

تأثیر همزیستی میکوریزایی بر رشد و میزان پرولین در تره فرنگی (*Allium porrum* L.) و دو

توده تره ایرانی (*Allium ampeloprasum* ssp. *persicum* L.) تحت تنش خشکی

نسترن قاسم جوکار^{۱*}، حبیب اله نادیان^۲، بیژن خلیل مقدم^۲، مختار حیدری^۴ و محمد حسین قرینه^۵

* نویسنده مسوول: دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

(nastaran_ghasemjokar@yahoo.com)

۳ و ۲- به ترتیب استاد و استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۴ و ۵- به ترتیب استادیار و دانشیار گروه باغبانی و گروه زراعت دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

تاریخ پذیرش: ۹۲/۴/۱

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۲

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های زیستی نظیر همزیستی میکوریزایی جهت مقابله با تنش خشکی مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس در یک آزمایش گلدانی در سال ۱۳۸۹ و در گلخانه دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان واکنش سه توده تره شامل تره فرنگی و دو توده تره ایرانی به سطوح خشکی و قارچ آربسکولار- میکوریزا مورد مقایسه قرار گرفت. این آزمایش با سه سطح رطوبتی خاک (آبیاری در زمانی که ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آب قابل استفاده گیاه در خاک تخلیه گردید)، دو سطح میکوریزا (وجود و عدم وجود قارچ *گلموس ایترا دیسی*) و سه توده تره (شادگان، اصفهان و کارنتان ۲) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا گردید. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش شاخص‌های رشد نظیر ارتفاع گیاه، وزن ماده خشک برگ و ریشه و طول ریشه گیاهان گردید. با این وجود، کلونیزاسیون میکوریزایی در تمام سطوح تنش خشکی باعث افزایش این شاخص‌ها گردید. طول ریشه کلونی‌شده و درصد کلونیزاسیون ریشه توسط تنش خشکی کاهش یافت، اما درصد پاسخ رشد میکوریزایی در شرایط تنش خشکی افزایش یافت. در بین توده‌ها، تره شادگان با داشتن ریشه‌های کم‌انشعاب و کوتاه به کلونیزاسیون میکوریزایی بیشتر از دو توده دیگر وابسته بود. با افزایش شدت تنش خشکی، میزان پرولین برگ افزایش یافت، ولی میزان پرولین در گیاهان میکوریزایی کمتر بود که می‌تواند به دلیل کاهش تنش توسط قارچ میکوریزا در گیاه باشد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تره شادگان با سیستم ریشه‌ای ضعیف‌تر در تمام سطوح تنش خشکی دارای وابستگی میکوریزایی بیشتری در مقایسه با دو توده دیگر بود.

کلید واژه‌ها: تره، تنش خشکی، میکوریزا، پرولین

فیزیولوژیکی (علی‌آبادی فراهانی و همکاران^۲، ۲۰۰۸؛

مسعودی صادقیانی و همکاران^۳، ۲۰۱۱) و آنزیمی گیاه

(نورانی آزاد و چوبینه، ۱۳۸۷) را تحت تأثیر قرار

می‌دهد. گیاهان دو ساز و کار عمده را برای مقابله با

تنش خشکی از خود نشان می‌دهند: اجتناب و تحمل

تنش خشکی. تنظیم اسمزی به عنوان جزئی مهم از ساز و

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی موثر

بر توليدات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک

هم چون ایران است. این عامل بسیاری از خصوصیات

آناتومیکی (کیویمانپ و همکاران^۱، ۲۰۰۳)،

2 - Aliabadi Farahani et al.

3 - Masoudi-Sadaghiani et al.

1 - Kivimaenpae et al.

۱۳۹۰؛ نیومن و گنورگه، ۲۰۰۹) در گیاه میزبان را کاهش می دهد.

میزان وابستگی گیاه میزبان به قارچ های میکوریزا به عوامل محیطی مانند شدت نور، دما، شرایط خاک و نیز به مشخصات ریخت شناسی ریشه و فیزیولوژیکی گیاه بستگی دارد (اسمیت و رید^۹، ۲۰۰۸). در بین این عوامل مشخصات ریخت شناسی ریشه گیاه میزبان از جمله عوامل مهم در برقراری همبستگی گیاه با قارچ میکوریزا می باشد. بر اساس فرضیه بیلینس، گیاهان با سیستم ریشه ای انبوه و پراشعاب وابستگی میکوریزایی کمتری دارند تا گیاهان با سیستم ریشه ای ضعیف و کم انشعاب (بیلینس^{۱۰}، ۱۹۷۵).

ایران یکی از مراکز مهم تنوع گیاهی در دنیا محسوب می شود. این تنوع خصوصاً در مورد سبزی ها و از جمله سبزی های خانواده آلیاسه^{۱۱} چشمگیرتر از سایر محصولات است (دشتی و همکاران، ۱۳۸۲). تره ایرانی (*Persian leek*) به عنوان یک سبزی برگی پر مصرف از خانواده آلیاسه و جنس آلیوم^{۱۲} از سابقه کشت و کار طولانی در ایران برخوردار است. نام علمی این گیاه *Allium ampeloprasum ssp. persicum* می باشد و با مزه و ویژگی های ریخت شناسی خاص، جزء سبزی های پیازی محسوب می شود (نمپال سینگ و همکاران، ۱۳۸۶). تره فرنگی (*Allium porrum* L.) یک گیاه علفی، دوساله و یک عضو از خانواده آلیاسه است که از لحاظ اقتصادی یکی از مهمترین سبزی های مزرعه ای در اروپا است. این گیاه شبیه به پیاز است ولی برخلاف آن به جای غده، تولید ساقه طویل سفید رنگی نموده که با مقداری از برگ های سبز و نسبتاً پهن اطراف آن مورد استفاده غذایی قرار می گیرد (نمپال سینگ و همکاران، ۱۳۸۶).

کار تحمل به تنش خشکی در گیاهان در نظر گرفته می شود (جلیلی مرندی، ۱۳۸۹). این پدیده شامل: تجمع مولکول های آلی از جمله قندهای محلول، الکل های قندی، گلایسین بتائین، پرولین، اسیدهای آلی و یون های معدنی همچون پتاسیم، کلسیم، کلرید و غیره می باشد. در شرایط کمبود آب در نتیجه تجمع این مواد تنظیم کننده اسمزی، پتانسیل اسمزی درون سلول کاهش یافته و آب به درون سلول کشیده می شود که به حفظ فشار تورژسانس کمک می کند (مسعودی صادقیانی و همکاران، ۲۰۱۱). در بین این مواد، احتمالاً پرولین فراوان ترین تنظیم کننده اسمزی به شمار می آید. هر چند پرولین در طول تنش در قسمت های مختلف گیاه جمع می شود، اما بیشترین مقدار آن در عموم گیاهان در برگ ها به وجود می آید (جلیلی مرندی، ۱۳۸۹؛ علی آبادی فراهانی و همکاران، ۲۰۰۸).

همزیستی میکوریزایی از وسیع ترین روابط همزیستی شناخته شده بین گیاهان و دسته ای خاص از قارچ ها است. آربسکولار میکوریزا^۱ (AM) عمده ترین نوع میکوریزا هستند و اخیراً در یک شاخه قارچی مجزا به نام گلومرومایکوتا^۲ طبقه بندی شده اند (اسچابلر و همکاران^۳، ۲۰۰۱). ریشه های خارجی این قارچ ها قادرند عناصر غذایی نظیر فسفر (نلسون و سفیر^۴، ۱۹۸۲)، پتاسیم، نیتروژن، مس، روی (نیومن و گنورگه^۵، ۲۰۰۹) را جذب کرده و به گیاه میزبان منتقل کنند. همزیستی میکوریزایی اثرهای نامطلوب بسیاری از تنش های محیطی نظیر شوری (کایا و همکاران^۶، ۲۰۰۹)، غلظت عناصر سنگین (ووگل-میکوس و همکاران^۷، ۲۰۰۶)، تراکم خاک (کوتاری و سینگ^۸، ۱۹۹۶) و نیز تنش خشکی (نادیان،

- 1 - Arbuscular mycorrhiza
- 2 - Glomeromycota
- 3 - Schübler *et al.*
- 4 - Nelson & Safir
- 5 - Neumann & George
- 6 - Kaya *et al.*
- 7 - Vogel-Mikuš *et al.*
- 8 - Kothari & Sing

- 9 - Smith & Read
- 10 - Baylis
- 11 - Alliaceae
- 12 - Allium

آزمایش با استفاده از دستگاه اتوکلاو و در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و در فشار PSI ۱۵ به مدت ۱ ساعت استریل گردید (نادیان، ۱۳۹۰). پس از استریل نمودن، خاک‌ها در کیسه‌های پلاستیکی در بسته تا زمان استفاده نگه‌داری گردیدند.

کشت گیاه و تلقیح آن با قارچ آربسکولار میکوریزا

بذرهای توده‌های مختلف تره ایرانی و فرنگی به ترتیب از شرکت کشت و صنعت دام اهواز و شرکت روزن سیدز هلند تهیه شد و سپس توسط محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد ضدعفونی گردید و بعد با آب مقطر شسته و در ژرمناتور نگهداری شدند تا تمام بذور جوانه بزنند. پس از اینکه طول ریشه گیاهچه‌ها به حدود ۱/۵-۱ سانتی‌متر رسید، انتقال گیاهچه‌ها به گلدان صورت گرفت. به هر گلدان ۲۹۴۰ گرم خاک استریل شده اضافه گردید و سپس ۶ گیاهچه ۳ روزه منتقل گردید.

البته در یک آزمایش اولیه، بذور توده‌های مختلف تره ایرانی و فرنگی به منظور مطالعه و مقایسه رشد و ریخت‌شناسی ریشه‌ها کشت گردیدند. در این مطالعه اولیه ملاحظه گردید که تره اصفهان دارای ریشه‌های منشعب و بلند و تره شادگان با ریشه‌های کم انشعاب، کوتاه و نازک و تره فرنگی (کارنتان ۲) دارای ریشه‌های کم انشعاب و ضخیم می‌باشند.

در تیمارهای میکوریزایی، قبل از ایجاد حفره حدود ۵ سانتی‌متر از سطح خاک را برداشته و یک لایه از مایه تلقیح (خاک حاوی اسپور، ریشه‌های خارجی قارچ و ریشه گیاه شیدر کلونی‌شده با قارچ گلوموس اینترادایسس^۱ به وزن ۲۰۰ گرم را در این عمق قرار داده شد و دوباره وزن گلدان به ۲۹۴۰ گرم رسانیده شد.

در شروع هفته پنجم سطوح تنش خشکی به صورت وزنی اعمال گردید. افزایش آب مقطر به گلدان‌ها زمانی بود که ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آب قابل استفاده گیاه در

این دو گیاه به دو زیر گروه متمایز از گونه *ampeloprasum* تعلق دارند و خصوصیات مورفولوژی ریشه آنها متفاوت است. علی‌رغم اینکه تره ایرانی یکی از سبزی‌های برگی پرمصرف در کشور ما است، تحقیقات چندانی در زمینه تأثیر تنش‌های محیطی بر آن صورت نگرفته است. افزون بر این، تاکنون نقش مورفولوژی ریشه توده‌های مختلف تره ایرانی و تره فرنگی در مقابله با تنش خشکی و نیز پاسخ رشد میکوریزایی توده‌های مختلف تره ایرانی بررسی نگردیده است. لذا این آزمایش با هدف مطالعه اثر کلونیزاسیون میکوریزایی بر شاخص‌های رشد و میزان تجمع پرولین در تره فرنگی و دو توده مختلف تره ایرانی تحت سطوح مختلف تنش خشکی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در گلخانه دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان در سال ۱۳۸۹ اجرا گردید. تیمارها شامل دو توده تره ایرانی (تره شادگان و تره اصفهان) و تره فرنگی (کارنتان ۲)، دو سطح میکوریزا (NM: عدم تلقیح با میکوریزا و M: تلقیح با میکوریزا) و تنش خشکی در سه سطح (T_1 ، T_2 و T_3 به ترتیب شامل آبیاری پس از تخلیه ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آب قابل استفاده گیاه در خاک) بود. برای اهداف این مطالعه یک خاک با غلظت فسفر قابل جذب کم (روش اولسن) انتخاب گردید. برخی از مهمترین خصوصیات خاک مورد آزمایش شامل پی‌اچ برابر با ۷/۶، هدایت الکتریکی در عصاره اشباع ۲/۲ دسی‌زیمنس بر متر، فسفر قابل جذب خاک ۳/۲ پی‌پی‌ام، در صد رطوبت در حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی به ترتیب ۱۳ و ۶ درصد است و بافت خاک شنی لومی بود.

سپس برای حذف عوامل پاتوژن، قارچ‌های بومی خاک و ایجاد یک محیط آزاد قارچی، خاک مورد

1- *Glomus intraradices*

$n =$ تعداد برخورد ریشه با خطوط افقی و عمودی

$d =$ طول ضلع هر شبکه مربع (۰/۷۵ سانتیمتر)

در این مطالعه، پاسخ رشد میکوریزایی که بیانی است از میزان وابستگی گیاه به قارچ میکوریزا بر اساس فرمول بایون و همکاران^۵ (۱۹۹۴) تعیین گردید.

استخراج و اندازه گیری غلظت پرولین

میزان پرولین در برگ تازه گیاه بر اساس روش بیتس و همکاران^۶ (۱۹۷۳) و بر مبنای جذب نوری محلول در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C صورت گرفت. داده‌های مربوط به وزن خشک اندام هوایی و ریشه پس از تبدیل مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

شاخص‌های رشد: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها

نشان داد که هر سه عامل تنش خشکی، قارچ میکوریزا و توده گیاه بر شاخص‌های رشد گیاه شامل ارتفاع گیاه، مجموع طول ریشه، وزن ماده خشک برگ و وزن ماده خشک ریشه هر سه توده تره تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۱).

در تیمار شاهد (آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد آب قابل استفاده گیاه در خاک)، تره غیرمیکوریزایی اصفهان (۶۹/۸ سانتی‌متر در گلدان) بیشترین و تره غیرمیکوریزایی کارنتان ۲ (۶۴/۶ سانتی‌متر در گلدان) کمترین مجموع طول ریشه را داشتند. این افزایش به دلیل سیستم ریشه‌ای انبوه‌تر تره اصفهان است. با افزایش تنش خشکی مجموع طول ریشه هر سه توده تره کاهش معنی‌دار پیدا نمود (جدول ۳). یک روند مشابه در کاهش وزن ماده خشک

خاک تخلیه شده بود. درصد رطوبت خاک در دو سطح مکش ۰/۳۳ اتمسفر (نقطه ظرفیت مزرعه) و ۱۵ اتمسفر (نقطه پژمردگی دائم) توسط دستگاه صفحه فشار تعیین گردید. افزایش آب مقطر به گلدان‌ها از طریق توزین گلدان‌ها و جبران آب کاهش یافته در هر یک از سطوح رطوبتی فوق انجام شد. هر هفته مقدار ۱۰ میلی‌لیتر محلول غذایی بدون فسفر (اسمیت^۱، ۱۹۸۲) به گلدان‌ها اضافه گردید.

برداشت گیاه

گیاهان پس از پایان هفته دوازدهم برداشت گردیدند. برگ‌ها از سطح خاک قطع و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت درون آون خشک و توزین گردیدند. جهت تعیین میزان پرولین مقداری از برگ تازه به دقت توزین و مقدار آن در محاسبه وزن خشک برگ لحاظ گردید. ریشه‌ها تماماً از خاک خارج شده، با آب به دقت شسته و پس از گرفتن خیزی ریشه توسط حوله کاغذی ریشه‌ها به قطعات حدود ۱ سانتیمتری بریده شدند، وزن شدند و سپس یک زیر نمونه جهت تعیین مجموع طول ریشه و درصد طول ریشه کلنی شده به دقت وزن و بقیه ریشه‌ها در در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند.

مرحله شستشو، رنگ آمیزی ریشه‌ها و تعیین

مجموع طول ریشه‌ها

زیر نمونه ریشه‌ها در هر تیمار، با استفاده از هیدروکسید پتاسیم ۱۰ درصد و محلول ترین‌بلو^۲ بر اساس روش فلیس و هیمن^۳ (۱۹۷۰) رنگ آمیزی شدند سپس مجموع طول ریشه و درصد طول ریشه کلونی‌شده با استفاده از بینی کولر و روش خطوط متقاطع طبق روش تاننت^۴ (۱۹۷۵) تعیین گردید:

$$RL = \frac{11}{14} \cdot n \cdot D$$

RL = طول کل ریشه

1- Smith

2 - Trypen blue

3 - Philips & Hayman

4 - Tennant

5 - Baon *et al.*

6 - Bates *et al.*

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس برخی از صفات مورد مطالعه

میانگین مربعات	پاسخ رشد میکوریزایی	طول ریشه کلونی شده	مجموع طول ریشه	وزن ماده خشک		درجه آزادی	منابع تغییر
				برگ	ریشه		
۰/۱۶۴**	۳۰/۹۴۷*	۲/۴۹**	۲۰/۹۶**	۲۵۶/۲۴**	۵۹/۵۳**	۳	بلوک
۱۹۴/۱۶**	۳۱۲۰۵/۹۹**	۱۶۲۷/۲۶**	۵۴۹۰/۷۶**	۲۶۷۱۲۵/۱**	۹۹۰۱۳/۵۱**	۲	تنش
۰/۹۱۶**	۱۸۶۷۹/۹۶**	۲۳۷/۱۳**	۳۸۲/۸۷**	۲۷۷۲۹/۵**	۱۲۵/۵۱**	۲	توده
۱۹۵/۶۶**	۹۱۳۷۹۶/۵۳**	۱۷۱۷۷/۶**	۶۷۶۲/۸۵**	۱۹۷۶۳۴/۷**	۴۶۳۵۲۴/۰۱**	۱	میکوریزا
۰/۹۰۲**	۱۴۴۱/۰۹**	۱۹/۸۴**	۳۹/۶۳**	۱۴۳/۲**	۲۰۶/۸۲**	۴	تنش × توده
۱۹/۲۵**	۳۱۲۰۵/۹۹**	۱۶۲۷/۳**	۱۹۴/۴۲**	۹۴۶۸۰/۹**	۹۶۱۲/۵۹**	۲	تنش × میکوریزا
۸/۹۴**	۱۸۶۷۹/۹۶**	۲۳۷/۱۳**	۲۷۹/۴۸**	۲۵۳۲۸/۱**	۳۳۳۰/۵۱**	۲	توده × میکوریزا
۰/۸۸۴**	۱۴۴۱/۰۹**	۱۹/۸۴**	۶/۵۱**	۱۲۰۹/۲**	۱۴۱/۰۳**	۴	تنش × توده × میکوریزا
۰/۰۱۷	۷/۹۹۷	۰/۵۳۰	۱/۵۱۵	۱۹/۰۴۵	۷/۴۲۵	۵۱	خطا
۱/۹۳	۲/۵۱	۴/۷۱	۱/۹۲	۱/۵۹	۱/۶۷		ضریب تغییرات %

**= معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد * = معنی دار در سطح احتمال ۵٪ NS = غیر معنی دار

ماده خشک تره شاهد (غیرمیکوریزایی) نیز ملاحظه گردید (جدول ۳). با این وجود، با افزایش تنش خشکی از رشد ریشه‌های میکوریزایی (مجموع طول ریشه و یا وزن ماده خشک ریشه) به طور معنی دار کاسته شد (جدول ۲ و ۳). بیشترین مقدار ماده خشک ریشه مربوط به تیمار میکوریزایی تره شادگان در سطح اول خشکی (۰/۶۶۴ گرم در گلدان) بود و کمترین مقدار ماده خشک ریشه مربوط به نمونه غیرمیکوریزایی تره فرنگی در سطح سوم تنش خشکی (۰/۰۵۵ گرم در گلدان) بود. کاهش رشد ریشه تحت تأثیر تنش خشکی منجر به کاهش وزن ماده خشک برگ هر سه توده تره گردید (جدول ۲). بیشترین مقدار ماده خشک برگ مربوط به نمونه میکوریزایی تره شادگان در سطح اول تنش خشکی با میانگین ۰/۳۳۸ گرم در گلدان بود و کمترین مقدار مربوط به نمونه غیرمیکوریزایی تره شادگان در سطح سوم تنش خشکی با میانگین ۰/۰۳۶ گرم در گلدان بود. حضور قارچ میکوریزا اثرهای تنش خشکی را در

ریشه با افزایش تنش خشکی در هر سه توده تره نیز ملاحظه گردید (جدول ۲).

کاهش رشد ریشه (مجموع طول ریشه و یا وزن ماده خشک ریشه) تحت تأثیر تنش خشکی می‌تواند به دلیل افزایش مقاومت مکانیکی خاک باشد (ویتمور و والی^۱، ۲۰۰۹). بین درصد رطوبت خاک و مقاومت مکانیکی خاکی یک رابطه معکوس وجود دارد (بنگوگ و همکاران^۲، ۲۰۰۶). نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که فشار ریشه‌ای گیاهان زراعی بین ۰/۲۴ و ۱/۴۵ مگاپاسکال است (میسرا و همکاران^۳، ۱۹۸۶). چنانچه فشار ریشه‌ای گیاه کمتر از مقاومت مکانیکی خاک باشد، رشد ریشه کاهش می‌یابد (ویتمور و والی، ۲۰۰۹).

در تمام سطوح تنش خشکی، مجموع طول ریشه تره میکوریزایی از مجموع طول ریشه تره غیرمیکوریزایی در هر سه توده تره بیشتر بود (جدول ۳). چنین افزایشی برای وزن ماده خشک ریشه تره میکوریزایی نسبت به وزن

1 - Whitmore & Whalley

2 - Bengough *et al.*3 - Misra *et al.*

قاسم جوکار و همکاران: تاثیر همزیستی میکوریزایی بر رشد و میزان پرولین...

جدول ۲- ارتفاع گیاه، وزن ماده خشک برگ و ماده خشک ریشه سه توده تره میکوریزایی و غیرمیکوریزایی تحت تنش خشکی

وزن ماده خشک ریشه (گرم در گلدان)		وزن ماده خشک برگ (گرم در گلدان)		ارتفاع گیاه (سانتی متر)		تنش خشکی	توده گیاه
با میکوریزا	بدون میکوریزا	با میکوریزا	بدون میکوریزا	با میکوریزا	بدون میکوریزا		
a ₀ /۶۶۴	k ₀ /۱۳۵	a ₀ /۳۳۸	j ₀ /۱۱۷	a _{۲۱} /۱۳	h _{۱۵} /۹۳	T ₁	شادگان
d ₀ /۴۹۷	n ₀ /۰۹۷	d ₀ /۲۶۲	m ₀ /۰۶۴	d _{۱۸} /۴۸	k _{۱۱} /۴۹	T ₂	
g ₀ /۲۹۵	p ₀ /۰۶۵	g ₀ /۱۶۶	o ₀ /۰۳۶	e _{۱۷} /۲۱	m _۸ /۳۶	T ₃	
b ₀ /۶۲۸	i ₀ /۱۶۹	b ₀ /۳۲۵	i ₀ /۱۲۶	b _{۲۰} /۵۵	e _{۱۷} /۲۸	T ₁	اصفهان
e ₀ /۴۸۶	l ₀ /۱۱۷	e ₀ /۲۴۵	l ₀ /۰۷۹	cd _{۱۸} /۹۶	i _{۱۴} /۰۱	T ₂	
g ₀ /۳۰۰	o ₀ /۰۸۱	g ₀ /۱۶۵	n ₀ /۰۴۳	ef _{۱۶} /۹۱	l _{۱۰} /۷۰	T ₃	
c ₀ /۵۲۲	j ₀ /۱۵۵	c ₀ /۳۱۲	h ₀ /۱۴۱	c _{۱۹} /۴۳	fg _{۱۶} /۶	T ₁	کارنتان ۲
f ₀ /۳۶۴	m ₀ /۱۰۹	f ₀ /۲۳۲	k ₀ /۰۹۶	gh _{۱۶} /۱۸	kl _{۱۱} /۰۳	T ₂	
h ₀ /۲۱۰	q ₀ /۰۵۵	h ₀ /۱۳۹	o ₀ /۰۳۹	j _{۱۳} /۱۸	mv _{۱۶} /۹۶	T ₃	

به ترتیب شامل: آبیاری پس از تخلیه ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آب قابل استفاده گیاه در خاک T₁ و T₂ و T₃
 اعداد با حروف متفاوت در هر صفت (ستونی) دارای اختلاف معنی دار هستند (آزمون دانکن در سطح ۰.۰۵٪)

جدول ۳- غلظت پرولین، مجموع طول ریشه و طول ریشه کلونی شده سه توده تره میکوریزایی و غیرمیکوریزایی تحت تنش خشکی

مجموع طول ریشه کلونی شده (سانتی متر در گلدان)	مجموع طول ریشه (سانتی متر در گلدان)		غلظت پرولین (میکرومول در گرم وزن تر برگ)		تنش خشکی	توده گیاه
	بدون میکوریزا	با میکوریزا	بدون میکوریزا	با میکوریزا		
b _{۵۰} /۰۴	b _{۹۵} /۷۶	f _{۶۶} /۸۵	q _۲ /۷۸	k _۵ /۲۶	T ₁	شادگان
e _{۲۸} /۹۲	d _{۷۳} /۲۸	j _{۵۳} /۲۶	m _۴ /۵۷	d _۹ /۳۳	T ₂	
h _{۱۶} /۵۰	h _{۵۸} /۸۲	l _{۴۳} /۱۷	i _۶ /۵۸	a _{۱۳} /۲۷	T ₃	
a _{۵۷} /۸۴	a _{۱۰} /۱۸۰	e _{۶۹} /۷۶	p _۳ /۱۶	l _۴ /۸۱	T ₁	اصفهان
d _{۳۲} /۰۵	d _{۷۴} /۷۵	jk _{۵۲} /۹۲	k _۵ /۲۳	e _۸ /۲۳	T ₂	
g _{۲۰} /۱۰	g _{۶۲} /۹۹	l _{۴۲} /۲۲	h _۶ /۸۸	c _{۱۱} /۱۴	T ₃	
c _{۳۸} /۲۹	c _{۸۱} /۴۳	g _{۶۴} /۶۵	o _۳ /۳۹	n _۴ /۲۲	T ₁	کارنتان ۲
f _{۲۲} /۱۲	g _{۶۳} /۹۴	i _{۵۵} /۳۳	j _۵ /۸۸	g _۷ /۲۰	T ₂	
i _{۱۲} /۱۷	k _{۵۱} /۲۱	l _{۴۱} /۳۵	f _۷ /۶۰	b _{۱۲} /۲۷	T ₃	

به ترتیب شامل: آبیاری پس از تخلیه ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آب قابل استفاده گیاه در خاک T₁ و T₂ و T₃
 اعداد با حروف متفاوت در هر صفت (ستونی) دارای اختلاف معنی دار هستند (آزمون دانکن در سطح ۰.۰۵٪)

می‌شود و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع یا اندازه کوچک‌تر برگ‌ها تشخیص داد (بابایی و همکاران، ۱۳۸۹).

شاخص‌های کلونیزاسیون: بر طبق شکل ۱

ملاحظه می‌گردد که هر سه توده تره وابستگی میکوریزایی بالایی به قارچ گلوموس/اینترادیسس دارا می‌باشند، اگرچه اختلاف معنی‌داری در میزان این وابستگی‌ها وجود دارد. در تیمار بدون تنش خشکی (شاهد)، بیشترین و کمترین پاسخ رشد میکوریزایی به ترتیب مربوط به تره شادگان (با ریشه‌های ضعیف‌تر و کم انشعاب‌تر) و تره کارنتان ۲ (با ریشه‌های انبوه‌تر می‌باشد).

اولین بار بلیس (۱۹۷۵) اعلام نمود که گیاهانی که دارای ریشه‌های انبوه‌تر و منشعب‌تر هستند دارای وابستگی کمتری به قارچ‌های آربسکولار-میکوریزا هستند تا گیاهان با سیستم ریشه‌ای ضعیف‌تر و کم انشعاب‌تر. با توجه به نتایج، این مطالعه تاییدی است بر نظرات بلیس و در موافقت با نتایج قبلی است (نادیان، ۱۳۹۰؛ بایون، ۱۹۹۴). با اعمال تنش خشکی، پاسخ رشد میکوریزایی افزایش پیدا می‌کند (شکل ۱). در بالاترین سطح تنش خشکی، درصد پاسخ رشد میکوریزایی تره شادگان ۱۷۸ درصد، برای تره اصفهان ۱۴۲/۷ درصد و برای تره کارنتان ۲، ۱۲۸/۵ درصد بود (شکل ۱). این نتایج نشان می‌دهد که فرضیه بلیس تحت تنش خشکی نیز صدق می‌کند. اگرچه با افزایش تنش خشکی وزن ماده خشک تره میکوریزایی و غیرمیکوریزایی با کاهش همراه بود (جدول ۲) ولی پاسخ رشد میکوریزایی با افزایش تنش خشکی افزایش یافت. در واقع، قارچ میکوریزا با افزایش تنش خشکی به منظور جلوگیری از کاهش بیشتر زیست توده گیاه پاسخ رشد میکوریزایی را افزایش داده است. بسیاری از نتایج قبلی نشان می‌دهد که

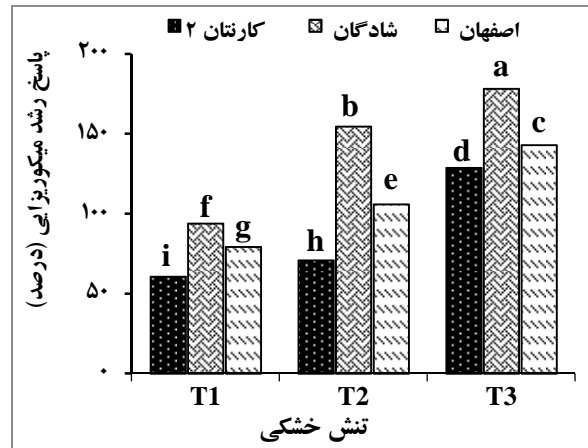
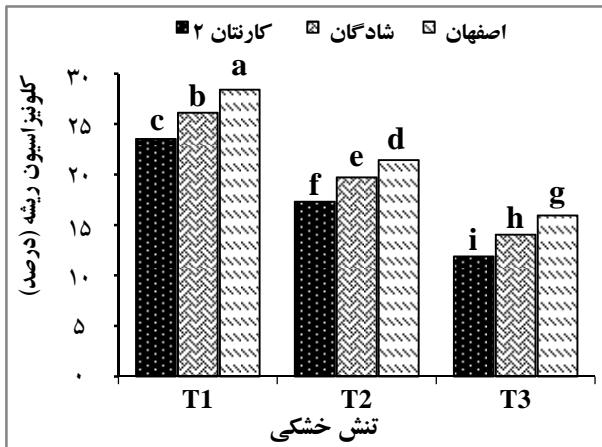
هر سه توده تره تعدیل نمود، هر چند وزن ماده خشک برگ هر سه توده تره میکوریزایی با افزایش تنش خشکی کاهش پیدا کرد. کاهش ماده خشک برگ، به این دلیل می‌تواند باشد که یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش فشار آماس می‌باشد که به کاهش رشد و توسعه سلولی به ویژه در ساقه و برگ‌ها منجر می‌شود (علیشاه و همکاران^۱، ۲۰۰۶). علاوه بر این، کاهش سطح برگ ناشی از کاهش رشد و توسعه سلولی، موجب کاهش جذب نور و در نتیجه کاهش ظرفیت کل فتوسنتز می‌شود به گونه‌ای که رشد گیاه و عملکرد گیاهی کم می‌شود و در نهایت میزان ماده خشک کاهش می‌یابد (سوها و همکاران^۲، ۲۰۱۰). اما حضور قارچ میکوریزا اثر منفی تنش خشکی را تعدیل کرده است. ساجدی و رجالی (۱۳۹۰) بیان نمودند که با افزایش کلونیزاسیون ریشه، سیستم ریشه‌ای گیاه میزان توسعه یافته و در نتیجه سطح جذب ریشه‌ها به علت نفوذ هیف‌های قارچ در خاک افزایش یافته و در نتیجه ریشه به حجم بیشتری از خاک دسترسی پیدا کرده و کارایی جذب آب و عناصر غذایی افزایش یافته و در نهایت تولید ماده خشک افزایش می‌یابد. اختلاف زیاد بین وزن ماده خشک برگ گیاهان میکوریزایی و غیرمیکوریزایی نشان می‌دهد که گیاه تره به خوبی به تلقیح میکوریزایی پاسخ می‌دهد. تأثیر مثبت قارچ میکوریزا بر افزایش وزن خشک برگ در شرایط تنش خشکی در گیاهان بسیاری همچون پیاز (نلسون و سفیر، ۱۹۸۲)، سورگوم (نادیان، ۱۳۹۰) و نخود (نیومن و گئورک، ۲۰۰۹) نیز گزارش گردیده است.

افزایش شدت تنش خشکی به طور معنی‌داری ارتفاع گیاه را کاهش داد. با این وجود، کلونیزاسیون میکوریزایی باعث افزایش ارتفاع توده‌های تره گردید. کمبود آب موجب کاهش آماس سلول شده و در پی کاهش رشد سلول در نهایت اندازه اندام هوایی محدود

1 - Alishah et al.

2 - Soha et al.

قاسم جوکار و همکاران: تاثیر همزیستی میکوریزایی بر رشد و میزان پرولین...



شکل ۱- درصد پاسخ رشد میکوریزایی و کلونیزاسیون ریشه در سه توده تره (کارنتان ۲، شادگان و اصفهان) تحت سطوح تنش خشکی (T₁، T₂، T₃ به ترتیب ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده گیاه در خاک) میانگین ها با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی دار هستند (آزمون دانکن در سطح ۰.۰۵٪)

به تره کارنتان ۲ بود. در کل بیشترین طول ریشه کلونی شده مربوط به تره اصفهان در تیمار شاهد (۴۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده گیاه در خاک) با میانگین ۵۷/۸۴ سانتی متر در گلدان بود و کمترین طول ریشه کلونی شده مربوط به تره فرنگی در سطح سوم تنش (۸۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده گیاه در خاک) با میانگین ۱۲/۱۷ سانتی متر در گلدان بود. مانند سایر بیوتروف های اجباری، بقاء قارچ های میکوریزا آربسکولار به تأمین کربوهیدرات ها توسط گیاه وابسته است (اسمیت و رید، ۲۰۰۸). وقتی فتوسنتز گیاه در اثر تنش خشکی کاهش می یابد، انتقال کربوهیدرات ها به همزیست قارچی کاهش می یابد و به طور قطع توسعه درون سلولی و خارج سلولی قارچ میکوریزا کاهش می یابد (نیومن و گنورک، ۲۰۰۹).

غلظت پرولین: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که هر سه تیمار تنش خشکی، قارچ میکوریزا و توده گیاه اثر معنی داری بر میزان پرولین برگ ها داشته اند (در سطح احتمال ۱ درصد، جدول ۱). بدین ترتیب که در تیمار غیرمیکوریزایی با کاهش میزان آبیاری، تجمع پرولین در برگ ها افزایش یافت، اما حضور قارچ میکوریزا باعث کاهش غلظت پرولین در

وقتی گیاه میزبان تحت تنش های محیطی نظیر تراکم خاک (کوتاری و سینگ، ۱۹۹۶) و یا تنش خشکی (نادیان، ۱۳۹۰) قرار می گیرد، به منظور کاهش اثرات سوء تنش اقدام به افزایش بیشتر وابستگی خود به قارچ همزیست می نماید. میزان کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ میکوریزا می تواند بر حسب درصد کلونیزاسیون ریشه و یا مجموع طول ریشه کلونی شده گیاه میزبان تعیین شود (اسمیت و رید، ۲۰۰۸). در تیمار شاهد (بدون تنش خشکی)، درصد کلونیزاسیون ریشه تره اصفهان، شادگان و کارنتان ۲ به ترتیب ۲۸/۴، ۲۶/۱ و ۲۳/۵ درصد بود (شکل ۱). چنین روندی در تمام سطوح تنش خشکی برای تره اصفهان ملاحظه گردید. اگرچه تره اصفهان دارای درصد کلونیزاسیون بیشتری بوده است، اما مقادیر شاخص های رشد در تیمار میکوریزایی تره شادگان بیشتر تره اصفهان بود، که نشان دهنده وابستگی بیشتر تره شادگان به قارچ میکوریزا است.

در هر سه رقم تره، مجموع طول ریشه کلونی شده با افزایش تنش خشکی به دلیل کاهش زیست توده آنها و درصد کلونیزاسیون ریشه کاهش پیدا نمود (جدول ۳). در هر سطح تنش خشکی، بیشترین طول ریشه کلونی شده مربوط به تره اصفهان و کمترین طول مربوط

مقادیر کمتر پرولین در نمونه‌های میکوریزایی نسبت به نمونه‌های غیرمیکوریزایی در گیاه زنجبیل (بهوسال و شینده^۳، ۲۰۱۱) و نارنگی (ویو و زیا^۴، ۲۰۰۶) نیز مشاهده گردیده است. این نتیجه خود دلیلی است بر اینکه گیاهان میکوریزایی از شرایط تنش ایجاد شده آسیب کمتری می‌بینند. ویو و زیا (۲۰۰۶) با مشاهده مقادیر کمتر پرولین در گیاهچه‌های میکوریزایی نارنگی به این نتیجه رسیده‌اند که کلونیزاسیون میکوریزایی مقاومت به خشکی گیاه میزبان را، نه از طریق تجمع پرولین، بلکه از طریق جذب یون‌های معدنی مانند یون پتاسیم، کلسیم و منیزیم افزایش داده است. در گیاهان غیرمیکوریزایی، غلظت پرولین در کلیه سطوح تنش خشکی در تره شادگان بیشتر از دو توده دیگر بود، در حالی که مقدار ماده خشک برگ تره شادگان کمتر از دو توده دیگر بود احتمالاً در این شرایط، تنظیم اسمزی به واسطه افزایش یون‌هایی مانند سدیم و کلر و کاهش پتاسیم و کلسیم صورت گرفته است. پس غلظت زیاد سدیم و کلر سبب ایجاد سمیت در گیاه شده و این سمیت میزان رشد و عملکرد را کم می‌کند (باقری، ۱۳۸۸).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که بروز تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار شاخص‌های رشد گردید، اما تلقیح ریشه‌ای با قارچ میکوریزا باعث کاهش اثرات تنش خشکی بر این شاخص‌های رشد گردید. این امر نشان‌دهنده نقش مثبت میکوریزا در تغذیه بهتر گیاه و ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی در گیاه می‌باشد و در نهایت ماده خشک گیاه افزایش می‌یابد. همچنین گیاهان در هنگام رویارویی با تنش خشکی با تغییراتی که در برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی خود ایجاد می‌نمایند، به تنش پاسخ می‌دهند. یکی از این پاسخ‌ها، تجمع پرولین می‌باشد که نتایج به دست آمده نشان

کلیه سطوح تنش خشکی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی گردید. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار پرولین برگ مربوط به تیمار غیرمیکوریزایی تره شادگان در سطح سوم تنش خشکی (۸۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده گیاه در خاک) با میانگین ۱۳/۲۷ میکرومول در گرم وزن تر برگ بود و کمترین غلظت پرولین مربوط به تره میکوریزایی شادگان در تیمار شاهد (۴۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده گیاه در خاک) با میانگین ۲/۷۸ میکرومول در گرم وزن تر برگ بود. در کلیه سطوح تنش خشکی بیشترین تأثیر قارچ میکوریزا در کاهش غلظت پرولین بر تره شادگان بود. حتی در سطح سوم تنش خشکی، غلظت پرولین در تیمار میکوریزایی تره شادگان نسبت به نمونه غیرمیکوریزایی ۵۰/۴ درصد کاهش یافت که نشان‌دهنده کاهش بیشتر تنش خشکی توسط این توده میکوریزایی است و توجیه‌کننده پاسخ رشد میکوریزایی بالای آن است. پرولین یکی از تنظیم‌کننده‌های اسمزی است که افزایش آن موجب سازش سلول گیاهی در شرایط تنش و حفاظت از آنزیم‌ها و ساختار سلولی می‌شود. تحریک سنتز پرولین در شرایط تنش می‌تواند یک نوع محل مصرف برای مواد احیاء شده در تنفس و فتوسنتز باشد (لاهری و همکاران^۱، ۱۹۹۳). گود و زاپل‌چینیسکی^۲ (۱۹۹۴) اعلام کردند که تجمع ترکیباتی همانند پرولین و سایر اسیدهای آمینه در بافت‌های سبز گیاه کلزا در شرایط تنش خشکی می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاه فراهم نماید. اما اتکای گیاهان به این ترکیبات آلی برای تنظیم اسمزی هزینه بر بوده و باعث کاهش عملکرد آنها می‌شود. افزایش میزان پرولین تحت تنش خشکی در ریحان (سوها و همکاران، ۲۰۱۰) و گشنیز (علی‌آبادی و فراهانی و همکاران، ۲۰۰۸) نیز گزارش گردیده است.

قاسم جوکار و همکاران: تاثیر همزیستی میکوریزایی بر رشد و میزان پرولین...

می‌دهند، تجمع آن در تحمل شرایط تنش خشکی مؤثر می‌باشد. کاهش تجمع پرولین در گیاهان میکوریزایی به مفهوم کاهش تنش خشکی بر گیاه توسط قارچ همزیست می‌باشد. نتایج این مطالعه به روشنی نشان می‌دهد که تره شادگان با سیستم ریشه‌ای ضعیف‌تر در تمام سطوح تنش خشکی دارای وابستگی میکوریزایی بیشتر است و این تأییدی است بر فرضیه بیلینس حتی در شرایط تنش خشکی. در نتیجه در شرایط کم آبی با استفاده از کودهای بیولوژیک می‌توان فعالیت سیستم‌های دفاعی گیاه را افزایش داد و گامی مؤثر در راستای کشاورزی پایدار برداشت.

منابع

۱. 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، ۲۶(۲): ۲۳۹-۲۵۱.
۲. باقری، ع. ۱۳۸۸. اثر تنش خشکی بر عملکرد، اجزاء عملکرد و محتوای یون‌ها در چهار رقم گندم. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی، ۳: ۱۵-۳۰.
۳. جلیلی مرندی، ر. ۱۳۸۹. فیزیولوژی تنش‌های محیطی و مکانیسم‌های مقاومت در گیاهان باغی (درختان میوه، سبزی‌ها، گیاهان زینتی و گیاهان دارویی). جلد اول. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد ارومیه. ۶۳۶ ص.
۴. دشتی، ف.، کاشی، ع. و وزوایی، ع. ۱۳۸۲. بررسی تنوع ژنتیکی در بین توده‌های تره ایرانی (*Allium ampeloprasum ssp. Persicum*) با استفاده از صفات مورفولوژیکی. مجله نهال و بذر، ۱۹(۱): ۸۷-۱۰۰.
۵. ساجدی، ن.ع. و رجالی، ف. ۱۳۹۰. تأثیر تنش خشکی، کاربرد روی و تلقیح میکوریزا بر جذب عناصر کم مصرف در ذرت. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۵(۲): ۸۳-۹۱.
۶. 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: ۲۵-۳۷.
۷. نم پال سینگ، آ.ک. بهاردواج، آبنیش کومار و ک.م. سینگ. ۱۳۸۶. تکنولوژی مدرن تولید سبزی. مترجم: فرهاد فرح‌وش و محمد مبشر. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز. تبریز. ص ۶۳۱.
۸. نورانی آزاد، ح. و چوبینه، د. ۱۳۸۷. مطالعه تنش آبی بر بیوماس، قندهای محلول، پرولین، آنزیمها و یونها در گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*). فصلنامه علمی-پژوهشی دانش زیستی ایران. ۳(۲): ۱۹-۲۶.
9. Aliabadi Farahani, M.H., Lebaschi, H., Shiranirad, A.M., Valadabadi, A.R., and Daneshian J. 2008. Effects 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.

10. Alishah, H.M., Heidari, R., Hassani, A., and Dizaji, A. 2006. Effect of water stress on some morphological and biochemical characteristics of purple Basil (*Ocimum basilicum*). Journal of Biological Sciences, 6(4): 763-767.
11. Baylis, G. 1975. The magnolioid mycorrhiza and mycotrophy in root systems derived from it. In: Endomycorrhiza (Eds Sanders, F. E., Moss, B. and Tinker, P. B.). Academic Press London, 373- 389.
12. Baon, J.B., Smith, S.E., and Alston, A.M. 1994. Growth and phosphorus uptake of rye with long and short root hairs: interaction with mycorrhizal infection. Plant and Soil, 167: 247-254.
13. Bates, L.S., Waldran, R.P., and Tear, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water studies. Plant and soil, 39: 205-208.
14. Bengough, A.G., Bransby, M.F, Hans, J., McKenna, S.J., Roberts, T.J., and Valentine, T. A. 2006. Root responses to soil physical conditions; growth dynamics from field to cell. Journal of Experimental Botany, 57: 437-447.
15. Bhosale, K.S., and Shinde, B.P. 2011. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on proline and chlorophyll content in *Zingiber officinale rosc* grown under water stress. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, 1(3): 172-176.
16. Good, A., and Zaplachinski, S. 1994. The effects of drought on free amino acid accumulation and protein syntesis in *Brassica napus*. Physiologia Plantarum, 90: 9–14.
17. Kaya, C., Ashraf, M., Sonmez, O., Aydemir, S., Levent-Tuna, A., and Cullu, M. A. 2009. The influence of arbuscular mycorrhizal colonisation on key growth parameters and fruit yield of pepper plants grown at high salinity. Scientia Horticulturae, 121(1-2): 1-6.
18. Kivimaenpae, M., Sutin, S., Karlsson, P.E., and Sellde, G. 2003. Cell structural changes in the needles of Norway spruce exposed to long-term ozone and drought. Annals of Botany, 92: 779-793.
19. Kothari, S.K. and Sing, U.B. 1996. Response of citronella Java (*Cymbopogon winterianus Jowitt*) to VA mycorrhizal fungi and soil compaction in relation to P supply. Plant and Soil, 178: 231-237.
20. Lahere, F., Leport, L., Petrialsky, M., and Chupport, M. 1993. Affetors of osmoinduced proline response in higher plants. Plant Physiology and Biochemistry, 31: 911-922.
21. Masoudi-Sadaghiani, F., Abdollahi- Mandoulakani, B., Zardoshti -Mohammad, R., Rasouli-Sadaghiani, M.H., and Tavakoli, A. 2011. Response of proline, soluble sugars, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) to different irrigation regimes in greenhouse condition. Australian Journal of Crop Science, 5(1): 55-60.

22. Misra, R.K., Dexter, A.R., and Alston, A.M. 1986. Maximum axial and radial growth pressures of plant roots. *Plant and Soil*, 95: 315-326.
23. Nelson, C.E., and Safir, G.R. 1982. Increased drought tolerance of mycorrhizal onion plants caused by improved phosphorus nutrition. *Planta*, 154: 407-413.
24. Neumann, E., and George, E. 2009. The effect of arbuscular mycorrhizal root colonization on growth and nutrient uptake of two different cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotypes exposed to drought stress. *Emir Faculty of Food and Agriculture*, 21 (2): 01-17.
25. Philips, J.M., and Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55:158-161.
26. Schübler, A., Schwarzott, D., and Walker, C. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 105(12): 1413-1421.
27. Smith, S.E. 1982. Inflow of phosphate into mycorrhizal and non-mycorrhizal plants of *Trifolium subterraneum* at different levels of soil phosphate. *New Phytologist*, 90: 293-303.
28. Smith, S.E., and Read, D. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. Third Edition. Academic Press. San Diego. California, USA, pp769.
29. Soha, E. Khalil., Abdel-Aziz Nahed., G., and Abou Leil. Bedour., H. 2010. Effect of water stress and ascorbic acid on some morphological and biochemical composition of *Ocimum basilicum* plant. *Journal of American Science*, 6(12): 33-44.
30. Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology*, 63(3): 995-1001.
31. Vogel-Mikuš, K., Pongrac, P., Kump, P., Nečemer, M., and Regvar, M. 2006. Colonisation of a Zn, Cd and Pb hyperaccumulator *Thlaspi praecox* Wulfen with indigenous arbuscular mycorrhizal fungal mixture induces changes in heavy metal and nutrient uptake. *Environmental Pollution*, 139(2): 362-371.
32. Whitmore, A.P., and Whalley, W.R. 2009. Physical effects of soil drying on roots and crop growth. *Journal of Experimental Botany*, 60: 2845-2857.
33. Wu, Q.S. and Xia, R.X. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *Journal of Plant Physiology*, 163: 417-425.