزا	۶	۳۰۳/۵۲ ^{ns}	۱/۸۱ ^{**}	۰/۳۸ ^{ns}	۰/۱۰ ^{**}	۰/۰۰۰۰۰۷ ^{ns}
خطای b	۱۶	۲۹۴/۱۹	۰/۴۲	۰/۲۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۰۰۵
ضریب تغییرات (%)	-	۸/۱۶	۲/۳۳	۵/۷۹	۶/۵۵	۵/۱۰

ns، * و **: به ترتیب نشان‌دهنده معنادار نبودن، و معناداری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۳. مقایسه میانگین برخی صفات گیاهی بزرک در شرایط تنش کم آبی و قارچ‌های میکوریزا

تیمارها	تعداد برگ	تعداد شاخه فرعی	عملکرد دانه (kg/m ²)
تنش کم آبی			
بدون تنش (معادل نیاز آبی گیاه)	۲۷۴/۵۶ ^a	۱۰/۷۴ ^a	۰/۰۹۷ ^a
تنش ملایم (۷۵ درصد نیاز آبی گیاه)	۲۳۱/۷۸ ^b	۹/۵۱ ^b	۰/۰۷۸ ^{ab}
تنش متوسط (۵۰ درصد نیاز آبی گیاه)	۱۸۹/۲۹ ^c	۷/۲۰ ^c	۰/۰۷۱ ^{bc}
تنش شدید (۲۵ درصد نیاز آبی گیاه)	۱۵۴/۲۴ ^d	۶/۱۳ ^d	۰/۰۵۰ ^c
میکوریزا			
بدون تلقیح	۲۰۰/۲۷ ^b	۷/۷۴ ^b	۰/۰۶۳ ^b
<i>G. intraradices</i>	۲۱۸/۷۵ ^a	۸/۷۲ ^a	۰/۰۸۰ ^a
<i>G. mosseae</i>	۲۱۱/۶۳ ^{ab}	۸/۷۳ ^a	۰/۰۷۹ ^a

حروف مشابه در هر ستون بیانگر معنادار نبودن در سطح احتمال آماری ۵ درصد است (LSD).

واریانس، تأثیر تیمارهای تنش کم‌آبی، قارچ میکوریزا و اثر متقابل آنها بر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۱ درصد معنادار شد (جدول ۲). نظر به معنادار شدن اثر متقابل بین تیمارها (جدول ۲) در صفت ارتفاع بوته، مقایسه میانگین‌ها برای این صفت به‌صورت مستقل ارائه نشد و نتایج فقط براساس میانگین تأثیرات متقابل بیان شده است (جدول ۴). از این‌رو ارتفاع بوته بزرگ در تنش‌های مختلف کم‌آبی به کاربرد نوع قارچ میکوریزا بستگی دارد. بیشترین ارتفاع بوته (۳۳/۵۹ سانتی‌متر) در تیمار بدون تنش کم‌آبی و تلقیح با قارچ *G. intraradices* و کمترین میزان این صفت (۲۲/۷۰ سانتی‌متر) در تیمار تنش کم‌آبی شدید و شاهد بدون تلقیح مشاهده شد. در همه تیمارهای کم‌آبی آزمون‌شده تلقیح با میکوریزا، گیاه بیشترین ارتفاع را داشت. همچنین استفاده از گونه میکوریزایی *G. intraradices* در شرایط تنش متوسط و شدید از تأثیر بیشتری برخوردار بود (جدول ۴).

اثر میکوریزا در سطح ۵ درصد بر تعداد برگ در بوته معنادار شد (جدول ۲). تیمار تلقیح‌شده با قارچ گونه *G. intraradices* ۹/۲ درصد برگ بیشتری نسبت به تیمار شاهد بدون تلقیح تولید کرد (جدول ۳). افزایش تعداد برگ تحت همزیستی با قارچ‌های میکوریزا که در این تحقیق مشاهده شد، در گیاهان ذرت [۱۳] و ریحان [۱، ۱۸] نیز گزارش شده است. باتوجه به نتایج حاصل، گیاهانی که همزیستی میکوریزی دارند، به‌دلیل اینکه عناصر غذایی و آب بیشتری از خاک جذب می‌کنند دارای رشد بهتری خواهند بود و عملکرد بیشتری خواهند داشت. اثر متقابل تنش کم‌آبی و میکوریزا بر صفت تعداد برگ معنادار نشد (جدول ۲).

۲.۳. ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در جدول ۲ نشان داده شده است. براساس نتایج جدول تجزیه

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح تنش کم‌آبی و میکوریزا بر برخی صفات گیاه بزرگ

تنش کم‌آبی	میکوریزا	ارتفاع بوته (cm)	وزن خشک اندام هوایی (g)
	شاهد (بدون تلقیح)	۲۹/۴۷ ^b	۲/۴۸ ^{bc}
بدون تنش (معادل نیاز آبی گیاه)	<i>G. intraradices</i>	۳۳/۵۹ ^a	۲/۸۱ ^a
	<i>G. mosseae</i>	۳۲/۸۰ ^a	۲/۶۵ ^{ab}
	شاهد	۲۶/۷۳ ^d	۱/۶۴ ^d
تنش ملایم (۷۵ درصد نیاز آبی گیاه)	<i>G. intraradices</i>	۳۰/۳۰ ^b	۲/۶۱ ^b
	<i>G. mosseae</i>	۲۹/۸۳ ^b	۲/۳۳ ^c
	شاهد	۲۴/۵۵ ^e	۱/۰۷ ^f
تنش متوسط (۵۰ درصد نیاز آبی گیاه)	<i>G. intraradices</i>	۲۸/۳۰ ^c	۱/۴۶ ^{de}
	<i>G. mosseae</i>	۲۷/۴۰ ^{cd}	۱/۴۴ ^e
	شاهد	۲۲/۷۰ ^f	۰/۶ ^g
تنش شدید (۲۵ درصد نیاز آبی گیاه)	<i>G. intraradices</i>	۲۵/۹۳ ^e	۰/۹۸ ^f
	<i>G. mosseae</i>	۲۵/۶۷ ^{ef}	۰/۷۸ ^{fg}

حروف مشابه در هر ستون بیانگر معنادار نبودن در سطح احتمال آماری ۵ درصد است (LSD).

کاربرد میکوریزا در گیاه دارویی ریحان تأثیر معناداری بر همه عوامل رشدی از قبیل تعداد شاخه جانبی داشت و این افزایش در مورد قارچ *G. mosseae* بیشتر بود [۱]. همچنین کودهای زیستی با تحریک رشد و تأثیر بر فعالیت هورمونی نخود، سبب تحریک تعداد شاخه‌های جانبی می‌شود [۱۰]. با این حال، اثر قارچ میکوریزا در گیاه دارویی گشنیز بر این صفت معنادار نشد [۵]. اثر متقابل تنش کم آبی و میکوریزا بر تعداد شاخه فرعی معنادار نشد (جدول ۲).

۴.۳. وزن خشک اندام هوایی

تأثیرات ساده تنش کم آبی و میکوریزا و اثر متقابل آنها بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۱ درصد معنادار شد (جدول ۲). با توجه به معنادار شدن اثر متقابل تیمار تنش کم آبی و نوع قارچ در این آزمایش می‌توان چنین استنباط کرد که وزن خشک اندام هوایی بوتۀ بزرک در تنش‌های مختلف کم آبی، به کاربرد نوع قارچ میکوریزا بستگی دارد. بیشترین مقدار ماده خشک اندام هوایی در تیمار بدون تنش رطوبتی و قارچ *G. intraradices* و کمترین مقدار آن در تیمار تنش شدید رطوبتی و شاهد بدون قارچ مشاهده شد. در تیمار تنش رطوبتی ملایم و متوسط، بیشترین واکنش ماده خشک گیاه مربوط به قارچ *G. intraradices* و کمترین آن در تیمار شاهد بدون قارچ بود (جدول ۴).

قارچ *G. intraradices* موجب افزایش معنادار وزن خشک اندام هوایی گوجه‌فرنگی، در شرایط تنش خشکی شد [۳۶]. در تحقیقی در اکالیپتوس، تولید ماده خشک بیشتر در گیاهان میکوریزی، نتیجه جذب فسفر دانسته شد و جذب بیشتر رطوبت توسط میکوریزا نیز بر رشد رویشی تأثیرگذار بود [۲۷].

افزایش وزن ماده خشک سورگوم میکوریزایی در مقایسه با وزن ماده خشک سورگوم غیرمیکوریزایی تحت

یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش تورژسانس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول به خصوص در ساقه و برگ‌هاست [۲۲]. میکوریزا به علت افزایش جذب آب و در نتیجه تورم و آماس و گسترش سلول‌ها در افزایش ارتفاع بوته مؤثر است [۳۰]. همچنین تلقیح میکوریزا موجب تغییرات وسیع شاخص‌های مورفولوژیکی ریشه به‌ویژه افزایش ریشه‌های جانبی می‌شود [۱۴]، در نتیجه با افزایش رشد ریشه، آب و مواد غذایی بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و این امر می‌تواند موجب بهبود رشد و ارتفاع بوته شود.

۳.۳. تعداد شاخه فرعی

اثر تنش کم آبی بر تعداد شاخه فرعی در سطح احتمال ۱ درصد مؤثر بود (جدول ۲). تیمارهای تنش شدید، متوسط و ملایم، به ترتیب ۴۳، ۳۳ و ۱۱/۵ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کم آبی تعداد شاخه فرعی کمتری داشتند (جدول ۳). شاخه‌دهی زیاد تحت شرایط خشکی، صفتی نامطلوب به حساب می‌آید، زیرا موجب مصرف بیهوده رطوبت خاک و اتلاف آن می‌شود [۲۴]. بنابراین کاهش تعداد شاخه‌های جانبی در شرایط کم آبی را شاید بتوان نوعی سازوکار سازگاری برای گیاه در نظر گرفت. کاهش تعداد شاخه جانبی در اثر تنش کمبود آب در گیاهان دارویی گشنیز [۵] و آویشن [۳] نیز گزارش شده است.

اثر قارچ میکوریزا بر تعداد شاخه فرعی در سطح احتمال ۱ درصد معنادار شد (جدول ۲). بیشترین تعداد شاخه فرعی در تلقیح گیاه بزرک با قارچ *G. mosseae* به دست آمد و کمترین مقدار برای این صفت در تیمار شاهد (بدون قارچ) حاصل شد، به طوری که تلقیح با قارچ، تعداد شاخه فرعی را ۱۳ درصد نسبت به تیمار بدون تلقیح افزایش داد. در ضمن دو گونه میکوریزا با یکدیگر اختلاف معناداری نداشتند (جدول ۳).

میکوریزا به دلیل افزایش سرعت و مدت فتوستتر [۱۸ و ۳۲]، موجب افزایش بازده انتقال مواد فتوستتری به مخزن شد که این امر به افزایش عملکرد می‌انجامد. اثر متقابل تنش کم‌آبی و میکوریزا بر عملکرد دانه معنادار نشد (جدول ۲).

۶.۳. بررسی روند تجمعی تغییرات صفات رویشی

در زمان

روند تغییرات میزان ارتفاع گیاه (الف)، تعداد برگ در بوته (ب)، تعداد شاخه فرعی در بوته (ج) و ماده خشک اندام هوایی گیاه براساس گرم در بوته (د) در مراحل مختلف رشد در تیمارهای مختلف تنش خشکی در شکل ۱ نشان داده شده است. براساس این شکل، در تمامی این صفات با افزایش تعداد روز پس از ظهور گیاه در سطح خاک تا مرحله برداشت مقادیر آن افزایش می‌یابد. روند افزایش این صفات به‌ویژه از ۳۵ روز تا ۶۵ روز پس ظهور در سطح گیاه در سطح خاک افزایش جهشی دارد و از آن مرحله به بعد افزایش چندانی نشان نمی‌دهد. الگوی تغییرات ارتفاع، تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی و ماده خشک اندام هوایی گیاه در تیمارهای مختلف تنش خشکی تقریباً یکسان است (شکل ۱). بیشترین میزان عددی این صفات در شرایط بدون تنش، و کمترین آنها در شرایط تنش شدید است.

نظر به یکسان بودن الگوی تغییرات صفات رویشی بررسی شده در مراحل مختلف رشد، برآزش داده فقط در صفت ماده خشک اندام هوایی در شرایط تنش مختلف رطوبتی انجام گرفت (شکل ۲ - الف). تخمین خطای استاندارد (SEE)، ضریب تبیین (R^2) و ضرائب رگرسیونی (a , b , X_0 و Y_0) برای مدل رگرسیون غیرخطی سیگموئید (Sigmoidal) در توصیف روند تغییرات تجمعی ماده خشک اندام هوایی در تنش‌های مختلف رطوبتی خاک در جدول ۵ آورده شده است.

تنش خشکی به دلیل افزایش پتانسیل آب برگ یا افزایش مصرف دی‌اکسید کربن گزارش شد [۱۲]. در واقع، وجود شبکه گسترده هیف‌های خارجی قارچ میکوریزا به‌عنوان ادامه سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان قادر است آب را از منافذ بسیار ریز و دور از دسترس گیاه جذب و به گیاه منتقل کند.

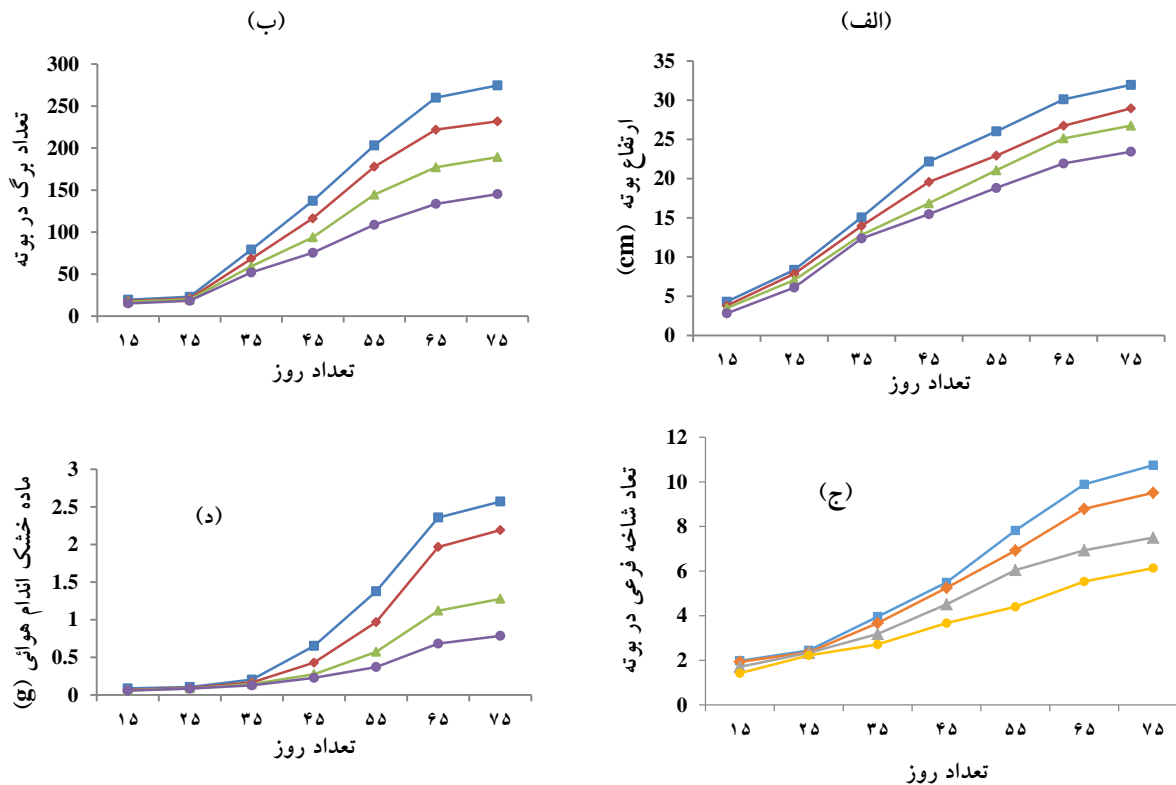
۵.۳. عملکرد دانه

اثر تنش کم‌آبی در سطح احتمال ۵ درصد بر عملکرد دانه معنادار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین صفات نشان‌دهنده آن است که تیمارهای تنش شدید، متوسط و ملایم کمبود آب، به ترتیب ۴۸/۱۴، ۲۷/۱۱ و ۱۹/۶ درصد عملکرد دانه کمتری نسبت به شرایط بدون تنش کم‌آبی دارا بودند (جدول ۳).

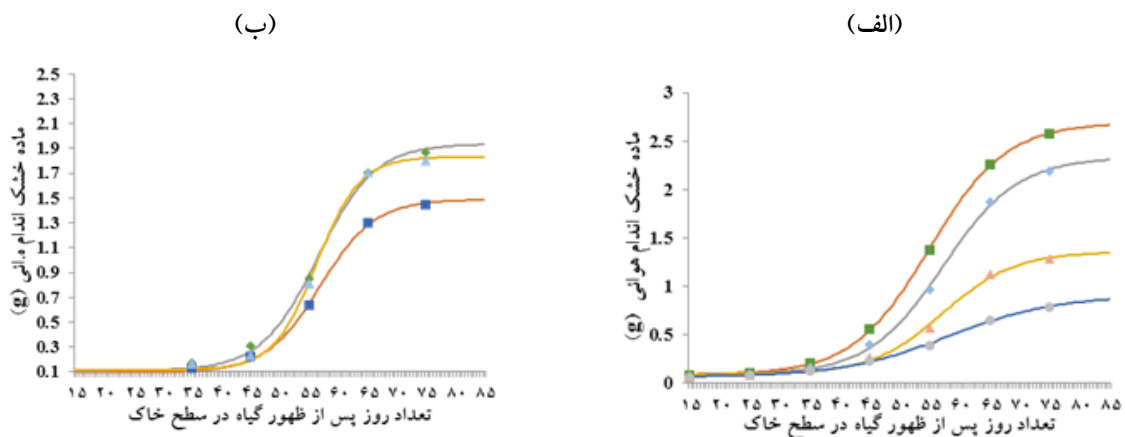
در آزمایشی در آفتابگردان، دلیل کاهش عملکرد در مرحله، پر شدن دانه را به کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها و پیری زودرس برگ‌ها در آفتابگردان مرتبط دانستند [۳۹]. تنش خشکی در زمان پر شدن دانه‌ها موجب کاهش عملکرد دانه از طریق تقلیل فتوستتر می‌شود که به‌طور معمول مهم‌ترین منبع تشکیل‌دهنده وزن دانه و عملکرد دانه است [۱۱]. به‌طور کلی، عملکرد دانه، نتیجه برآیند اجزای عملکرد است و کاهش اجزای عملکرد به کاهش عملکرد دانه منجر می‌شود [۱۱].

اثر میکوریزا در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دانه معنادار شد (جدول ۲). عملکرد دانه با کاربرد قارچ میکوریزا *G. intraradices* هرچند از نظر عددی بیشتر از گونه دیگر بود، از نظر آماری تفاوت معناداری با آن نداشت. گیاه تلقیح‌شده با قارچ گونه *G. intraradices* ۲۷ درصد عملکرد دانه را نسبت به گیاه بدون تلقیح افزایش داد (جدول ۳). افزایش اجزای عملکرد رازیانه تحت تأثیر تلقیح با قارچ میکوریزا به بهبود شرایط تغذیه‌ای برای بوته‌ها به‌ویژه افزایش فراهمی فسفر گزارش شد [۲۴]. همزیستی با

اثر قارچ میکوریزی آربوسکولار بر برخی صفات رویشی و عملکرد بزرگ (*Linum ussitatissimum* L.) تحت تنش کم آبی



شکل ۱. روند تغییرات تجمعی صفات ارتفاع بوته (الف)، تعداد برگ در بوته (ب)، تعداد شاخه فرعی (ج) و ماده خشک اندام هوایی (د) در مراحل رشد از زمان ظهور گیاه در سطح خاک تا مرحله برداشت در تیمارهای مختلف تنش رطوبتی خاک. علائم، مربوط به تیمارهای بدون تنش (■)، تنش ملایم (◆)، تنش متوسط (▲) و تنش شدید (●) است.



شکل ۲. رابطه بین میزان ماده خشک اندام هوایی (گرم) و تعداد روز پس از ظهور گیاه در سطح خاک تا زمان قبل از برداشت در تیمارهای مختلف تنش رطوبتی خاک (الف) و تیمارهای مختلف قارچ (ب). خطوط منحنی نشان دهنده اعداد برازش شده (fitted) در معادلات بدون تنش، تنش ملایم، تنش متوسط و تنش شدید (الف) و بدون تلقیح، تلقیح با قارچ *G. intraradices* و قارچ *G. mosseae* (ب) و علائم (شاهد بدون تنش)، (تنش ملایم)، (تنش متوسط) و (تنش شدید) در شکل الف و علائم (شاهد بدون قارچ)، (قارچ *G. intraradices*) و (قارچ *G. mosseae*) در شکل ب میزان عددی مشاهده شده (observed) تیمارهای تنش رطوبتی قارچ میکوریزی است.

به زراعی کشاورزی

دوره ۱۷ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۴

جدول ۵. تخمین خطای استاندارد (SEE^*)، ضریب تبیین (R^2) و ضرایب رگرسیونی (a ، b ، X_0 و Y_0) برای مدل رگرسیون غیرخطی سیگموئید (Sigmoidal) در توصیف روند تغییرات صفت ماده خشک اندام هوایی برازش شده در تیمار تنش های مختلف رطوبتی خاک و تیمار تلقیح با قارچ

تیمار	تبیین (R^2)	SEE	$a \pm SE$	$b \pm SE$	$X_0 \pm SE$	$Y_0 \pm SE$
بدون تنش	۰/۹۹	۰/۰۱۷۰	$۰/۰۳۲۰ \pm ۲/۶۰۵۰$	$۰/۱۹۸۲ \pm ۶/۴۱۷۶$	$۰/۲۱۹۳ \pm ۵۴/۹۵۳۱$	$۰/۰۱۲۲ \pm ۰/۰۸۶۱$
تنش ملایم	۰/۹۹	۰/۰۴۲۹	$۲/۲۴۳۶ \pm ۰/۰۸۷۸$	$۶/۲۱۸۱ \pm ۰/۵۸۳۲$	$۵۷/۲۶۰۵ \pm ۰/۶۸۰۵$	$۰/۶۸۰۵ \pm ۰/۰۲۸۸$
تنش متوسط	۰/۹۹	۰/۰۴۱۲	$۲/۲۶۵۲ \pm ۰/۰۷۹۸$	$۵/۹۵۶۸ \pm ۰/۹۳۹۱$	$۵۷/۱۷۴۹ \pm ۱/۰۸۶۵$	$۰/۰۸۹۵ \pm ۰/۰۲۷۰$
تنش شدید	۰/۹۹	۰/۰۱۷۳	$۰/۸۴۴۹ \pm ۰/۰۶۴۹$	$۸/۹۹۱۹ \pm ۱/۱۵۳۷$	$۵۸/۱۴۷۸ \pm ۱/۴۷۱۰$	$۰/۰۶۰ \pm ۰/۰۱۵۸$
شاهد بدون تلقیح	۰/۹۹	۰/۰۳۲۰	$۱/۳۹۳۴ \pm ۰/۰۴۸۸$	$۴/۶۷۸۶ \pm ۰/۵۲۰۸$	$۵۶/۹۰۳۸ \pm ۰/۵۷۱۴$	$۰/۰۹۴۸ \pm ۰/۰۱۸۹$
<i>G. intraradices</i>	۰/۹۹	۰/۰۵۱۷	$۱/۸۲۴۰ \pm ۰/۰۷۹۸$	$۴/۸۵۰۸ \pm ۰/۶۶۵۱$	$۵۶/۵۱۲۱ \pm ۰/۷۱۷۳$	$۰/۱۱۱۲ \pm ۰/۰۳۱۲$
<i>G. mosseae</i>	۰/۹۹	۰/۰۵۰۰	$۱/۷۱۵۸ \pm ۰/۰۶۵۶$	$۳/۷۱۰۳ \pm ۰/۶۲۱۷$	$۵۶/۳۰۲۹ \pm ۰/۵۷۰۵$	$۰/۱۱۶۴ \pm ۰/۰۲۷۹$

Standard Error of Estimate *

نقاط مختلف نمونه برداری بیشتر از تیمار شاهد بدون قارچ است.

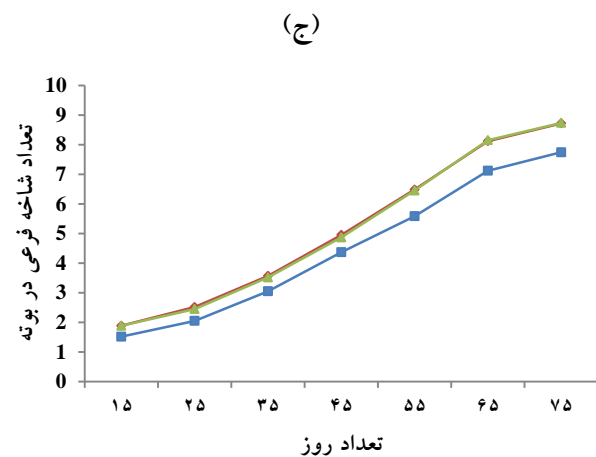
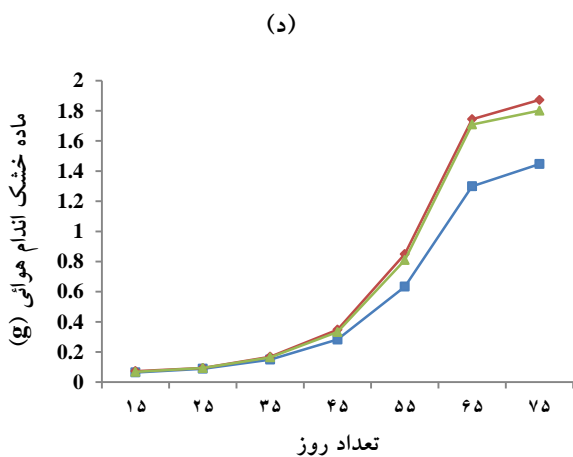
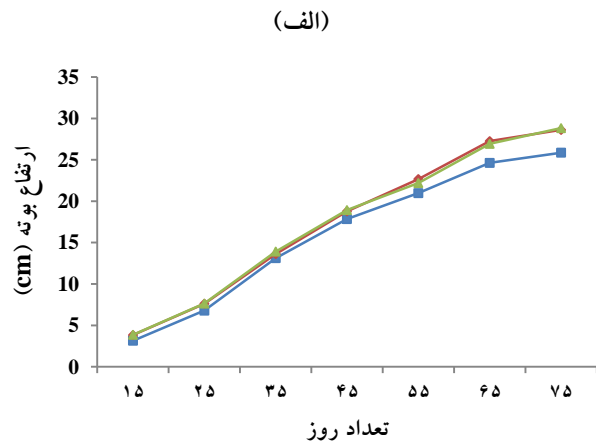
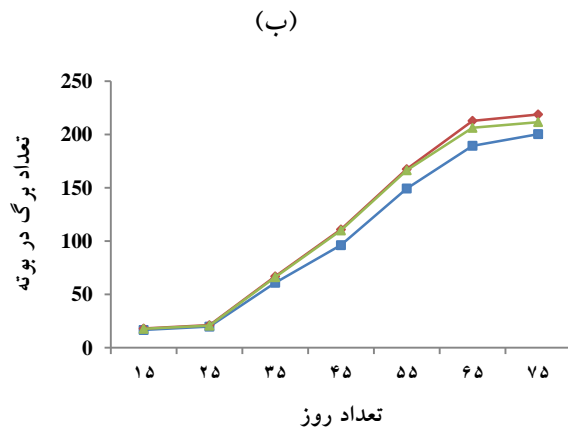
با توجه به یکسان بودن روند تغییرات در صفات اشاره شده در زمان، فقط صفت ماده خشک اندام هوایی در تیمارهای مختلف قارچی برازش داده شد (شکل ۲ - ب). برای توصیف این صفت از مدل رگرسیونی غیرخطی سیگموئید استفاده شد. مقادیر SEE و R^2 در مدل در حد پذیرفتنی بودند و مدل به خوبی توانست روند تغییرات ماده خشک اندام هوایی را در تیمار قارچی توجیه کند (جدول ۵). مقدار کم SEE و R^2 زیاد در این مدل نشان دهنده این است که مدل سیگموئیدی توصیف مناسب تری از روند تغییرات ماده خشک نسبت به زمان دارد. مفهوم استفاده از این مدل این است که برای دستیابی به ماده خشک مطلوب تا مرحله ۶۵ روزگی پس از ظهور گیاه در سطح خاک، تأمین نیازهای زراعی گیاه ضروری است. تأمین این نیازها

روند تغییرات تجمعی صفت ماده خشک اندام هوایی (الف)، تعداد برگ در بوته (ب)، تعداد شاخه فرعی (ج) و ماده خشک اندام هوایی گیاه (د) در مراحل مختلف رشد در تیمارهای مختلف قارچی در شکل ۳ نشان داده شده است. براساس این شکل در تیمارهای مختلف قارچی، با افزایش زمان در تمامی صفات مقادیر عددی آن افزایش می یابد. روند افزایش این صفات به ویژه از ۳۵ تا ۶۵ روز پس ظهور گیاه در سطح خاک به صورت جهشی افزایش می یابد و از آن مرحله به بعد با حداقل تغییرات به وضعیت یکنواخت می رسد. کاهش رشد این صفات در آخرین مرحله نمونه برداری را می توان به زرد شدن برگ ها و کاهش فتوسنتز گیاه و ریزش برگ ها نسبت داد [۱۶]. روند تغییرات این صفات در تیمارهای مختلف قارچی تقریباً یکسان است. مقدار عددی این صفات در تیمارهای تلقیح با قارچ *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices*

اثر قارچ میکوریزای آربوسکولار بر برخی صفات رویشی و عملکرد بزرگ (*Linum ussitatissimum* L.) تحت تنش کم آبی

گونه قارچ تأثیر بیشتری نسبت به عدم کاربرد بر کلیه صفات اندازه گیری نشان داد. تأثیر کاربرد هر دو گونه قارچ *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae* یکسان بود.

پس از گذشت این مدت، از نظر مدیریتی نه تنها موجب افزایش ماده خشک اندام هوایی نمی شود، بلکه در حالت ثابتی قرار می گیرد و برآورد نیازهای گیاه در این مرحله از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود. کاربرد هر دو



شکل ۳. روند تغییرات تجمعی ارتفاع بوته (الف)، تعداد برگ در بوته (ب)، تعداد شاخه فرعی (ج) و ماده خشک اندام هوایی (د) در مراحل رشد از زمان ظهور گیاه در سطح خاک تا مرحله برداشت در تیمارهای مختلف قارچی. علائم مربوط به تیمار شاهد بدون تلقیح (■)، تلقیح با *Glomus intraradices* (◆) و تلقیح با *Glomus mosseae* (▲) است.

بر رشد، مقادیر کلروفیل و جذب فسفر در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت شرایط تنش خشکی. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۷(۳): ۴۸۶-۴۷۱.

منابع
۱. اصلانی ز، حسنی ع، رسولی صدقیانی م ح، سفیدکن ف و برین م (۱۳۹۰) تأثیر دو گونه قارچ آرباسکولار میکوریزا (*Glomus intraradices* و *Glomus*

۱۰. قلاوند ا، محمدی خ، آقاعلیخانی م و حیدری غ (۱۳۹۱) تأثیر کودهای مختلف آلی و بیولوژیک بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود. پژوهش و سازندگی. ۹۴: ۴۹-۴۰.
۱۱. کوچکی ع و سرمدنیا غ ح (۱۳۹۱) فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۰۰ ص.
۱۲. نادیان ح (۱۳۹۰) اثر تنش خشکی و همزیستی میکوریزا بر رشد و جذب فسفر توسط دو رقم سورگوم متفاوت در ریخت‌شناسی ریشه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۵(۵۷): ۱۴۰-۱۲۷.
13. Amerian MR, Stewart WS and Griffiths H (2001) Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, assimilation and leaf water relations in maize (*Zea mays*). Aspects of Applied Biology. 63: 71-76.
14. Berta G, Fusconi A and Hooker JE (2002) In: Gianinazzi S, Schuepp H, Barea JM and Haselwandter K (Eds.), Arbuscular mycorrhizal modifications to plant root systems: scale, mechanisms and consequences. Mycorrhiza Technology in Agriculture, from Genes to Bioproducts. Basel, Switzerland, Birkhauser Verlag, pp. 71-85.
15. Blum A (2005) Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? Australian Journal of Agriculture. 56: 1159-1168.
16. Bullock DG, Nielsen RL and Nyquist WE (1988) A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. Crop Science. 28: 254-258.
۲. ایران‌نژاد ح و حسینی مزینانی س م (۱۳۸۴) بررسی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد سه رقم کتان روغنی در ورامین. علوم کشاورزی. ۴: ۱۱۹-۱۱۱.
۳. بابایی ک، امینی دهقی م، مدرس ثانوی س ع م و جباری ر (۱۳۸۹) اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، میزان پرولین و درصد تیمول در آویشن (*Thymus vulgaris* L.) تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۶(۲): ۲۳۹-۲۵۱.
۴. جمشیدی ا، قلاوند ا، صالحی ا، زارع م ج و جمشیدی ع ر (۱۳۸۸) اثر میکوریزا آربوسکولار بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات گیاهی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در شرایط تنش خشکی. علوم زراعی ایران. ۱۱(۲): ۱۵۰-۱۳۶.
۵. خواجه‌پور م ر (۱۳۹۱) گیاهان صنعتی. مرکز نشر دانشگاه اصفهان (چاپ پنجم). ۵۶۴ ص.
۶. صادقی ف (۱۳۹۲) ارزیابی اثرات کودهای بیولوژیک، آلی و معدنی نیتروژن بر خصوصیات کمی و کیفی سه اکوتیپ بزرگ (*Linum usitatissimum* L.) در شرایط مزرعه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد.
۷. علی‌آبادی فراهانی ح و ولدآبادی س ع ر (۱۳۸۹) نقش قارچ میکوریز آربوسکولار بر گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) در شرایط تنش خشکی. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). ۲۴(۱): ۸۰-۶۹.
۸. علیزاده ا (۱۳۸۷) رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد. ۴۷۲ ص.
۹. فضیلتی م، اعرابی ا و تدین ع (۱۳۹۳) بررسی اثر نان‌های تهیه‌شده از دانه کتان بر قند بیماران دیابتی. علوم غذایی و تغذیه. ۱۱(۳): ۹۶-۹۱.

17. Cheong YH, Kim KN, Pandey GK, Gupta R, Grant JJ and Luan S (2003) CLB1, a calcium sensor that differentially regulates salt, drought, and cold responses in Arabidopsis. *The Plant Cell*. 15: 1833-1845.
18. Copetta A, Lingua G and Bert G (2006) Effect of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. *Mycorrhiza*. 16(7): 485-494.
19. Denmead OT and Shaw RH (1960) The effects of moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Journal of Agronomy*. 52: 272-274.
20. Ghazi AK and John Zak BM (2003) Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*. 14: 263-269.
21. Hardman WE, Moyer MP and Cameron IL (2000) Dietary fish oil sensitizes 549 lung xenografts to doxorubicin chemotherapy. *Cancer Letters*. 151: 145-151.
22. Hsiao TC (1973) Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*. 24: 519-570.
23. Jastrow JD, Miller RM and Lussenhop J (1998) Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. *Soil Biology and Biochemistry*. 30: 905-916.
24. Kapoor R, Giri B and Mukerji KG (2004) Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill. On mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology*. 93: 307-311.
25. Keim DL and Kronstad WE (1981) Drought response of winter wheat cultivars grown under field stress conditions. *Crop Science*. 21(1): 11-15.
26. Khan ML, Sharif M and Sarwar M (2010) Chemical composition of different varieties of linseed. *Issues in Law Medicine Journal*. 5: 273-318.
27. Kijkar S (1991) Producing rooted of Eucalyptus camaldulensis. AASEAN-Canada forest tree seed center project handbook, 25 p.
28. Kramer PJ and Boyer JS (1995) *Water Relation of Plants and soils*. San Diego, CA: Academic Press, 860 p.
29. Morris DH (2005) *Flax-a health and nutrition primer*. www.flaxCouncil.ca: 108 p.
30. Ortasa I, Sari N, Akpinara C and Yetisir H (2011) Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. *Scientia Horticulture*. 128: 92-98.
31. Raney JP and Diederichsen A (2002) Oil content and composition of the Flax germplasm collection help by Plant Gene Resources of Canada. Plant Gene Resources of Canada, agriculture and agrifood Canada, Saskatoon research center. 107 science places, Saskatoon SK, S7N 0X2.
32. Richter J, Stutzer M and Schellenberg I (2005) Effects of mycorrhization on the essential oil content and composition of aroma components of marjoram (*Marjorana hortensis*), thyme (*Thymus vulgaris* L.) and caraway (*Carum carvi* L.). 36th International Symposium on Essential Oils, 4-7th September, Budapest, Hungary.
33. Ruiz-Lozano JM and Azcon R (1996)

- Mycorrhizal colonization and drought stress as factors affecting nitrate reductase activity in lettuce plants. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 60(2-3): 175-181.
34. Simopoulos AP (1999) Essential fatty acids in health and chronic disease. *American Journal of Clinical Nutrition*. 70: 560-569.
35. Smith SE and Read DJ (2008) *Mycorrhizal Symbiosis*. 3th. Academic Press, London, UK.
36. Subramanian KS, Santhanakrishnan P and Balasubramanian P (2006) Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. *Scientia Horticulturae*. 107(3): 245-253.
37. Tisdall JM (1991) Fungal hyphae and structural stability of soil. *Australian Journal of Soil Research*. 29(6): 729-743.
38. Vamerali T, Saccomani M, Mosca S, Guarise N and ganis A (2003) A comparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids. *Plant and Soil*. 25: 157-167.
39. Whitfield DM, Cornner DJ and Hall AJ (1989) Carbon dioxide balance of sunflower subjected to water stress during grain filling. *Field Crops Research*. 20: 65-81.
40. Yegappan T, Paton MD, Gates CT and Muller W (1996) Water stress in sunflower (responses of cyptla size). *Annals of Botany*. 49: 63-68.
41. Zajac T, Grzesiak S, Kulig B and Poláček M (2005) The estimation of productivity and yield of linseed (*Linum usitatissimum* L.) using the growth analysis. *Acta Physiologia Plantarum*. 27: 549-558.