تولیدات گیاهی (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۸ شماره ۳، پاییز ۹۴

تأثیر تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر برخی از خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی کاهو *(Lactuca sativa* L.*)*

هدیه بدوی[۱]*، ناصر عالم زاده انصاری[۲]، محمد محمودی سورستانی[۳] و فرخنده اسکندری[۳]

۱*-نویسنده مسوول: دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
(attena1404@yahoo.com)

۲و۳- به ترتیب دانشیار و استادیار، علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۴- کارشناسی ارشد، زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۰

چکیده

بهره‌گیری از رابطه هم‌زیستی گیاه با قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا یکی از راهکارهای کاهش تنش خشکی بوده که اخیراً در کشاورزی به کار می‌رود. در این راستا یک آزمایش گلدانی بر روی گیاه کاهو به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در شرایط مزرعه‌ای در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گردید. فاکتور اول تنش خشکی شامل سه سطح رطوبتی D_1 (۱۰۰)، D_2 (۸۰) و D_3 (۶۰) درصد رطوبت ظرفیت زراعی بستر کشت و فاکتور دوم قارچ میکوریزا در ٦ سطح شامل: کاربرد سه گونه قارچ به نام‌های (G_1 (*Glomus mosseae*) ، G_2 (*G. intraradices*) ، G_3 (*G. fasciculatum*) و ترکیب سه گونه قارچی(G_1، G_2، G_3) G_4 در خاک استریل و هم‌چنین C_1 (شاهد ۱، عدم کاربرد قارچ در خاک غیر استریل) و C_2 (شاهد ۲، عدم کاربرد قارچ در خاک استریل). نتایج نشان داد، اثر تنش خشکی بر تمامی صفات به جز درصد کلونیزاسیون ریشه کاهو در سطح احتمال ($P\leq 0.01$) معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین وزن تر و خشک شاخساره در تیمار۱۰۰٪ و ٦۰٪ رطوبت ظرفیت زراعی خاک مشاهده شد. کاربرد قارچ میکوریزا بر تمامی صفات دارای اثر معنی دار بود. بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه در کاربرد گونه قارچی G1 بدست آمد. حضور قارچ G1 سبب بیش‌ترین وزن تر و خشک شاخساره در اکثر صفات گردید. با توجه به نتایج این آزمایش، در زمان بروز تنش خشکی جهت افزایش مقاومت گیاه کاهو اهوازی می‌توان گونه قارچی *Glomus mosseae* را به کار برد.

کلید واژه ها: خشکی، کاهو، قارچ میکوریزا، پرولین، کلروفیل

مقدمه

کاهو[۱]یکی از گیاهان تیره آفتابگردان[۲]، یکساله و بومی ناحیه مدیترانه‌ای می‌باشد این سبزی جز سبزیجات پرمصرف دنیا به شمار رفته و در تمام فصول سال مورد استفاده قرار می‌گیرد (حسنی‌زاده، ۱۳۸۳). کاهو برای تغذیه انسان ضروری بوده و به عنوان منبع مهمی از فیبر و ویتامین‌ها شناخته می‌شود (استیل[۳]، ۲۰۰۷). کاهوی رومین در مراحل ابتدایی رشد، ریشه عمیق ایجاد می‌کند و سپس آن را به مقدار کمی در سطح گسترش می‌دهد. به همین دلیل برای داشتن جذب مناسب و کارآمد، نیازمند مواد معدنی و آب فراوان در اطراف ریشه است (استیل، ۲۰۰۷). عدم انجام آبیاری منظم، ایجاد محیط غرقابی یا خشکی خاک در زمان برداشت موجب از دست رفتن کیفیت محصول کاهو می‌شود (پیوست و همکاران، ۱۳۸۸). به طور کلی، وجود تنش‌های زیستی و

1- *Lactuca sativa L.*
2- Asteraceae
3- Still

غیر زیستی سبب کاهش کیفیت و کمیت محصول نهائی خواهد شد (حسنی‌زاده، ۱۳۸۳).

شرایطی که رطوبت موجود در خاک به نقطه‌ای می‌رسد که گیاه قادر به جذب آب با سرعت کافی برای جبران تعرق نبوده، تنش خشکی می‌گویند (کافی و همکاران، ۱۳۸۱). این تنش یکی از عمده‌ترین تنش‌های محیطی محدودکننده عملکرد محصولات در سطح جهان بوده و تغییرات اخیر در اقلیم جهانی این پدیده را جدی‌تر کرده است (داوودی فرد و همکاران، ۱۳۸۹). ایران از جمله کشورهایی است که در اکثر نقاط آن تنش خشکی، موجب کاهش عملکرد، از بین رفتن حاصلخیزی خاک و در مواردی عدم امکان تداوم کشاورزی گردیده است (کافی و همکاران، ۱۳۸۱). مراحل ابتدایی رشد حساس‌ترین فرایند نسبت به تنش خشکی است و کمبود آب از راه تاثیر بر مؤلفه‌هایی نظیر هدایت هیدرولیکی بافت‌ها و خواص اسمزی یاخته، بر رشد گیاهان اثر گذار است (داوودی فرد و همکاران، ۱۳۸۹). کاهو از جمله محصولات حساس به تنش خشکی است که در سطح فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و سلولی به آن پاسخ داده و با ایجاد تغییراتی از تنش دوری کرده یا مقاومت به آن را افزایش می‌دهد (پورسل و همکاران[1]، ۲۰۰۴).

از جمله بارزترین اثرات خشکی در اکثر گیاهان حساس به آن، می‌توان به تخریب کلروپلاست‌ها و کاهش محتوای کلروفیل برگ‌ها (کافی و همکاران، ۱۳۸۱)، توقف رشد گیاهان و تجمع مواد قابل حل در سلول ها (پرولین) (معاونی، ۱۳۹۰)، همچنین افزایش میزان تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و در نتیجه آسیب دیدگی غشای سلولی و سرانجام نشت شیره سلولی (خزاعی، ۱۳۸۱) اشاره کرد. با توجه به وضعیت بحران آب در ایران و مصرف عمده آب در بخش کشاورزی، مطالعه و شناخت گیاهان متحمل به خشکی و انواع راهکارهای موجود به همراه مدیریت آب برای مقابله با تنش خشکی ضروری به نظر می‌رسد (کافی و همکاران، ۱۳۸۱). جهت کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی بر گیاه راهکارهای گوناگونی پیشنهاد شده است (پورسل و همکاران[2]، ۲۰۰۴). بخشی از سیستم‌های حفاظتی طبیعی گیاهان در برابر تنش، مشارکت با تعدادی از میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار (AMF)[3] از گسترده‌ترین میکروارگانیسم های خاکزی بوده که قادر به ایجاد رابطه هم‌زیستی با ریشه بسیاری از گیاهان می‌باشند. قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا متعلق به سلسله زیگومیست[4]، راسته گلومالز[5] می‌باشند. هم‌زیستی در تمام اکوسیستم‌های طبیعی حتی در شرایط نامناسب محیطی وجود دارد و می‌توان آن را به عنوان یک سیستم اختصاصی برای جذب و انتقال مواد غذایی با بازدهی بیش از ریشه تعریف کرد (پورسل و همکاران[6]، ۲۰۰۴). یکی از اثرات مهم قارچ‌های میکوریزایی تعدیل اثرات تنش خشکی است (ناوازیو و همکاران[7]، ۲۰۰۷). در مطالعات پیشین تأثیر تنش خشکی بر جنبه‌های متعددی از جمله تغییرات هورمون‌های گیاهی مانند آبسزیک اسید و سیتوکینین (برچمن و پارنیسک[8]، ۲۰۰۶)، جذب مستقیم آب توسط هیف‌های قارچ در خاک و انتقال آن به گیاه میزبان، افزایش تبادلات گازی برگ و میزان فتوسنتز (کاسوتا و همکاران[9]، ۲۰۰۳)، اسیمیلاسیون نیترات و فسفر (گورتس و همکاران[10]، ۲۰۰۵)، افزایش جذب آب از طریق افزایش هدایت هیدرولیکی برگ و فعالیت فتوسنتزی، تنظیم اسمزی و تغییر در انعطاف پذیری غشا سلولی (آنه و همکاران[11]، ۲۰۰۴) مورد ارزیابی قرار

1- Porcel *et al.*

2- Porcel *et al.*
3- Arbuscular Mycorrhizal Fungi
4- Zygomycete
5- Glomales
6- Porcel *et al.*
7- Navazio *et al.*
8- Brachman and Parsink
9- Kasuta *et al.*
10- Gurtes *et al.*
11- Anne *et al.*

گرفته است. هدف این مقاله روشن کردن تغییرات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و رشدی کاهو در شرایط تنش خشکی و هم‌زیستی قارچ میکوریزا می باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در پاییز سال ۱۳۹۱ به صورت کشت گلدانی در فضای مزرعه‌ای دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران صورت گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با دو واحد آزمایشی و ۱۸ ترکیب تیماری طراحی و اجرا شد. فاکتورها شامل: االف- میزان رطوبت در سه سطح : ۱۰۰ درصد رطوبت حجمی خاک در حالت ظرفیت زراعی (۲۸٪) (D_1)، ۸۰ درصد رطوبت حجمی خاک در حالت ظرفیت زراعی(۲۲/۴٪) (D_2)، ۶۰ درصد رطوبت حجمی خاک در حالت ظرفیت زراعی (۱۶/۸٪) (D_3)، ب- قارچ میکوریزا در شش سطح شامل: کاربرد قارچ میکوریزا گونه (*Glomus mosseae*) (G_1)، (*G. intraradices*) (G_2)، (*G. fasciculatum*) (G_3) و کاربرد مایه تلقیح ترکیب شده از سه گونه فوق الذکر در خاک استریل (G_4)، عدم کاربرد مایه تلقیح قارچی در خاک غیر استریل (شاهد۱) (C_1)، عدم کاربرد مایه تلقیح قارچی در بستر خاک استریل (شاهد۲) (C_2) می‌باشد.

مایه تلقیح اولیه قارچ میکوریزا از شرکت زیست فناور توران واقع در شهر شاهرود تهیه شد. به منظور تحریک فعالیت اسپورهای موجود و ایجاد کلنی و هم-زیستی با ریشه گیاه گندم (کشت تله)، ۱۵۰ گرم مایه تلقیح گونه‌های قارچی، در گلدان‌های ۵۰۰ گرمی حاوی خاک استریل با نسبت ۹:۱ (خاک مزرعه : ماسه) به مدت دو ماه قرار گرفت. خاک گلدان‌های اصلی (مخلوط خاک مزرعه و ماسه به نسبت ۱:۱)، جهت عاری شدن از وجود هر گونه موجود زنده و اسپور قارچ، به مدت سه روز متوالی در معرض گاز سمی متیل بروماید با غلظت ۱۰۰gr/m^2 قرارگرفت. بذور کاهوی اهوازی جهت سهولت انتقال نشا به گلدان اصلی، در سینی کشت حاوی بستر کوکوپیت کشت شده و پس از رسیدن گیاهچه‌ها به مرحله ۳ تا ۴ برگی (۴ هفته) به گلدان‌هایی با قطر دهانه ۱۹ و ارتفاع ۱۴ سانتی‌متر منتقل شدند. جهت تلقیح گیاهچه‌های جوان کاهو مقدار ۱۰۰ گرم مایه تلقیح قارچ یا پروپاگول (مخلوط اسپور قارچ، میسیلیوم‌های خارجی و قطعات ریشه گندم کلنی شده توسط قارچ میکوریزا) حاصل از کشت تله به کار رفت.

به منظور اعمال تیمار کم آبیاری، در ابتدا درصد رطوبت وزنی خاک در حالت ظرفیت زراعی ($\square v_{FC}$) و نقطه پژمردگی دائم ($\square v_{PWP}$) به روش وزنی در آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان اندازه‌گیری و پس از اعمال مقدار عددی وزن مخصوص ظاهری خاک، رطوبت حجمی آن در این دو نقطه رطوبتی محاسبه شد (۱۵/۴ =PWP[1]٪ و ۲۸=FC[2] ٪). جهت استقرار کامل گیاه، ۵ هفته پس از انتقال نشا کاهو به گلدان اصلی (در این مدت آبیاری بطور کامل صورت گرفت)، تیمار کم آبیاری به مدت ۴ هفته از ۱۵ بهمن تا ۱۵ اسفند اعمال شد. جهت تعیین میزان رطوبت خاک در هر تیمار، روزانه به طور تصادفی ۱۰ گلدان از هر سطح تیمار رطوبتی انتخاب شده و رطوبت حجمی خاک توسط دستگاه رطوبت‌سنج حجمی (TDR) مدل TRASE1 تعیین گشته و حجم آب مورد نیاز از روابط ۱ و ۲ محاسبه و به هر کدام از سطوح رطوبتی افزوده شد.

رابطه ۱: $Dn= (\square v_{FC} - \square v_{PWP})\times Zr_{(mm)}$

رابطه ۲: $V_{(L)}= Dn/1000 \times S$

Dn= عمق آبیاری، Zr= عمق ریشه بر حسب میلی‌متر

S= مساحت گلدان مورد نظر، V= حجم آب مورد نیاز در هر تیمار برحسب لیتر.

1- Permanent wilting point
2- Field capacity

تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی با استفاده از ترازوی دقیق (با دقت ۰.۰۱ گرم)، نشت الکترولیت (ژائو و همکاران [1]، ۱۹۹۲)، تجمع پرولین به روش بیتس و همکاران [2](۱۹۷۳)، و غلظت کلروفیل و کاروتنویید به روش پیشنهادی لیختن‌تالر و همکاران [3](۱۹۷۵) تعیین شد.کارایی مصرف آب از طریق نسبت بیومس خشک گیاه به مقدار آب مصرفی تعیین شد. جهت اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون ریشه، رنگ‌آمیزی به روش فیلیپس و هایمن [4] (۱۹۷۰) صورت گرفت و درصد کلونیزاسیون به روش شبکه خطوط [5] متقاطع جیوانتی و موسه [6] (۱۹۸۰) محاسبه گردید.
جهت تجزیه اطلاعات بدست آمده از نرم افزار آماری SPSS و آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده گردید.

نتایج و بحث

تعداد برگ

اعمال تنش خشکی بر تعداد برگ کاهو دارای اثر کاهشی بوده و در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی-دار ایجاد کرد. اعمال تیمار ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی با دو تیمار رطوبتی ۶۰ و ۱۰۰ درصد از نظر تعداد برگ، اختلاف معنی‌داری نداشت. بیشترین و کمترین تعداد برگ به ترتیب در گیاهان کشت شده در ۱۰۰ و ۶۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی بدست آمد. همچنین کاربرد گونه‌های قارچ میکوریزا بر تعداد برگ کاهو در سطح احتمال ۱ درصد دارای اثر افزایشی معنی-دار بود بیشترین و کمترین تعداد برگ به ترتیب در تلقیح گیاهان کاهو با گونه *Glomus mosseae* و شاهد ۲ بدست آمد (جدول ۱). اسماعیل‌پور و همکاران (۱۳۹۲) مشاهده کردند با اعمال تنش خشکی تعداد برگ در گیاه مرزه کاهش می‌یابد. با افزایش شدت و مدت بروز تنش خشکی کاهش تعداد برگ در گندم مشاهده شد. این کاهش را می‌توان به اثر مستقیم بر روی تقسیم سلولی در اثر کاهش سنتز نوکلئیک اسیدها و همچنین افزایش تجزیه آن‌ها نسبت داد (عبدالله و الخوشیبان [7]، ۲۰۰۷).

سطح برگ

اثرات ساده تنش خشکی و کاربرد مایه تلقیح قارچی بر سطح برگ کاهو در سطح احتمال یک درصد معنی-دار بود. اعمال تنش خشکی منجر به کاهش شدید سطح برگ کاهو نسبت به گیاهان کشت شده در شرایط آبیاری مطلوب گردید. بیشترین و کمترین مقدار سطح برگ در آبیاری ۱۰۰ و ۶۰ درصد رطوبت خاک بدست آمد (جدول ۱). کاهش سطح برگ در اثر تنش خشکی ناشی از اثر منفی تنش بر میزان طویل شدن سلولی مربوط می‌شود که سبب کاهش حجم و تعداد سلول‌های تولید شده می‌گردد (عبدالله و الخوشیبان، ۲۰۰۷). گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان شاهد، از سطح برگ بیشتری برخوردار بودند. بیشترین سطح برگ در کاهوی هم-زیست با *G. intraradices* بدست آمد و کمترین مقدار نیز در گیاهان شاهد ۱ مشاهده شد (جدول ۱). بهبود روابط آبی گیاهان میزبان و پاسخ‌های رشدی یک اثر سازگار از کلونیزاسیون قارچ میکوریزا می‌باشد. قارچ میکوریزا دارای توانایی جذب دی اکسید کربن بوده و رشد گیاه میزبان را افزایش داده و نتیجه آن گسترش بیشتر سطح برگ گیاهان میکوریزی نسبت به شاهد است (رویز لوزانو و همکاران، ۱۹۹۵).

وزن تر و خشک شاخساره کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده خشکی و قارچ میکوریزا بر وزن تر و خشک شاخساره کاهو در سطح احتمال یک درصد کاملاً معنی‌دار است. اثر متقابل خشکی و قارچ بر این صفات معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین اطلاعات حاصل از اثر تنش خشکی بر وزن تر و خشک شاخساره نتایجی مشابهی را نشان دادند. بیشترین و کمترین وزن تر و خشک شاخساره کاهو به ترتیب در

1- Zhao *et al.*
2- Bates *et al.*
3- Lichtenthaler *et al.*
4- Phillips & Hayman
5- Grid line method
6- Giovannetti & Mosse
7-Abdalla & El-Khoshiban

۱۰۰ و ۶۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی بدست آمد (جدول ۱). رویز لوزانو و همکاران[1] (۲۰۰۱) در تحقیقی بر روی کاهو مشاهده کردند تنش خشکی منجر به کاهش قابل توجه بیوماس ماده خشک گیاهان می‌شود. به نظر می‌رسد، در شرایط تنش خشکی توسعه سلولی کاهش یافته و این امر منجر به کاهش رشد و وزن تر شاخساره گیاهان می‌شود. کاهش وزن تر شاخساره احتمالاً به دلیل کاهش سطح برگ، فتوسنتز، ساخت و انتقال مواد می‌باشد. همچنین، کاربرد قارچ میکوریزا موجب افزایش وزن تر شاخساره کاهو در مقایسه با گیاهان شاهد ۱ (غیر استریل) بدون کاربرد قارچ شد. به طور کلی بیشترین و کمترین مقدار وزن تر شاخساره به ترتیب در گیاهان تلقیح شده با مایه قارچ ترکیبی و گیاهان شاهد ۱ بدست آمد. آزکون و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیقی بر روی کاهو در شرایط مشابه، افزایش وزن تر گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان شاهد را مشاهده کردند. اثر تلقیح گونه‌های قارچ میکوریزا بر وزن خشک شاخساره کاهو نشان داد که بیشترین مقدار وزن خشک در گیاهان میکوریزی شده با گونه (*G. mosseae*) و کمترین مقدار در گیاهان شاهد ۱ (خاک غیر استریل) بدست آمد. بیشترین مقادیر وزن تر و خشک شاخساره همواره در گیاهان میکوریزی مشاهده شد.

نتایج گزارشات پیشین نشان می‌دهد کاهش وزن خشک بخش هوایی در شرایط تنش خشکی تحت تاثیر کاهش رشد ریشه، ناشی از کاهش سطح برگ است. وجود شبکه گسترده هیف‌های خارجی قارچ میکوریزا به عنوان ادامه سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان قادر است آب و عناصر غذایی (به ویژه فسفر و هم چنین عناصر کم تحرک نظیر مس و روی) (آزکون و همکاران، ۲۰۰۸)، را از منافذ بسیار ریز و دور از دسترس گیاه جذب و به گیاه منتقل نماید و موجب افزایش وزن تر و خشک شاخساره گیاهان هم‌زیست با قارچ میکوریزا نسبت به گیاهان غیر هم‌زیست گردد (نادیان، ۱۳۹۰). رویز لوزانو و همکاران[2] (۲۰۰۱) مشاهده کردند تلقیح گیاه کاهو با گونه‌های قارچ میکوریزا ماده خشک گیاه را به میزان ۱۴ تا ۲۰ درصد بهبود می‌بخشد.

نشت الکترولیت

مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر میزان نشت الکترولیت سلول‌های برگ کاهو نشان می‌دهد افزایش سطح تنش خشکی، باعث افزایش نشت سلولی در گیاهان خواهد شد. تفاوت بین مقادیر حاصل از گیاهان در ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی و دو سطح دیگر رطوبتی در سطح احتمال ($P<0.01$) کاملا معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار نشت سلولی به ترتیب در ۶۰ و ۱۰۰ درصد رطوبت بدست آمد (جدول ۱).

با توجه به جدول ۱، کاربرد قارچ میکوریزا در بستر کشت کاهو نسبت به گیاهان شاهد ۱ و ۲ موجب کاهش موثر نشت سلولی برگ شد. تفاوت‌ها بین مقادیر حاصل از گیاهان میکوریزی شده با گونه های قارچی در سطح احتمال ($P\leq0.01$) معنی دار نبود. بیشترین مقدار نشت الکترولیت در شاهد ۲ و کمترین مقدار در گیاهان هم-زیست با قارچ ترکیبی بدست آمد.

غشای سیتوپلاسمی سلول‌های گیاهان تحت تنش، از پایداری کمی برخوردار بوده، همچنین گیاهان تحت تنش در مقایسه با گیاهان شرایط معمول از Ec بالاتری برخودار هستند ن بالاتر بودن Ec نشان دهنده پایین بودن پایداری غشای سیتوپلاسمی می‌باشد. درنتیجه تحت شرایط تنشی، غشا از پایداری کمی برخوردار بوده و در نتیجه میزان نشت مواد درون سلولی در آن‌ها افزایش می-یابد. در حالیکه گیاهان مقاوم به تنش خشکی، نشت مواد درون سلولی نسبت به گیاهان غیر مقاوم کمتر است (ایلیکایی و همکاران، ۱۳۸۹). در این آزمایش بیش‌ترین مقدار نشت الکترولیت سلولی مربوط به گیاهان شاهد ۲ و۶۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی و کم‌ترین مقدار در گیاهان هم‌زیست با فاسیکولاتوم و اینترارادیسز مربوط می‌باشد. به عبارت دیگر قارچهای همزیست با گیاهان

1- Ruiz Lozano *et al.*

2- Ruiz lozano *et al.*

توانستند اثرات تنش خشکی را کاهش دهند و نشت الکترولیت در گیاهان کم کنند و در جایی که در خاک کاملا استریل شده بیشترین میزان نشت سلولی اتفاق افتد.

پرولین

اثرات ساده و متقابل تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر میزان تجمع پرولین در برگ کاهو معنی‌دار بود. تنش خشکی منجر به افزایش قابل توجه میزان تجمع پرولین در برگ گیاه کاهو شد. بیشترین و کمترین مقدار تجمع پرولین به ترتیب در گیاهان در ۶۰ درصد و ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی ظاهر شد (جدول ۱). تلقیح گیاهان کاهو با گونه‌ی قارچ (*G2*) نسبت به گیاهان شاهد ۱ و ۲ کشت شده بدون کاربرد مایه تلقیح قارچی بر میزان تجمع پرولین در برگ کاهو اثر کاهشی معنی-داری در سطح احتمال یک درصد ایجاد کرد. گیاهان شاهد ۱ و ۲ و هم‌چنین گیاهان تلقیح شده با گونه (*G1* و *G3*) مقادیر بالایی از تجمع پرولین را نشان دادند (جدول ۱). اثرات متقابل تنش خشکی و تیمار قارچ میکوریزا نیز نشان داد که با افزایش تنش خشکی میزان پرولین در گیاهان را افزایش می‌دهد. به طوریکه در ۶۰ درصد رطوبت، میزان تجمع پرولین نسبت به رطوبت ۱۰۰ درصد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اما گیاهان تلقیح شده با گونه‌ی G2 نسبت به دیگر سطوح تیماری کمتر تحت تاثیر سطوح تنش رطوبتی قرار گرفتند.. به طوری که کمترین مقدار پرولین در کلیه تیمارهای خشکی مربوط به آن ها بود(جدول ۲). در حالیکه در برخی از تیمارها کاربرد برخی از گونه سبب تجمع پرولین شد مثل G3. این نتایج با مشاهدات آزکون و همکاران[1] که در سال (۲۰۰۸) دریافتند گیاهان میکوریزیی در شرایط تنش تجمع پرولین بطور نسبی بیشتر از گیاهان شاهد در شرایط رطوبتی است متفاوت بود. زیرا گونه های مختلف قارچ اثرات متفاوتی را بروز دادند. در برخی از مطالعات نشان دادند که گیاهان میکوریزی قرار گرفته در شرایط تنش خشکی نسبت به گیاهان غیر میکوریزی میزان بیش‌تری از پرولین، قند محلول و دیگر اسید آمینه‌های آزاد را در بافت‌های خود تجمع می کنند (رویز لوزانو و همکاران، ۱۹۹۵).

محتوای کلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و متقابل تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر محتوای کلروفیل کل برگ کاهو در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. در شرایط تنش خشکی محتوای کلروفیل کل برگ کاهو کاهش یافت. بیشترین و کمترین مقادیر کلروفیل کل به ترتیب در شرایط رطوبتی ۱۰۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بدست آمد (جدول ۱). نتایج مطالعات پیشین نشان می-دهد که خشکی می‌تواند منجر به کاهش کارائی فتوسنتز شود. هم‌چنین کاهش کلروفیل را می‌توان به عنوان شاخص تنش اکسیداتیو در گیاهان تحت تنش خشکی در نظر گرفت (اسرا و الهندی[2]، ۲۰۱۱). محتوای کلروفیل کل بدست آمده از گیاهان میکوریزی شده با (*G2*) و قارچ ترکیبی نسبت به (*G1*) و (*G3*) تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت. هم‌چنین اختلافات بین گیاهان شاهد ۲ و دیگر سطوح تیمار قارچی معنی‌دار بود. به ترتیب در گیاهان شاهد ۱ و تلقیح شده با قارچ*G2* و مایه تلقیح ترکیبی مقادیر بالایی از کلروفیل مشاهده شد و کمترین میزان در گیاهان شاهد ۲ بدست آمد (جدول ۱). برخی محققین اظهار داشتند که غلظت کلروفیل در گیاهان میکوریزایی نسبت به گیاهان غیر میکوریزایی بالاتر است و در نتیجه این گیاهان از مقادیر فتوسنتزی بالاتری برخوردار خواهند بود (سونگ[3]، ۲۰۰۵).

اثر متقابل تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر محتوای کلروفیل کل علیرغم اینکه گیاهان شاهد ۱ نسبت به گیاهان میکوریزی در شرایط آبیاری مطلوب از محتوای کلروفیل کل بیشتری برخودار بودند اما با اعمال تنش خشکی کاهش محتوای کلروفیل کل در این گیاهان

1- Azcon *et al.*

2- Asrar &Elhindi

3- Song

نسبت به گیاهان تلقیح شده توسط گونه‌های قارچ میکوریزا شدیدتر بود. بیشترین مقدار کلروفیل کل در گیاهان تلقیح شده با مایه تلقیح ترکیبی در ۱۰۰ درصد رطوبت و کمترین مقدار در گیاهان شاهد ۲ و ۶۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی بدست آمد (جدول ۲). بسته شدن روزنه‌ها در اغلب گیاهان در پاسخ به تنش خشکی، قبل از هر گونه تغییر در پتانسیل آب برگ یا محتوای آب برگ رخ می‌دهد. طولانی شدن زمان تنش و بسته شدن روزنه‌ها به مدت طولانی می‌تواند منجر به تخریب کلروپلاست گردد (اطهر و اشرف[1]،۲۰۰۵). در تنش خشکی میزان کلروفیل کاهش می‌یابد که از دلایل آن می‌توان به مصرف بیش‌تر گلوتامات پیش ماده ساخت کلروفیل و پرولین، و مصرف نیتروژن در تولید و تجمع بیش‌تر پرولین در شرایط تنشی اشاره کرد (حیدری شریف‌آبادی[2]، ۲۰۰۱). گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا در شرایط تنش خشکی نسبت به گیاهان شاهد از مقادیر کلروفیل کل بیش‌تری برخوردار بودند. با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق می‌توان این‌گونه استنباط کرد که، گیاهان میکوریزی کاهو در شرایط تنش شدید خشکی به علت داشتن رابطه هم‌زیستی با قارچ میکوریزا از وضعیت تغذیه‌ای بهتری نسبت به گیاهان شاهد برخوردارند (سابرامانیان و چارست[3]، ۱۹۹۹). در این حالت گیاهان میکوریزی قرار گرفته در شرایط تنش خشکی نسبت به گیاهان شاهد در همان شرایط رطوبتی کم‌تر دچار محدودیت نیتروژن برای سنتز کلروفیل و پرولین می‌شوند. گزارشات بسیاری نشان می‌دهند، حفاظت میکوریزایی قارچ‌های درون گیاهی در برابر تنش اکسیداتیو ایجاد شده توسط تنش خشکی، ممکن است یک ساز و کار مهم برای حفاظت گیاه میزبان در برابر خشکی توسط قارچ‌های میکوریزایی باشد (سونگ، ۲۰۰۵).

1- Athar & Ashraf
2- Hedari Sharif Abadi *et al.*
3- Sabramanian & Charest

محتوای کاروتنوئید

تنش خشکی سبب کاهش کاروتنوئید در برگ گیاهان کاهو شد به طوری که بین مقادیر محتوای کاروتنوئید در سه سطح رطوبتی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد به وجود آمد. بیشترین مقدار کاروتنوئید در رطوبت ۱۰۰ درصد و کمترین مقدار در ۶۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول۱). یکی از دلایل کاهش کاروتنوئید در شرایط تنشی، تخریب بتاکاروتن و زآگزانتین در گیاهان می‌باشد (انتشاری و حاج باقری[4]، ۲۰۱۱). نتایج اثر تلقیح قارچ میکوریزا بر محتوای کاروتنوئید برگ کاهو در جدول ۱، نشان می‌دهد کاربرد مایه تلقیح ترکیب سه گونه قارچی نسبت به گیاهان شاهد ۲ محتوای کاروتنوئید در برگ کاهو را به طور معنی‌داری افزایش داد. بیشترین مقدار در گیاهان هم‌زیست با ترکیب سه گونه قارچی و کمترین مقدار در گیاهان شاهد ۲ بدست آمد. هم‌زیستی گیاهان گوجه فرنگی با قارچ میکوریزا موجب افزایش محتوای کاروتنوئید نسبت به گیاهان شاهد شد (عبدل لاطف و چائوکسینگ[5]، ۲۰۱۱).

درصد کلونیزاسیون

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به درصد کلونیزاسیون ریشه، مشاهده شد تنش خشکی و همچنین اثر متقابل تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر میزان کلونیزاسیون قارچ در ریشه کاهو معنی‌دار نبود. تنها اثر ساده تلقیح قارچ میکوریزا بر این پارامتر معنی‌دار شد. مقادیر بدست آمده از درصد کلونیزاسیون ریشه در شرایط آبیاری مطلوب و ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۱). بیشترین درصد تلقیح ریشه در ۸۰ درصد رطوبت و کمترین مقدار در ۶۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۲). نتایج حاصل از مطالعات کوهلر و همکاران[6] (۲۰۰۹) بر کاهو و نادیان (۱۳۹۰) بر

4- Enteshari & Hajbagheri
5- Abdel Latef & Chaoxing
6- Kohler *et al.*

روی سورگوم نیز نشان می‌دهد در شرایط تنش خشکی درصد کلونیزاسیون ریشه گیاهان به طور موثری کاهش می‌یابد در صورتی که پورسل و همکاران (۲۰۰۴) بر روی کاهو به یافته‌هایی بر خلاف نتایج فوق دست یافتند. چنین پاسخ‌های متفاوت کلونیزاسیون گیاهان میکوریزایی نسبت به تنش خشکی می‌تواند علاوه بر شرایط خاک و شدت تنش خشکی به مولفه‌های فیزیولوژیکی گیاه مانند پتانسیل آب برگ و میزان انباشت تنظیم‌کننده‌های اسمزی نظیر پرولین مربوط باشد (نادیان، ۱۳۹۰).

کاربرد مایه تلقیح قارچ میکوریزا در بستر کشت کاهو نسبت به گیاهان شاهد اثر قابل توجهی بر درصد کلونیزاسیون ریشه داشت اختلاف بین سطوح تلقیح قارچ میکوریزا و گیاهان شاهد ۱ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. گیاهان تلقیح شده با گونه قارچ (*G. fasciculatum*) نسبت به گیاهان شاهد ۱، درصد کمتری از کلونیزاسیون را بدست دادند. به نظر می‌رسد این گونه نسبت به دیگر گونه‌های قارچ میکوریزا و گونه‌های قارچ طبیعی موجود در خاک منطقه از سازگاری کمتری برخوردار است. بیشترین میزان درصد کلونیزاسیون ریشه در گیاهان تلقیح شده با گونه قارچیG1 و کمترین درصد در ریشه گیاهان تلقیح شده با گونهG3 بدست آمد. در گیاهان شاهد ۲ هیچگونه اثری از آلودگی ریشه توسط ساختارهای قارچ میکوریزا مشاهده نشد. درصد کلونیزاسیون بالای یک گونه قارچی در شرایط تنش خشکی در بستر کشت، نشان‌دهنده سازگاری بهتر این گونه و یا توانایی کلونیزاسیون تهاجمی این گونه در شرایط سخت می‌باشد. قارچ‌های سازگار می‌توانند مقاومت گیاه میزبان به خشکی را از طریق حفظ دوره‌های رشد تحت شرایط تنشی و امکان جذب بیش‌تر آب و بالا بردن کارائی گیاه افزایش دهند (رویز لوزانو و همکاران، ۱۹۹۵).

کارائی مصرف آب

در این تحقیق مشاهده شد، اعمال تنش خشکی و تلقیح قارچ میکوریزا بر کارائی مصرف آب گیاهان کاهو دارای اثر معنی‌دار است. هر چند اثر متقابل این دو تیمار معنی‌دار نبود. بین مقادیر بدست آمده در دو تیمار ۱۰۰ و ۸۰ درصد رطوبت نسبت به ۶۰ درصد رطوبت در سطح احتمال ۱ درصد اختلافات معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین مقدار کارائی مصرف آب به ترتیب در ۶۰ و ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول 1). به طور کلی گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان شاهد از کارائی مصرف آب بالاتری برخوردار بودند. بیشترین مقدار کارائی مصرف آب در گیاهان هم‌زیست با (*G. mosseae*) و کمترین مقدار نیز در شاهد ۱ بدست آمد (جدول 1). تلقیح گیاهان رز توسط قارچ میکوریزا (هندرسون و دیویس[1]، ۱۹۹۰) موجب افزایش کارائی مصرف آب شد. شاخص راندمان مصرف آب برای ارزیابی بهتر میزان محصول و آب جهت به دست آوردن محصول مناسب و قابل عرضه به بازار و تولید بیوماس بالا توسط گیاهان به کار می‌رود (هات فیلد[2]، ۲۰۰۳). مکانیسم‌های متفاوتی برای چگونگی اثر قارچ میکوریزا در شرایط کم آبی در گیاهان میزبان بیان شده است. در تنش خشکی ممکن است کلونیزاسیون قارچ میکوریزا موجب تغییر موفولوژی و طول ریشه گیاهان هم‌زیست و افزایش دسترسی این گیاهان به حجم بیشتری از خاک گردد (کایا و همکاران[3]، ۲۰۰۳).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی پارامترهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه کاهو تحت تاثیر هم‌زیستی قارچ میکوریزا و شرایط تنش خشکی نشان می‌دهد، در

1- Henderson & Davies
2- Hotfild
3- Kaya *et al.*

جدول ۱- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده کاهو تحت تأثیر سطوح خشکی و هم‌زیستی قارچ میکوریزا

تیمارها		تعداد برگ (در گیاه)	سطح برگ (سانتی متر مربع در بوته)	وزن تر شاخساره (گرم در بوته)	وزن خشک شاخساره (گرم در بوته)	نشت الکترولیت (درصد)	تجمع پرولین (میلی گرم بر گرم)	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم)	کاروتنوئید (میلی گرم بر گرم)	کلونیزاسیون ریشه (درصد)	کارائی مصرف آب خالص
سطوح تنش خشکی بر حسب FC (%)	100	۲۹.۵ a	۱۴۷۱/۶ a	۹۵/۷ a	۱۵/۷۳ a	۶/۸۷ a	۱۰/۲۹ c	۴/۶۴ a	۱/۸۱ a	۳۹/۵۵ ab	۱۳/۳۶ b
	80	۲۸.۳ ab	۱۳۵۳/۸ b	۸۹/۲ a	۱۴/۲۳ ab	۱۲/۲۳ ab	۱۲/۴۵ b	۳/۶۳ b	۱/۶۶ b	۴۰/۸۳ a	۱۴/۷۷ b
	60	۲۷.۱ b	۱۲۵۵/۵ b	۸۰/۳۳ b	۱۳/۲۹ b	۱۳/۲۹ b	۱۵/۸۲ a	۲/۴۰ c	۱/۴۰ c	۳۵/۰۵ b	۱۷/۷۵ a
سطوح کاربرد قارچ میکوریزا	(C_1)	۲۷ b	۱۲۰۹/۴ c	۷۲/۴۴ b	۱۱/۴ c	۸/۹۹ ab	۱۴/۱۹ a	۴/۴۵ a	۱/۸ b	۳۹/۲۲ c	۱۲/۱۸ c
	(C_2)	۲۶/۴ b	۱۲۵۴/۱ bc	۹۱/۲۹ a	۱۴/۰۷ b	۹/۹۰ a	۱۳/۶۱ ab	۱/۹۱ d	۱/۲ d	۰/۰۰ e	۱۴/۸۴ b
	(G_1)	۳۰/۷ a	۱۴۲۶/۹ a	۹۲/۸۵ a	۱۷/۳۴ a	۸/۶۷ b	۱۳/۴۴ ab	۳/۴ b	۱/۳ cd	۶۰/۶۶ a	۱۸/۴۱ a
	(G_2)	۲۹/۹ a	۱۴۶۶/۶ a	۹۱/۲۰ a	۱۴/۷۳ b	۷/۲۸ b	۹/۳۲ c	۴/۱۹ a	۱/۹ b	۵۳/۸ ab	۱۴/۵۴ bc
	(G_3)	۲۸ b	۱۴۱۶/۵ a	۹۱/۸۵ a	۱۶/۸۴ ab	۸/۷۱ b	۱۵/۲۰ a	۲/۷۴ c	۱/۴ c	۳۰/۱۱ d	۱۶/۷۵ ab
	(G_4)	۲۷/۹ b	۱۳۸۸/۵ ab	۹۳/۹۰ a	۱۴/۱۱ b	۷/۱۴ b	۱۱/۳۶ bc	۴/۶۶ a	۲/۱ a	۴۹/۱۱ b	۱۵/۰۵ b

در هر ستون حروف مشابه نمایانگر عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ ٪ می باشد.

جدول ۲- میانگین اثر متقابل تنش خشکی و هم‌زیستی قارچ میکوریزا بر صفات اندازه‌گیری شده کاهو

سطوح تنش خشکی و تیمار قارچ	تجمع پرولین (میلی گرم بر گرم)	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم)
D_1C_1	۸/۵۸ ef	۶/۵۳ a
D_1C_2	۱۰/۲۷ def	۲/۰۹ ghi
D_1G_1	۱۲/۴۴ be	۳/۲۸ def
D_1G_2	۷/۲۹ f	۵/۱۷ b
D_1G_3	۱۵/۷۹ ab	۳/۸۶ cde
D_1G_4	۷/۳۸ f	۶/۸۸ a
D_2C_1	۱۶/۰۷ ab	۵/۰۹ b
D_2C_2	۱۶/۳۴ ab	۲/۰۸ ghi
D_2G_1	۹/۶۰ ef	۴/۱۹ bcd
D_2G_2	۹/۵۹ ef	۴/۶۳ bc
D_2G_3	۱۴/۷۷ abc	۱/۷۰ hi
D_2G_4	۸/۳۱ ef	۴/۱۰ bcd
D_3C_1	۱۷/۹۱ a	۱/۷۴ b
D_3C_2	۱۴/۲۲ ad	۱/۵۵ i
D_3G_1	۱۸/۲۸ a	۲/۷۳ fgh
D_3G_2	۱۱/۰۸ cf	۲/۷۵ bc
D_3G_3	۱۵/۰۴ abc	۲/۶۴ fi
D_3G_4	۱۸/۳۸ a	۲/۹۹ efg

D_1: (۱۰۰ درصد)، D_2: (۸۰ درصد) و D_3: (۶۰ درصد) رطوبت ظرفیت زراعی بستر کشت؛ G_1: *Glomus mosseae*، G_2: *G. intraradices*، G_3: *G. fasciculatum*، (ترکیب سه گونه قارچی G_1، G_2، G_3) G_4.

تنش خشکی کاهشی در میزان فعالیت سیستم فتوسنتزی و به دنبال آن کاهش وضعیت آب برگ و دیگر فاکتورهای رشدی رخ می‌دهد. از طرفی تلقیح گیاهان با قارچ میکوریزا موجب بهبود شرایط رشدی می‌گردد. با توجه به نتایج بدست آمده در این آزمایش بیشترین میزان کارائی در شرایط تنش تنش خشکی در گونه‌های قارچ *Glomus mosseae* و *G. intraradices* و ترکیب سه گونه قارچ مشاهده شد. در شرایط تنش خشکی بیش‌ترین مقادیر سطح برگ، تعداد برگ، وزن تر و خشک شاخساره، محتوای آب نسبی برگ و کارائی مصرف آب و هم‌چنین کمترین مقادیر نشت الکترولیت در گیاهان هم‌زیست با گونه‌های قارچ مذکور نسبت به دیگر سطوح تیمار قارچی بدست آمد. بطور کلی می‌توان اظهار داشت، این مشاهدات نتیجه‌ای از اثرات فیزیکی، تغذیه‌ای، فیزیولوژیکی و سلولی هم‌زیستی قارچ میکوریزا بر گیاه می‌باشد و افزودن قارچ میکوریزا به بستر کشت گیاهان کاهو و به طور ویژه گونه قارچی *Golmus mosseae* در شرایط تنش خشکی، ضمن تعدیل اثرات تنش می‌تواند گیاه را در برابر عوامل نامساعد محیطی محفوظ نگه‌دارد.

منابع

۱. اسماعیل‌پور، ب.، جلیل‌وند، پ. و هادیان، ج. ۱۳۹۲. تاثیر تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد مرزه (Satureja hortensis L.)، نشریه بوم شناسی کشاورزی، ۵ (۲): ۱۶۹-۱۷۷.

۲. ایلیکایی، م. ن.، حبیبی، د.، پاک‌نژاد، ف.، خدابنده، ن.، بوجار ع. و صدیقی ف. ۱۳۸۹. تاثیر کلروکولین کلراید (CCC) و زمان محلول پاشی بر عملکرد، صفات فیزیولوژیک و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت ذرت (*Zea mays* cv. Sc 704) در شرایط تنش خشکی. مجله دانش نوین کشاورزی، ۶ : ۱-۱۱.

۳. پیوست، غ.ع. ۱۳۸۸. سبزیکاری. انتشارات دانش پذیر، صص: ۲۲۴-۲۴۱.

۴. حسنی‌زاده، ح. ۱۳۸۳. پرورش سبزی در باغ و خانه، تهران، انتشارات پرتوی دانش، ۲۲۴ ص.

۵. خزاعی، ح. ر. و کافی، م. ۱۳۸۱. اثر تنش خشکی بر رشد ریشه و تخصیص ماده خشک بین ریشه و اندام‌های هوایی در گندم زمستانه. پژوهش‌های زراعی ایران، ۱: ۴۱-۵۰.

۶. داوودی فرد، م.، حبیبی، د.، پاک نژاد، ف.، فاضلی، ف. و فرهانی پاد، پ. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر باکتری‌های محرک رشد و محلول پاشی اسیدهای آمینه و اسید سالیسیلیک بر روی فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان تحت شرایط تنش خشکی در گیاه گندم، مجله زراعت و اصلاح نباتات، ۴ : ۱۱-۳۶.

۷. کافی، م. و دامغانی، ع.۱۳۸۱. مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۴۶۷.

۸. معاونی، پ.۱۳۹۰. بررسی اثرات تنش خشکی بر برخی آنزیم‌های آنتی اکسیدانت و پرولین در سورگوم. فصلنامه علمی-پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، دوره ۳ (۱): ۲۴-۳۰.

۹. رنادیان، ح. ۱۳۹۰. اثر تنش خشکی و هم زیستی میکوریز بر رشد و جذب فسفر توسط دو رقم سورگوم متفاوت در یخت شناسی ریشه. مجله علوم وفنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵: ۱۲۷-۱۴۰.

10. Abdalla, M.M., and El-Khoshiban, N.H. 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic, pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticium aestivum* cultivars. Journal of Applied Sciences Research, 3(12): 2062-2074.

11. Abdel Latef, A.A. H., and Chaoxing, H. 2011. Arbuscular mycorrhizal influence on growth, photosynthetic pigments, osmotic adjustment and oxidative stress in tomato plants subjected to low temperature stress. Acta Physiologiae Plantarum, 33: 1217–1225.

12. Ane, J.M., Kiss, G.B., Riely, B.K., Pennmetsa, R.V., Oldroyd, G.E.D., Ayax, C., Levy, J., Debelle, F., Baek, J.M., and Kalo, P. 2004. *Medicago truncatula* DMI1 required for bacterial and fungal symbioses in legumes. Science, 303: 1364–1367.

13. Asrar, A., and Elhindi, K.M. 2011. Alleviation of drought stress of marigold *(Tagetes ereca*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. Saudi Journal of Biological Sciences, 18: 93-98.

14. Athar H.R., Ashraf, M. 2005. Photosynthesis under drought stress, Taylor & Francis Group, LLC, pp: 1-41.

15. Azcon R., Rodriguez R., Amora-Lazcano E., and Ambrosano E. 2008. Uptake and metabolism of nitrate in mycorrhizal plants as affected by water availability and N concentration in soil. European Journal of Soil Science, 59: 131–138.

16. Bates L.S., Waldren, R.P., and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil, 39: 7- 205.

17. Brachman, A., and Parniske, M., 2006. The most important symbiosis on earth. Soil Biology, 4: 239 .

18. Enteshari, S.H., and Hajbagheri, S. 2011. Effect of mycorrhizal fungi on photosynthetic pigments, root colonization and morphological characteristic of salt stressed *Ocimum basilicum* L. Iranian Journal of Plant Physiology, 1(4): 215-222.

19. Geurts, R., Fedorova, E., and Bisseling, T. 2005. Nod factor signaling genes and their function in the early stages of Rhizobium infection. Current opinion in plant biology, 8: 346–352.

20. Giovannetti, M., and Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular infection in roots. New Phytologist, 84: 489-500.

21. Hatfield, J., Sauer, T., and Pruger, J.H. 2001. Managing soil to achieve greater water use efficiency. Agronomy Journal, 93: 271-280.

22. Hedari Sharif Abadi, H. 2001. Plant aridy and drought. Research Institute of Forests and Rangelands, pp: 1-199.

23. Henderson, J.C., and Davies, F.T. 1990. Drought acclimation and the morphology of mycorrhizal *Rosa hybrida* L. cv Ferdy is independent of leaf elemental content. New Phytologist, 115: 503–510.

24. Kaya, C., Higgs, D., Kirnak, H., and Tas, I. 2003. Mycorrhizal colonization improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (*Citullus lanatus* Thunb.) grown under well-watered and water stressed conditions. Plant Soil, 253: 287–292.

25. Kohler, J., Antonio Hernandes J., Caravaca F., and Roldan A. 2009. Induction of antioxidant enzymes is involved in the greater effectiveness of a PGPR versus AM fungi with respect to increasing the tolerance of lettuce to severe salt stress. Environmental and Experimental Botany, 65: 245-252.

26. Kosuta, S., Chabaud, M., Lougnon, G., Gough, C., Denarie, J., Barker, D.J., and Becard, G. 2003. A diffusible factor from arbuscular mycorrhizal fungi induces

symbiosis-specific MtENOD11 expression in roots of *Medicago truncatula*. Plant Physiology, 131: 952-962.

27. Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic bio membranes. In: Packer L., Douce R Eds, Methods in enzymology. Plant cell membranes. New York: Academic PRESS, 350-382.

28. Navazio, L., Moscatiello R., Genre A., Nover, M., Baldan B., Bonfante P., and Mariani P. 2007. The arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* induces intracellular calcium changes in soybean cells, Caryologia, 60: 137-140.

29. Phillips, J.M., and Hayman, D.S. 1970. Improved procedure of clearing roots and staining parasitic and vesicular- arbuscular mycorrhiza fungi for rapid assessment of infection. Transaction of British Mycological Society, 55: 159-161.

30. Porcel R., Azcon R., and Ruiz-Lozano, J.M. 2004. Evaluation of the role of genes encoding for D1-pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5CS) during drought stress in arbuscular mycorrhizal *Glycine max* and *Lactuca sativa* plants. Physiological and Molecular Plant Pathology, 65: 211-221.

31. Ruiz-Lozano J.M., Collados C., Jose M., and Azcon B.R. 2001. Cloning of cDNAs encoding SODs from lettuce plants which show differential regulation by arbuscular mycorrhizal symbiosis and by drought stress. Experimental Botany, 52: 2241-2242.

32. Ruiz-Lozano, J.M., Azcon, R., and Gomez, M. 1995. Effects of arbuscular mycorrhizal Glomus species on drought tolerance: Physiological and nutritional plant responses. Applied and Environmental Microbiology, 61: 456-460.

33. Song, H. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms, Electronic Journal of Biology, 1: 44-48.

34. Still, D.W. 2007. Lettuce, California State Polytechnic University, Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants, Volume 5 Vegetables, 3801West Temple Avenue, Pomona, CA 91768, USA, 2: 127-140.

35. Subramanian, K.S., and Charest C. 1999. Acquisition of N by external hyphae of an arbuscular mycorrhizal fungus and its impact on physiological responses in maize under drought-stressed and well watered conditions, Mycorrhiza, 9: 69-75.

36. Zhao, Y., Aspinall, D., and Paleg, L.G. 1992.Protection of membrane integrity in *Medicago saliva L.* by glyciebetaine the effects of freezing. Journal of Plant Physiology, 140: 541-543.