اثر قارچ میکوریزای آربوسکولار بر رشد، میزان کلونیزاسیون ریشه و جذب فسفر بزرک (*Linum ussitatissimum* L.) تحت سطوح مختلف کم‌آبی

علی تدین[۱] *و مریم سلطانیان[۲]

[۱] گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد و [۲] دانشجوی سابق کارشناسی ارشد رشته اگرواکولوژی، دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۸/۰۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹٤/۰۲/۲۳)

چکیده:

یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان زراعی مناطق خشک و نیمه خشک، کمبود آب است. قارچ‌های میکوریزایی یکی از مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های محیط ریشه محسوب می‌شوند. اثرات این قارچ‌ها از طریق ایجاد تغییرات روی برخی از خصوصیات ریشه و جذب عناصر غذایی در گیاهان میزبان در شرایط تنش خشکی اعمال می‌شود. به منظور بررسی تأثیر قارچ میکوریزای آربوسکولار در شرایط تنش خشکی بر روی بزرک آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۲ انجام شد. تنش خشکی در چهار سطح آبیاری: ۱۰۰ (بدون تنش)، ۷۵ (تنش ملایم)، ۵۰ (تنش متوسط) و ۲۵ (تنش شدید) درصد نیاز آبی گیاه، به عنوان فاکتور اصلی و تلقیح بذر گیاه بزرک با دو گونه میکوریزا شامل *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae* و یک تیمار بدون تلقیح میکوریزا به عنوان فاکتور فرعی، منظور گردید. نتایج آزمایش نشان داد که اثر تلقیح میکوریزا و تنش خشکی بر تمام صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود. اثر متقابل میکوریزا و تنش خشکی، به غیر از طول ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی و جذب فسفر، بر سایر صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. تنش خشکی باعث کاهش صفات مورد بررسی شد، ولی نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی را افزایش داد. میکوریزا باعث افزایش صفات مورد بررسی گردید. نتایج نشان داد که بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه بزرک (۳۲/۸۲ درصد) در تیمار بدون تنش خشکی و تلقیح با گونه *G. intraradices* و کم‌ترین میزان (۸/٦۸ درصد) در تیمار تنش شدید و شاهد بدون تلقیح مشاهده گردید. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش هم‌زیستی بزرک با قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار توانست موجب افزایش صفات مورد بررسی در شرایط تنش خشکی گردد.

کلمات کلیدی: تلقیح، جذب عناصر غذایی، خشکی و هم‌زیستی میکوریزایی.

مقدمه:

خشکی به عنوان مهم‌ترین عامل محدود کننده غیر زنده رشد، اثر نامطلوبی بر رشد و تولید گیاهان زراعی می‌گذارد (Cheong *et al*., 2003). استفاده از منابع بیولوژیک در کشاورزی، دارای قدمت بسیار زیادی است و در گذشته نه چندان دور، تمام مواد غذایی مورد مصرف انسان با استفاده از چنین منابع ارزشمندی تولید می‌شدند. میکوریزا یکی از مجموعه عوامل بیولوژیک است که بخش مهمی از موجودات خاکزی را شامل می‌شود (Barea *et al*., 2005).

قارچ‌های میکوریزا قادر هستند که اثرات نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان تعدیل نمایند (Auge, 2001). مطالعات نشان می دهند که قارچ‌های میکوریزا به رشد گیاهان تحت شرایط تنش

*نویسنده مسئول، نشانی پست الکترونیکی: tadayyon.sku@gmail.com

Archive of SID

www.SID.ir

خشکی به وسیله کاهش تنش و افزایش جذب عناصر غذایی کمک می‌کنند (Ruiz-Lozano and Azcon, 1996). بهبود تولید در گیاهان میکوریزی تحت شرایط تنش خشکی را به غلظت بیشتر عناصر غذایی غیر متحرک مانند فسفر، روی و مس نسبت می‌دهند (Ghazi and John Zak,2003). به‌علاوه تحمل گیاهان به خشکی را از طریق بهبود جذب آب و پتانسیل آماس برگ، کنترل منافذ روزنه‌ای و تعرق، افزایش طول و عمق ریشه و توسعه هیف‌های انتهایی افزایش می‌دهد (Vamerali *et al.*, 2003; Ghazi and John Zac, 2003). در آزمایش Vamerali و همکاران (۲۰۰۳) بیان شد که 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 هم‌چنین افزایش فتوسنتز گیاه که منجر به ساخته شدن مواد فتوسنتزی بیشتری می‌شود، بود. تنش آبی باعث کاهش طول و قطر ساقه، سطح برگ، وزن خشک گیاه و نسبت وزن ساقه به ریشه در گیاه کلزا گردید (Sangtarash *et al.*, 2009). تلقیح میکوریزایی باعث افزایش رشد ریشه و برگ و همچنین باعث افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی تحت شرایط تنش خشکی و کمبود فسفر در بادام زمینی شد (Quilambo, 2000).

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 به ویژه اسید آلفا لینولنیک (ALA یا LNA) یعنی اسید چرب امگا ۳ و اسید لینولئیک (LA) یعنی اسید چرب امگا ٦ است. اسید لینولنیک ۵۷ درصد کل اسید چرب کتان را تشکیل می دهد (Morris, 2005). این اسید چرب برای رشد و نمو ضروری بوده و باعث پیشگیری و بهبود بیماری‌های قلبی، ورم مفاصل، التهاب، بیماری‌های دستگاه ایمنی و سرطان می‌گردد (Simopoulos, 1999). میزان اسیدهای چرب غیراشباع امگا ۳ در روغن کتان در حجم مساوی دو برابر روغن موجود در ماهی است (Raney and Diederichsen, 2002). همچنین به لحاظ ارزش غذایی و دارویی، دانه بزرگ به صورت آرد یا خرد شده در تهیه نان، کیک و دیگر فراورده‌های غذایی استفاده می‌شود (Bhatty, 1995).

هم‌زیستی قارچ‌های میکوریزایی با گیاه بزرگ و تأثیر آن در شرایط تنش خشکی هنوز در کشور ایران مورد بررسی و مطالعه قرار نگرفته است، لذا هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی اثر قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار شامل *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae* بر برخی صفات بزرگ در شرایط تنش خشکی بود.

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 ۲۰٦۱ متر از سطح دریا به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح آبیاری: ۱۰۰ (بدون تنش)، ۷۵ (تنش ملایم)، ۵۰ (تنش متوسط) و ۲۵ (تنش شدید) درصد نیاز آبی گیاه، به عنوان عامل اصلی و تلقیح با میکوریزا در سه سطح شامل تلقیح با *Glomus intraradices* و تلقیح با *Glomus mosseae* و عدم تلقیح، به عنوان عامل فرعی، بود.

به منظور بررسی خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه، قبل از کاشت و شروع آزمایش از پنج قسمت از خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری به عمل آمد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک در آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی شهرکرد اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

عملیات آماده‌سازی زمین برای اجرای آزمایش در اواسط اردیبهشت ماه ۱۳۹۲ آغاز گردید. برای این منظور با گاوآهن برگردان‌دار و زدن دو دیسک عمود بر هم، عملیات خاک‌ورزی زمین انجام شد. قبل از اجرای عملیات دیسک‌زدن، کودهای شیمیایی مورد نیاز را به زمین افزوده و با استفاده از دیسک در خاک مخلوط شد. مطابق تجزیه خاک، کود نیتروژنه مورد نیاز در کرت‌های آزمایش با میانگین ۱۱۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار در نظر گرفته شد. یک سوم کود نیتروژنه به صورت پیش کاشت بر اساس مساحت کرت‌ها اضافه شد. یک سوم

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر مزرعه قبل از کاشت

pH -	EC $dS.m^{-1}$	O.C %	P ava. $mg.kg^{-1}$	K ava. $mg.kg^{-1}$	N %	Zn $mg.kg^{-1}$	Mn $mg.kg^{-1}$	Fe $mg.kg^{-1}$	Cu $mg.kg^{-1}$
۷/۹۳	۰/٤٥۲	۰/٥۸٥	۱۰/۳	۳۰۳	۰/۰٤٦	۰/٦۷	۷/۹۱	٤/۸٦	۰/۹۱

دیگر کود اوره در مرحله به ساقه رفتن و یک سوم آخری در مرحله قبل از گل‌دهی همراه با آب آبیاری به کرت‌ها اضافه شد.

ابعاد هر کرت آزمایشی ۲×۳ متر بود. به منظور جلوگیری خطا، فاصله بین کرت ها یک متر و بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. کشت به صورت ردیفی روی زمین صاف به فاصله ردیف ۱۵ سانتی‌متر و فاصله سه سانتی‌متر روی ردیف انجام شد. عمق کاشت به طور متوسط ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذر بزرک ایرانی از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد.

جهت تلقیح خاک از مایه تلقیح قارچ (*G .intraradices* و *G. mosseae*) استفاده گردید. 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 ریشه‌های آلوده به عنوان تلقیح کننده (حاوی ریشه‌های گیاهان میکوریزی شده و ریسه‌های قارچ میکوریزا ۲۰ تا ۵۰ متر در هر گرم خاک) می‌باشد. برای کلونیزاسیون بهتر گیاه، در تیمارهای میکوریزایی، پس از ایجاد ردیف‌ها، به ازای هر متر مربع، حداقل ۱۰۰ گرم قارچ میکوریزا، مورد استفاده قرار گرفت و لایه‌ای خاک به عمق ۵ سانتی‌متر روی آن ریخته و سپس بذرها در عمق سه سانتی‌متری 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 شد. پس از سبز شدن بذور، جهت تنظیم فاصله بوته‌ها روی خطوط کشت و رسیدن به تراکم مطلوب ۳۰۰ بوته در مترمربع (تدین و همکاران، ۱۳۹۲) در زمان پنج برگی عملیات تنک انجام شد. کنترل علف‌های هرز بدون استفاده از علف کش‌ها و به صورت وجین دستی در طی آزمایش انجام شد. تیمارهای خشکی پس از استقرار گیاه در اوایل مرحله رویشی، اعمال شد.

برای به‌دست آوردن دور آبیاری، نیاز آبی گیاه با استفاده از نرم افزار CROPWAT (که براساس منطقه مورد مطالعه، نیاز آبی گیاه را در ماه‌های مختلف برآورد می‌کند) محاسبه شد و با استفاده از روابط زیر، دور آبیاری مشخص گردید:

$$TAW= \rho_b \times D_r (\Theta_{FC}-\Theta_{PWP}) \quad (۱)$$

$$RAW=f \times TAW \quad (۲)$$

$$N=(RAW/ETc) \quad (۳)$$

که در این روابط N تعداد دور آبیاری، TAW کل آب قابل استفاده، Θ_{FC} درصد جرمی رطوبت در ظرفیت زراعی و Θ_{PWP} درصد جرمی رطوبت در نقطه پژمردگی، RAW آب سهل-الوصول، ET_c نیاز آبی گیاه، D_r عمق توسعه ریشه، ρ_b جرم مخصوص ظاهری و f ضریب تخلیه مجاز می‌باشد (علیزاده،۱۳۸۷). 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 سانتی‌مترمکعب) می‌باشد که در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. دور آبیاری با استفاده نرم افزار تقریباً ۵، ۷، ۹ و ۱٤ روز به ترتیب در تیمارهای تنش خشکی بود.

برای تعیین میزان کلونیزاسیون قارچ میکوریزا با ریشه گیاه از روش Giovannetti و Mosse (۱۹۸۰) استفاده گردید. براساس این روش، ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده در سطح پتری دیش‌هایی که دارای شبکه مربعی هستند، پخش گردید و زیر بینوکولار مشاهده شدند و تعداد تقاطع‌های آن‌ها با خطوط عمودی و افقی تعیین شد. از بین این برخوردها آن‌هایی که با بخش کلونیزه شده ریشه تقاطع داشتند نیز به طور جداگانه شمارش شدند و به صورت کسری از کل تقاطعات به دست آمدند. چنانچه این کسر در ۱۰۰ ضرب شود، میزان کلونیزاسیون ریشه به صورت درصد به دست می‌آید (رابطه ٤).

(٤):

$$\text{میزان کلونیزاسیون ریشه} = \frac{\text{تعداد تقاطع‌های ریشه } AM^{+} \text{ با شبکه}}{\text{تعداد کل تقاطع‌های بین ریشه و شبکه}} \times ۱۰۰$$

Archive of SID

www.SID.ir

AM^{+}: تعداد قطعات ریشه دارای وزیکول‌های قارچ میکوریزا.

جهت تعیین طول کل ریشه و طول ریشه کلونیزه شده از روش تقاطع شبکه‌ای استفاده شد. پس از شمارش تعداد تقاطع‌ها با خطوط عمودی و افقی شبکه مربعی و قرار دادن آن در روابط ۵ و ٦ طول ریشه و طول ریشه کلونیزه شده به دست می‌آید (Tennant, 1975).

$$RL= 11/14\times n\times d \qquad (۵)$$

در این رابطه RL طول ریشه بر حسب میلی‌متر، n تعداد برخورد ریشه‌ها با خطوط شبکه و d طول ضلع مربع‌ها در شبکه بر حسب میلی‌متر است.

$$RLC= 11/14\times n'\times d' \qquad (٦)$$

در این رابطه RLC طول ریشه کلونیزه شده بر حسب میلی‌متر، n' تعداد برخورد ریشه‌های کلونیزه شده با خطوط شبکه و d' طول ضلع مربع‌ها در شبکه بر حسب میلی‌متر است.

فسفر کل به روش کالریمتری با دستگاه اسپکتروفتومتر طول موج ٤٧٠ نانومتر، اندازه‌گیری شد (امامی، ۱۳۷۵). میزان جذب فسفر از حاصلضرب غلظت فسفر و ماده خشک محاسبه گردید.

داده‌های حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. میانگین‌های معنی‌دار شده اثرات متقابل با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و MSTATC با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج وبحث:

وزن خشک اندام هوایی: نتایج جدول آنالیز واریانس حاکی از آن است که اثرات اصلی تنش خشکی و میکوریزا و همچنین اثر متقابل این دو عامل بر وزن خشک اندام هوایی گیاه بزرگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). لذا وزن خشک بزرگ در تنش‌های مختلف خشکی بستگی به کاربرد نوع قارچ میکوریزا دارد. مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیش‌ترین مقدار ماده خشک اندام هوائی در اثر متقابل بین تیمار بدون تنش خشکی و تلقیح با قارچ *G.intraradices* و کم‌ترین مقدار آن در اثر متقابل بین تیمار تنش شدید خشکی و شاهد بدون قارچ مشاهده گردید. در تیمار تنش رطوبتی ملایم و متوسط نیز بالاترین عکس‌العمل ماده خشک گیاه مربوط به قارچ *G. intraradices* و کم‌ترین آن در تیمار شاهد بدون قارچ بود (جدول ۳).

بر اساس نتایج Subramanian و همکاران (۲۰۰٦)، قارچ *G. intraradices* باعث افزایش معنی‌داری در وزن خشک اندام هوایی گوجه فرنگی، در شرایط تنش خشکی شد.

مطالعه انجام شده توسط نادیان (۱۳۹۰) نشان داد که افزایش وزن ماده خشک سورگوم تلقیح شده با قارچ میکوریزا در مقایسه با وزن ماده خشک سورگوم تلقیح نشده تحت تنش خشکی می‌تواند به دلیل افزایش پتانسیل آب برگ و یا افزایش میزان مصرف دی‌اکسیدکربن باشد. در واقع، وجود شبکه گسترده هیف‌های خارجی قارچ میکوریزا به عنوان ادامه سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان قادر است آب را از منافذ بسیار ریز و دور از دسترس گیاه جذب و به گیاه منتقل نماید.

وزن خشک ریشه: بر اساس جدول آنالیز واریانس، وزن خشک ریشه گیاه بزرگ در تیمار تنش خشکی و میکوریزا و همچنین اثر متقابل این دو در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). لذا وزن خشک ریشه در تنش‌های مختلف خشکی به نوع قارچ همزیست شده دارد. مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه در اثر متقابل بین تیمار بدون تنش خشکی و تلقیح با قارچ *G. intraradices* مشاهده گردید. در این تیمار دو گونه قارچ میکوریزا با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. همچنین کم‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به اثر متقابل بین تیمار تنش خشکی شدید و شاهد بدون قارچ دیده شد (جدول ۳).

نتایج این آزمایش با نتایج Quilambo (۲۰۰۰) در بادام زمینی، ساجدی و ساجدی (۱۳۸۸) در ذرت، مطابقت دارد. قارچ‌های میکوریزایی با تولید هورمون‌های گیاهی و افزایش فعالیت آنزیم‌ها می‌توانند رشد گیاه و رشد ریشه را تشدید کنند، در نتیجه ظرفیت جذب عناصرغذایی را بالا برده و شانس گیاه را در اجتناب از خشکی افزایش دهند (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۲).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات بررسی شده بزرک در تیمارهای مختلف تنش خشکی و میکوریزا

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی	درصد کلونیزاسیون	طول ریشه	طول ریشه کلونیزه شده	جذب فسفر
بلوک	۲	۰/۰۶ ns	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۴۴ ns	۲۴/۶۰ **	۲۱۳۳/۷۰ *	۴۱۱/۹۹ **	۰/۰۰۱ ns
تنش خشکی	۳	۶/۳۴ **	۰/۷۴۲ **	۰/۰۵۱۰ **	۲۱۴/۷۳ **	۱۱۵۲۸/۸۱ **	۳۹۷۶/۱۷ **	۰/۱۸۳ *
خطای a	۶	۰/۰۲ ns	۰/۰۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۴۶ ns	۱/۲۷ ns	۴۷/۸۷ ns	۱/۵۷ ns	۰/۰۶۰
میکوریزا	۲	۰/۸۳ **	۰/۲۳۰ **	۰/۰۱۰ *	۷۶۳/۰۵ **	۷۱۰۷۵/۹۲ **	۱۳۹۵۵/۰۴ **	۰/۰۸۴ **
تنش خشکی × میکوریزا	۶	۰/۱۰ **	۰/۰۰۳ **	۰/۰۰۵۳ ns	۲۰/۸۸ **	۱۱۱/۳۲ ns	۴۴۶/۵۸ **	۰/۰۰۳ ns
خطا b	۱۶	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲۱	۰/۶۵	۱۸۷/۹۹	۵/۱۴	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات (٪)	-	۶/۵۵	۱/۲۰	۹/۴	۴/۰	۵/۲	۳/۸۰	۵/۳

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح تنش خشکی و میکوریزا در برخی صفات گیاه بزرک.

تنش خشکی	میکوریزا	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	کلونیزاسیون ریشه (درصد)	طول ریشه کلونیزه شده (میلی‌متر در بوته)
بدون تنش (معادل نیاز آبی گیاه)	شاهد (بدون تلقیح)	۲/۴۸ bc	۰/۹۹۳۳ c	۱۲/۹۴ g	۲۷/۵۰ i
	G. intraradices	۲/۸۱ a	۱/۱۷۶۶ a	۳۲/۸۲ a	۱۱۳/۹۲ a
	G. mosseae	۲/۶۵ ab	۱/۱۶۳۳ a	۳۱/۵۲ a	۱۰۷/۳۸ b
تنش ملایم (۷۵ درصد نیاز آبی گیاه)	شاهد	۱/۶۴ d	۰/۷۱۲۶ e	۱۲/۵۷ gh	۲۴/۸۸ i
	G. intraradices	۲/۶۱ b	۱/۰۴۳۳ b	۲۸/۶۸ b	۹۴/۲۸ c
	G. mosseae	۲/۳۳ c	۱/۰۰۶۶ c	۲۶/۹۹ c	۸۷/۷۴ d
تنش متوسط (۵۰ درصد نیاز آبی گیاه)	شاهد	۱/۰۷ f	۰/۵۲۶۶ f	۱۱/۲۰ h	۱۸/۳۳ j
	G. intraradices	۱/۴۶ de	۰/۷۷۰۰ d	۲۳/۷۱ d	۷۳/۳۳ e
	G. mosseae	۱/۴۴ e	۰/۷۵۶۶ d	۲۲/۳۷ d	۶۸/۱۰ f
تنش شدید (۲۵ درصد نیاز آبی گیاه)	شاهد	۰/۶ g	۰/۲۹۶۶ g	۸/۶۸ i	۱۱/۷۸ k
	G. intraradices	۰/۹۸ f	۰/۵۲۶۶ f	۱۸/۴۲ e	۴۹/۷۶ g
	G. mosseae	۰/۷۸ fg	۰/۵۲۵۳ f	۱۶/۱۸ f	۴۰/۶۰ h

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال آماری ۵ درصد است (LSD).

کمبود آب در هر مرحله از رشد گیاه، جذب، انتقال و مصرف عناصر غذایی را کاهش می‌دهد که پیامد آن کم شدن ذخیره کربن و کاهش ماده خشک می‌باشد (Hu and Schmidhalter, 2005). میکوریزا با افزایش جذب آب و مواد غذایی و به دنبال آن فتوسنتز برگ، اختصاص کربن به ریشه در افزایش وزن خشک ریشه مؤثر می‌باشد.

نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد و تلقیح با قارچ میکوریزا در سطح ۵ درصد اثر معنی‌داری بر نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام های هوایی داشتند در حالی که اثر بر همکنش آن‌ها بر نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام‌های هوایی معنی‌دار نبود

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤- مقایسه میانگین صفات گیاهی بزرک در شرایط تنش خشکی و قارچ‌های میکوریزا

تیمارها	نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی	طول ریشه (میلی‌متر/ واحد گیاه)	جذب فسفر (گرم در مترمربع)
تنش خشکی			
بدون تنش (معادل نیاز آبی گیاه)	۰/٤۲^{b}	۲۹۹/۸۸^{a}	۱/۰۲^{a}
تنش ملایم (۷۵ درصد نیاز آبی گیاه)	۰/٤۳^{b}	۲۸۳/۷۳^{b}	۰/۹۰^{ab}
تنش متوسط (۵۰ درصد نیاز آبی گیاه)	۰/۵۲^{a}	۲۵۷/۹۸^{c}	۰/۸۷^{ab}
تنش شدید (۲۵ درصد نیاز آبی گیاه)	۰/۵۷^{a}	۲۱۷/۸۲^{d}	۰/٦۷^{b}
میکوریزا			
بدون تلقیح	۰/٤٦٤^{b}	۱۷٦/۱۳^{b}	۰/۷۷^{b}
G. intraradices	۰/٤۷۳^{b}	۳۱۳/٦۳^{a}	۰/۹۳^{a}
G. mosseae	۰/۵۱۸^{a}	۳۰٤/۷۹^{a}	۰/۸٦^{a}

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال آماری ۵ درصد است (LSD).

(جدول ۲). مقایسه میانگین این صفت در سطوح مختلف تنش خشکی بیانگر آن است که نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام‌های هوایی در تیمار تنش شدید خشکی، ۳۵/۷ درصد، نسبت به شرایط بدون تنش خشکی افزایش یافت. تیمار بدون تنش خشکی و تیمار تنش ملایم اختلاف معنی-داری با هم نداشتند (جدول ٤). به نظر می‌رسد که گیاه بزرک در شرایط تنش خشکی، از سازوکار افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی استفاده کرده است.

بررسی Hashemi Dezfuli (۱۹۹٤) در گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ نشان داد که وزن خشک ریشه و کل ساقه به تدریج با کاهش پتانسیل آب خاک (افزایش تنش خشکی) کاهش پیدا کرد و نسبت ریشه به ساقه افزایش یافت و مشخص شد که ریشه نسبت به تنش آبی حساسیت کم‌تری نسبت به ساقه دارد. تنش خشکی رشد و روابط هم‌زیستی ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Gregory, 2006)، به طوری که اندام‌های هوایی حساسیت بیشتری به تنش خشکی دارند و محدودیت نموی گیاه در اثر کمبود رطوبت خاک در قسمت‌های هوایی زودتر اتفاق می‌افتد.

در شرایط تنش خشکی محدودیت‌های تغذیه‌ای از طریق کاهش جذب فسفر، پتاسیم، نیترات و کلسیم ایجاد می‌شود، در نتیجه رشد و سرعت توسعه ریشه کاهش یافته و به تبع آن تولید اندام هوایی کم‌تر و انرژی موجوداز طریق فتوسنتز کاهش می یابد (Gregory, 2006). در شرایط تنش و وضعیت نامناسب آماس سلولی، اختصاص موادغذایی به ریشه نسبت به ساقه افزایش یافته و گیاه قادر نخواهد بود کربوهیدرات مورد نیاز برای ادامه رشد را فراهم کند، به طوری که در این مطالعه نیز با تنش رطوبت شیب کاهش وزن خشک اندام هوایی نسبت به وزن خشک ریشه شدیدتر بود.

مقایسه میانگین سطوح مختلف تلقیح با قارچ میکوریزا نشان داد که نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام‌های هوایی در گیاه تلقیح شده با *G. mosseae*، ۱۱/٦۳ درصد بیشتر از گیاه بدون تلقیح بود. (جدول ٤).

در آزمایش عظیمی و همکاران (۱۳۹۲) در آویشن باغی نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی گیاه آویشن بین تیمار میکوریزا *G. mosseae* و شاهد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما تیمار *G. intraradices* به طور معنی‌داری موجب افزایش نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی شد. این محققین این‌طور بیان کردند که در نتیجه افزایش وزن خشک اندام هوایی در هم‌زیستی میکوریزا با آویشن باغی باعث کاهش نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی شده است و هم‌زیستی

Archive of SID

www.SID.ir

گیاه آویشن با قارچ میکوریزا *G. mosseae* سبب شده است تا سرمایه‌گذاری گیاه آویشن در افزایش زیست‌توده اندام زیرزمینی (ریشه) کم‌تر از زیست‌توده اندام هوایی باشد و میکوریزای *G. mosseae* بیشترین تأثیر را بر روی تحریک کردن و افزایش رشد گیاه آویشن باغی داشته باشد.

میزان کلونیزاسیون ریشه با قارچ میکوریزا آربوسکولار: اثر سطوح تنش خشکی و میکوریزا و همچنین اثر متقابل این دو عامل بر درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با مقایسه میانگین اثرات متقابل، بیشترین میزان کلونیزاسیون ریشه (۳۲/۸۲ درصد) در اثر متقابل بین تیمار بدون تنش خشکی و تلقیح با گونه *G. intraradices* و کم‌ترین میزان (۸/٦۸ درصد) در اثر متقابل بین تیمار تنش شدید و شاهد بدون تلقیح مشاهده گردید. نتایج این آزمایش با نتایج آزمایش ساجدی و ساجدی (۱۳۸۸) و ساجدی و رجالی (۱۳۹۰) در ذرت مطابقت دارد.

کاهش معنی‌دار درصد کلونیزاسیون با افزایش سطح تنش، احتمالاً به علت کاهش در تندش و رشد هیف می‌باشد. مرحله مهم‌تر پس از تندش اسپور، رشد هیف حاصل از تندش است که نقش اساسی در کلونیزاسیون ریشه ایفا می‌کند. به ظاهر رشد هیف بیشتر از تندش اسپور تحت تأثیر پتانسیل اسمزی قرار می‌گیرد (علی‌اصغرزاده، ۱۳۸۹).

بر خلاف نتایج این پژوهش در آزمایش شاه‌حسینی و همکاران (۱۳۹۲) در گیاه ذرت، بیشترین میزان کلونیزاسیون ریشه در شرایط ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و هم‌زیستی با گونه *G. mosseae* به میزان ۸۲/٦۷ درصد و کم‌ترین میزان کلونیزاسیون ریشه به میزان به میزان ٤۸ درصد در شرایط ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و هم‌زیستی با *G. intraradices* به دست آمد. در نتیجه در شرایط تنش شدید درصد کلونیزاسیون ریشه ذرت بیشتر بود که این امر منجر به افزایش رشد و افزایش کارآیی مصرف آب در این شرایط شد. همچنین نتایج به دست آمده از آزمایش علی‌آبادی فراهانی و ولدآبادی (۱۳۸۹) در گشنیز نشان داد که تنش خشکی سبب افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه گردید.

طول ریشه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح تنش خشکی و تلقیح با قارچ میکوریزا اثر معنی‌داری بر طول ریشه در سطح ۱ درصد آماری داشتند در حالی که اثر بر همکنش آن‌ها بر وزن تر اندام هوایی معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین طول ریشه در سطوح مختلف خشکی کاهش ۲۷/٤، ۱٤ و ٥/٤ درصدی طول ریشه به ترتیب در تیمارهای تنش شدید، متوسط و ملایم طول نسبت به شرایط بدون تنش خشکی را نشان داد (جدول ٤).

کاهش رشد ریشه (مجموع طول ریشه و یا وزن ماده خشک ریشه) تحت تأثیر تنش خشکی می‌تواند به دلیل کاهش هدایت هیدرولیکی گیاه (Ladjal *et al.*, 2005) و یا افزایش مقاومت مکانیکی خاک باشد (Whitmore and Whalley, 2009). چنانچه فشار ریشه‌ای گیاه کم‌تر از مقاومت مکانیکی خاک باشد، رشد ریشه کاهش می‌یابد (Whitmore and Whalley, 2009). با افزایش شدت تنش خشکی طول ریشه در گیاه دارویی آویشن (بابایی و همکاران، ۱۳۸۹) کاهش یافت. نادیان (۱۳۹۰) گزارش کرد که با افزایش تنش خشکی مجموع طول ریشه سورگوم کاهش معنی‌دار پیدا نمود و بخشی از کاهش طول ریشه سورگوم تحت تأثیر تنش خشکی در این مطالعه را به دلیل افزایش مقاومت مکانیکی خاک دانست. در حالی که در آزمایش علی‌آبادی فراهانی و و ولدآبادی (۱۳۸۹) در گیاه دارویی گشنیز تنش خشکی باعث افزایش طول ریشه گردید.

مقایسه میانگین سطوح مختلف تلقیح با قارچ میکوریزا نشان داد که تلقیح با قارچ *G. intraradices* باعث افزایش طول ریشه نسبت به تیمار شاهد بدون تلقیح شد. گیاه تلقیح شده با میکوریزا *G. intraradices* ۷۸ درصد طول ریشه را نسبت به گیاه بدون تلقیح افزایش داد. تیمار تلقیح با قارچ *G. intraradices* و تیمار تلقیح با قارچ *G. mosseae* از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ٤)

نتایج آزمایش انصوری و همکاران (۱۳۹۲) در ذرت نشان داد که میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار طول ریشه نسبت به شاهد شد و بین گونه‌های مختلف قارچ (*G. intraradices* و *G. mosseae*) از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

Archive of SID

www.SID.ir

در آزمایش علی‌آبادی فراهانی و و ولدآبادی (۱۳۸۹) در گیاه دارویی گشنیز طول ریشه گیاه تلقیح شده با قارچ نسبت به گیاه بدون تلقیح بیشتر بود.

در آزمایش نادیان (۱۳۹۰) در تمام سطوح تنش خشکی، مجموع طول ریشه سورگوم تلقیح شده با قارچ میکوریزا از مجموع طول ریشه سورگوم غیرمیکوریزایی بیشتر بود. ولی Taylor و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی اثر هم‌زیستی میکوریزایی بر آناتومی ریشه گوجه‌فرنگی، نشان دادند که طول سیستم ریشه‌ای گوجه‌فرنگی در حضور میکوریزا کاهش یافت، رقابت بین قارچ و ریشه برای دریافت مواد فتوسنتزی اصلی‌ترین پاسخ گیاه به کاهش سیستم ریشه می‌باشد.

مطالعه Marulanda و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد که گیاهان دارای هم‌زیستی میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی آب را از خاک سریع‌تر و کامل‌تر تخلیه می‌کنند و باعث می‌شوند که پتانسیل آب خاک کاهش بیشتری پیدا کرده، سطح برگ‌ها افزایش یابد که این خود باعث افزایش نیاز تعرق گیاهان میکوریزایی می‌شود. از طرف دیگر سیستم ریشه‌ای در گیاهان میکوریزایی توسعه بیشتری یافته و بیشتر از ریشه گیاهان غیر میکوریزایی منشعب شده و قطر ریشه‌های فرعی در آن‌ها کاهش و طول ریشه افزایش یافته است. همه این عوامل باعث میشود که ریشه میکوریزایی سطح تماس بیشتری با خاک پیدا کرده و بدین صورت سریع‌تر آب را از خاک جذب نماید.

قارچ‌های میکوریزا از طریق گسترش شبکه هیفی خارج ریشه‌ای موجب افزایش جذب و انتقال مواد غذایی به ریشه می‌شوند. سیستم ریشه‌ای گیاه در نتیجه میکوریزایی شدن تغییراتی حاصل می‌کند (Khan, 2005)، به طوری‌که در ریشه‌های گیاهان میکوریزایی طول ریشه بیشتر و انشعابات آن وسیع‌تر می‌شود. بنابراین می‌تواند در جذب عناصر غذایی کارایی بیشتری داشته باشد (Azcon *et al.*, 1979). همچنین افزایش در رشد ریشه و تعداد انشعابات می‌تواند به دلیل تغییر نسبت‌های هورمونی در ریشه باشد. با توجه به این‌که قارچ‌های میکوریزی قادر به تولید هورمون‌هایی مانند اکسین و سیتوکنین هستند و یا ریشه را برای تولید بیشتر این هورمون‌ها تحریک می‌نمایند، به نظر می‌رسد که تأثیر میکوریزا از طریق هورمون‌ها و بر روی افزایش طول و انشعابات ریشه از سازوکارهای مهم در افزایش جذب عناصر باشد (Marschner, 1995).

طول ریشه کلونیزه شده: بر اساس جدول ۲ کلیه عوامل آزمایشی و اثر متقابل آن در سطح احتمال ۱ درصد بر طول ریشه کلونیزه شده معنی‌دار بود. با مقایسه میانگین اثرات متقابل، تیمار بدون تنش خشکی و گونه *G. intraradices* با ۱۱۳/۹۲ میلی‌متر، بیشترین و تیمار تنش شدید و شاهد بدون تلقیح با ۱۱/۷۸ میلی‌متر، کم‌ترین طول ریشه کلونیزه شده را به خود اختصاص دادند. در تمام تیمارهای خشکی گونه *G. intraradices* اختلاف معنی‌داری با گونه *G. mosseae* و تیمار بدون تلقیح داشت و بیشترین طول ریشه کلونیزه را داشت.

در شرایط تنش رطوبتی، هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌های گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزی است که این موضوع در اثر افزایش سطح ریشه و یا طول ریشه‌های میکوریزی می‌باشد (ساجدی و ساجدی، ۱۳۸۸). در آزمایش نادیان (۱۳۹۰) در هر دو رقم سورگوم، مجموع طول ریشه کلونی‌شده با افزایش تنش خشکی به دلیل کاهش زیست توده آن‌ها و درصد کلونیزاسیون ریشه کاهش پیدا نمود.

جذب فسفر اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح تنش خشکی در سطح احتمال ۵ درصد و تلقیح با قارچ میکوریزا در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌داری بر جذب فسفرگیاه بزرگ داشتند در حالی که اثر بر همکنش آن‌ها بر جذب فسفر معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین در سطوح مختلف تنش خشکی نشان داد که میزان جذب فسفر در تیمار تنش شدید خشکی، ۳٤/۳ درصد، نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یافت (جدول ٤). ساجدی و همکاران (۱۳۸۹) نیز بیان کردند که به علت تحرک کم عنصر فسفر، در شرایط تنش خشکی میزان جذب آن در ذرت به شدت کاهش یافت.

مقایسه میانگین سطوح مختلف تلقیح با قارچ میکوریزا نشان داد که گیاه تلقیح شده با قارچ *G. intraradices*، ۲۱ درصد جذب فسفر بیشتری نسبت به گیاه بدون تلقیح نشان داد. (جدول ٤). نتایج آزمایش ساجدی و همکاران (۱۳۸۹)

Archive of SID

www.SID.ir

نشان داد که کاربرد میکوریزا در ذرت میزان جذب فسفر را ۹ درصد نسبت به شاهد افزایش داد.

به نظر می‌رسد که میسیلیوم‌های قارچ با گسترش مناسب در خاک، میزان جذب عنصر فسفر را افزایش داده‌اند. دلایل این امر متفاوت است. بعضی شواهد بیان می‌کند که میسیلیوم-های گیاهان میکوریزایی از خود موادی ترشح می‌کنند که برای قابل حل کردن فسفر در خاک و جذب آن بسیار مؤثر است. افزایش سرعت جذب فسفر در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزایی از دلایل دیگر می‌باشد. به نظر می‌رسد که افزایش جذب عناصر غذایی عمدتاً به دلیل انتشار میسیلیوم‌های میکوریزایی مرتبط با بافت‌های درونی ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی به صورت مکمل سیستم ریشه‌ای گیاه باشد که بهره‌گیری از حجم بیشتری از خاک که ریشه‌های تغذیه کننده به آن دسترسی ندارد را ممکن می‌سازد (علیزاده و علیزاده، ۱۳۸٦).

نتیجه گیری کلی:

نتیجه این پژوهش بیانگر آن است که کاربرد میکوریزا در شرایط تنش خشکی در بهبود خصوصیات گیاه بزرک تأثیر مثبتی داشته است. کاربرد هر دو گونه قارچ تأثیر بیش‌تری نسبت به عدم کاربرد روی کلیه صفات اندازه‌گیری نشان داد. تأثیر کاربرد هر دو گونه قارچ *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae* یکسان بود. نتایج این پژوهش بیانگر امکان استفاده از این قارچ در مناطق خشک و نیمه خشک بوده که مطالعات بیشتر در این زمینه می‌تواند امکان استفاده عملی و گسترده آن‌را فراهم نماید.

منابع:

امامی، ع. (۱۳۷۵) روش‌های تجزیه گیاه. نشریه فنی شماره ۹۸۲، انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.

انصوری، ا.، غلامی، ا.، چائی‌چی، م.ر.، شه‌قلی، ح. و اسدی، ص. (۱۳۹۲) برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس بر کلونیزاسیون دو گونه قارچ میکوریزا و رشد ذرت (Zea mays L.) در شرایط گلخانه. مجله علوم گیاهان زراعی ایران ۳: ۵۰۵-۴۹۵

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.). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲: ۲۵۱-۲۳۹.

تدین، ع.، ترابیان، ش. و تدین، م.ر. (۱۳۹۲) اثر تراکم بوته بر عملکرد و کیفیت چهار رقم تجاری بزرک خوراکی. مجله به‌زراعی کشاورزی ۱۵(۱): ۲٦-۱۵.

ساجدی، ن.ع. و رجالی، ف. (۱۳۹۰) تأثیر تنش خشکی، کاربرد روی و تلقیح میکوریز بر جذب عناصر کم مصرف در ذرت. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) ۲: ۹۲-۸۳.

ساجدی، ن.ع. و ساجدی، ع. (۱۳۸۸) اثر تنش خشکی، میکوریزا و مقادیر روی بر خصوصیات اگروفیزیولوژیک ذرت رقم سینگل کراس ۷۰٤. مجله علوم زراعی ایران ۳: ۲۲۲-۲۰۱.

ساجدی، ن.ع.، اردکانی، م.ر.، ساجدی، ع. و بهرامی، ع.ح. (۱۳۸۹) جذب برخی عناصر غذایی تحت تأثیر میکوریزا، سطوح مختلف روی و تنس خشکی در ذرت. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۵: ۷۹۱-۷۸٤.

شاه حسینی، ز.، غلامی، ا. و اصغری، ح.ر. (۱۳۹۲). بررسی تأثیر هم‌زیستی میکوریزایی بر کاهش اثرات تنش کم‌آبی، شاخص‌های رشد و عملکرد ذرت (*Zea mays* L.). مجله علوم گیاهان زراعی ایران ۲: ۲٦۰-۲٤۹.

عظیمی، ر.، جنگجو، م. و اصغری، ح.ر. (۱۳۹۲) تأثیر تلقیح قارچ میکوریزا بر استقرار اولیه و خصوصیات مورفولوژیک گیاه دارویی آویشن باغی در شرایط

Archive of SID

www.SID.ir

عرصه طبیعی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ٤: ٦٦٦-٦٧٦.

علی‌آبادی فراهانی، ح. و ولدآبادی، س.ع.ر. (۱۳۸۹) نقش قارچ میکوریز آربسکولار بر گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) در شرایط تنش خشکی. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) ۱: ۸۰-۶۹.

علیزاده، ا. (۱۳۸۷) رابطه آب و خاک وگیاه. انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

علیزاده، ا. و علیزاده، ا. (۱۳۸٦) اثرات میکوریزا در شرایط متفاوت رطوبت خاک بر جذب عناصر غذایی در ذرت. مجله پژوهش در علوم کشاورزی ۱: ۱۰۸-۱۰۱.

علی اصغرزاده، ن. (۱۳۸۹) میکروبیولوژی و بیوشیمی خاک. انتشارات دانشگاه تبریز.

نادیان، ح. (۱۳۹۰) اثر تنش خشکی و هم‌زیستی میکوریزا بر رشد و جذب فسفر توسط دو رقم سورگوم متفاوت در ریخت‌شناسی ریشه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۵۷: ۱٤۰-۱۲۷.

Auge, R. M. (2001) Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhiza symbiosis. Mycorrhiza 11: 3-42.

Azcon, G., Aguilar, C., Azcon, R. and Barea, J. M. (1979) Endomycorrhizal fungi and rhizobium as biological fertilizers for *Medicago sativa* in normal cuntivation. Nature 279: 325-2365.

Barea, J. M., Pozo, M. J., Azcon, R. and Azcon-Aguilar, C. (2005) Microbial cooperation in the rhizosphere. Journal of Experimental Botany 56: 1761-1778.

Bhatty, R. S. (1995) Nutrient composition of whole flaxseed and flaxseed meal. In: Flax Seed in Human Nutrition. (Eds. Cunnane S. C. and Thompson L. U.), Pp. 23-42. AOCS Press, Champaign, Illinnois.

Cheong, Y. H., Kim K. N., Pandey, G. K., Gupta, R., Grant, J. J. and Luan S. (2003) CLB1, a calcium sensor that differentially regulates salt, drought, and cold responses in Arabidopsis. The Plant Cell 15: 1833-1845.

Ghazi, A. K. and John Zak, B. M. (2003) Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. Mycorrhiza 14: 263-269.

Giovannetti, M. and Mosse, B. (1980) An evaluation of technique to measure vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytologist 84: 489-500.

Gregory, P. J (2006) Plant Roots (Growth, Activity and Interaction with Soils). Blackwell Publishing.

Hashemi Dezfuli, A. (1994) Growth and yield of safflower affected by drought stress. Crop Research Hisar 7: 313-319.

Hu, Y. and Schmidhalter, U. (2005) Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. Plant Nutrition 168: 541-549.

Khan, A. G. (2005) Mycorrhizas and phytoremediation. In: Willey N. (Ed.): Method in Biotechnology-Phytoremediation: Methods and Reviews. Totowa, USA: Humana Press.

Ladjal, M., Huc, R. and Ducrey, M. (2005) Drought effects on hydraulic conductivity and xylem vulnerability to embolism in diverse species and provenances of Mediterranean cedars. Tree Physiology 25: 1109-1117.

Marschner, H. (1995) Mineral nuyrition of higher plants. 2nd Edition, Academic Press, London, UK.

Marulanda, A., Azcon, R. and Ruiz-Lozano, J.M. (2003) Contribution of six arbuscular mycorrhizal fungi isolates to water uptake by *Lactuca sativa* plants under drought stress. Physiologia Plantarum 119: 525-533.

Morris, D.H. (2005) Flax-a health and nutrition primer. www.flaxCouncil.ca: 108 pp.

Quilambo, O. A. (2000) Functioning of peanut under nutrient deficiency and drought stress in relation to symbiotic associated. Ph.D thesis University of Groningen. The Netherlands.

Raney, J. P. 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.

Ruiz-Lozano, J.M. and Azcon, R. (1996) Mycorrhizal colonization and drought stress as factors affecting nitrate reductase activity in lettuce plants. Agriculture, Ecosystems and Environment 60: 175-181.

Sangtarash, M. H., Qaderi, M. M., Chinnappa, C. C. and Reid, D. M. (2009) Differential sensitivity of canola *(Brassica napus* L.*)* seedlings toultraviolet-B radiation, water stress and abscisicacid. Journal of Enviromental and Experimental Botany 66: 212-219.

Simopoulos, A. P. (1999) Essential fatty acids in health and choronic disease. American Journal of Clinical Nutrition 70:560-569.

Subramanian, K. S., Santhanakrishnan, P. and

Archive of SID

www.SID.ir

Balasubramanian, P. (2006) Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. Scientia Horticulturea 107(3): 245-253.

Taylor, J. F., Waltenbaugh, A. and Shields, M. (2008) Impact of vesicular arbuscular mycorrhiza on root anatomy *Zea mays* and Lycopersicon esculentum. African Journal of Agricultural Research 3: 1-6.

Tennant, D. (1975) Test of a modified line intersect method of estimating root length. Ecology 63: 999-1001.

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 25: 157- 167.

Whitmore, A. P. and Whalley, W. R. (2009) Physical effects of soil drying on roots and crop growth. Journal of Experimenal Botany 60: 2845-2857.

Archive of SID

www.SID.ir