نشریه زیست‌شناسی خاک / جلد 4 / شماره 2 / 1395
DOI: http://dx.doi.org/10.22092/sbj.2017.109307

بررسی اثر هم افزایی کاربرد قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر ثبیت همزیستی نیتروژن در گیاه عدس تحت شرایط تنش کم آبی

بهرام ابوالفضلی، حسینعلی علیخانی[1] و فرهاد رجالی

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تهران؛ **b.abolfazli@ut.ac.ir**

استاد دانشگاه تهران؛ **Halikhan@ut.ac.ir**

دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات،آموزش وترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **F.rejali@yahoo.com**

دریافت: **94/11/12** و پذیرش: **95/7/12**

چکیده

تثبیت زیستی نیتروژن در سیستم همزیستی ریزوبیا-لگوم به شدت تحت تأثیر منفی تنش کم آبی قرار می‌گیرد، در سال‌های اخیر ریزسازواره‌های مفید خاکزی به‌عنوان یکی از راه‌کارهای کاهش اثرات تنش خشکی و افزایش تولید محصول در کشاورزی پایدار ارزیابی شده‌اند. بررسی اثر هم افزایی کاربرد قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و تثبیت زیستی نیتروژن درگیاه عدس تحت شرایط تنش کم آبی آزمایشی در آرایش فاکتوریل بصورت طرح کامل تصادفی شامل دو فاکتور، تنش رطوبتی در چهار سطح تنش0/2، 0/4، 0/6 و تنش کم 0/8رطوبت قابل دسترس گیاه و فاکتور دوم نوع قارچ میکوریزی در چهار سطح *Rhizophagus* intraradices و*Funneliformis* mosseae ، ترکیب این دو گونه و شاهد منفی در گلخانه‌ی تحقیقاتی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران انجام گرفت. نتایج نشان داد در اثر تنش کم آبی، تعداد گره، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، محتوای کلروفیل (spad)، کلنیزاسیون ریشه، نیتروژن شاخساره به طور معنی‌دار کاهش یافت.تفاوت معنی‌داری در وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه و درصد نیتروژن اندام هوایی گیاهان تلقیح شده با میکوریز، با گیاهان غیر میکوریزی مشاهده شد. در اثر کاربرد میکوریز تعداد گره، نیتروژن اندام هوایی، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، کلروفیل و درصد کلنیزاسیون ریشه افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: تنش کم آبی، شاخص رشد، قارچ میکوریز، *Funneliformis* mosseae ، *Rhizophagus* intraradices

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران-دانشکده فناوری کشاورزی، گروه مهندسی علوم خاک

مقدمه

عدس گیاهی از خانواده لگومینوز، از قدیمی ترین محصولات مزرعه است. متوسط پروتئین دانه 26% بوده و از این لحاظ می‌تواند نقش مهمی بؤیژه در الگوی تغذیه‌ای اقشار کم درآمد ایفا کند. اهمیت عدس در تثبیت نیتروژن و بهبود وضعیت فیزیکی خاک در مناطق پرشیب علاوه بر تولید اقتصادی و تعلیف دام برکسی پوشیده نیست. خشکی یکی از رایج ترین و زیان بار اثرات تنش-های محیطی است که باعث محدود شدن تولیـدات گیاهی در قسمت‌های مختلف دنیا می‌گردد. در ایران که کشوری خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود اثرات تنش کم آبی مشهودتر است (صباغ پور 1385). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در کشاورزی پایدار دارای اهمیت شایان توجهی است، زیرا در بهبود روابط آبی گیاه، افزایش مقاومت به خشکی گیاهان میزبان، کنترل بیماری مؤثر هستند (تایز وزایگر،1998).

همچنین با افزایش جذب مواد معدنی باعث کاهش استفاده از کود ها می‌گردند (لیدرمن،1989).رابطه همزیستی بین قارچ میکوریز آربوسکولار و ریشه‌های گیاه میزبان به میزان قابل توجهی رشد و جذب عناصر غذایی گیاه را افزایش می‌دهد (آگه 2001). از آنجایی که تحرک عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی پایین می‌باشد میکوریز آربوسکولار می‌تواند تأثیر زیادی روی رشد و نمو گیاه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری نرمال داشته باشد (بومسما و وین، 2008). مکانسیم‌های جذب و انتقال مواد در خاک و گیاه مانند انتشار، جریان توده‌ای و اسمز، همگی تابعی از مقدار رطوبت در خاک و ریشه هستند و در شرایط کمبود آب در خاک و کاهش رطوبت، در جذب و انتقال مواد و عناصر غذایی اختلال ایجاد و سبب محدیت در فتوسنتز که کاهش رشد و عملکرد را به دنبال دارد (ایزو وهمکاران، 1991). به دنبال کاهش رطوبت جذب عناصر بویژه فسفر و نیتروژن در شرایط تنش کم آبی، کاهش می‌یابد و همزیستی میکوریزی می‌تواند جذب این عناصر را در شرایط تنش افزایش دهد (تایزو زایگر، 1998). در یک بررسی برقراری همزیستی میکوریزی در ذرت، جذب فسفر، نیتروژن، پتاسیم، منیزیم و روی را در تیمارهای تحت تنش کم آبی افزایش داده است (سوبرمانیان و همکاران، 1997).

تحقیقات انجام شده بر روی تغذیه نیتروژن قارچ‌های میکوریز آرباسکولار عمدتاً بر روی لگوم‌ها متمرکز شده است. این قارچ‌ها با زیست فراهمی فسفر و سایر عناصر با تحریک گره زایی، تثبیت نیتروژن و رشد را فزایش می‌دهند. از آنجا که در طول گره زایی نیاز فسفر بالاست از این رو نقش قارچ‌های میکوریزا در خاک‌های که محدویت فسفر دارند مشهودتر است و گیاهان وابستگی میکوریزی شدیدتری دارند (رابسون وآبووت، 1981).

علاوه بر لگوم‌ها ایجاد همزیستی میکوریزی در گیاهان غیرلگوم نیز تغذیه نیتروژن را بهبود می‌بخشد. قارچ میکوریز آربوسکولار می‌تواند مستقیماً نیتروژن (عمدتاً به فرم آمونیومی) را جذب و به میزبان انتقال دهد. که این مکانیسم در گیاهان لگوم نیز دیده می‌شود (بتلن فاوی و همکاران، 1991). در برخی مطالعات گزارش شده این قارچ‌ها توانایی تأمین نیتروژن از منابع غیر قابل دسترس گیاه میزبان مانند مواد آلی بصورت آنزیمی را دارند (وگوت، 1991). موارد ذکر شده، نقش مفید قارچ‌های میکوریزی در بهبود تغذیه نیتروژن آشکار می‌سازد. بدین منظور آزمایش با هدف بررسی کاربرد دوگونه قارچ میکوریزی بر بهبود رشد و جذب نیتروزن در گیاه عدس تحت تشن کم آبی در دانشگاه تهران طراحی و انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال 1393 در گلخانه (اتاقک رشد) گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی تهران بصورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در چهار تکرار صورت گرفت.

تیمارها: شامل چهار سطح تنش0/2، 0/4، 0/6 و بدون تنش 0/8 رطوبت PAW و نوع قارچ میکوریز در چهار سطح به *گلوموس موسه*، *گلوموس اینترارادیسیز*، مخلوط دو گونه، بدون تلقیح، که در مجموع 64 واحد آزمایشی بود.

بذر عدس رقم بیله سوار از مرکز تحقیات دیم مراغه تهیه گردید. بذرها با الکل 70 درصد به مدت 2 دقیقه سپس با هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت 5 دقیقه ضدعفونی سطحی و سپس پنج بار آب مقطر شستشو داده شدند. بر روی آب آگار پخش و به مدت 24 ساعت در انکوباتور قرار داده تا جوانه دار گردند (وانگ و الایزو، 2009).

تهیه مایه تلقیح باکتریایی

باکتری *Ensifer meliloti* مناسب برای تلقیح عدس از بانک ژن گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران تهیه و برای حصول اطمینان بیشتر، تست گره زایی انجام گرفت. سپس 500 میلی لیتر محیط کشت استریل YMB تهیه و باکتری بصورت سوسپانسیون کشت شد.

تهیه زادمایه مایه قارچی

زادمایه های *گلوموس موسه* و *گلوموس اینترارادیسیز* از گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران تهیه گردید و شمارش جمعیت فعال قارچی صورت گرفت و مایه تلقیح قارچ میکوریزی گونه‌های *گلوموس موسه* و *گلوموس اینترارادیسیز* به ترتیب دارای 330 و 430 اسپور در 100 گرم خاک بودند.

تعیین رطوبت در دسترس گیاه PAW

برای محاسبه‌ی رطوبت در دسترس گیاه ابتدا رطوبت وزنی ظرفیت مزرعه و نقطه‌ی پژمردگی دائم با روش پرشر پلیت بدست آورده و سپس از تفاضل دو حد رطوبت آب در دسترس گیاه محاسبه شد.

آماده سازی بستر و کشت

نمونه‌برداری خاک از منطقه کردان کرج صورت گرفت و پس از تجزیه خاک و تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن، نیاز کودی (25 کیلوگرم نیتروژن در هکتار به عنوان اغازگر،20 کیلو گرم سولفات آهن) تعیین، و کودهای مورد نظر به خاک اضافه شد و بخوبی با خاک مخلوط گردید. سپس سه کیلوگرم خاک وزن و در گلدان های سه کیلوگرمی با تراکم یکسان ریخته شد. سپس آبیاری تا 50 درصد ظرفیت مزرعه صورت گرفت و بعد از 24 ساعت 70گرم مایه تلقیح قارچی *گلوموس موسه* و *گلوموس اینترارادیسیز* و مخلوط این گونه، در عمق 3 سانتیمتری قرار داده شد و هشت بذر عدس جوانه‌دار شده بر روی آن قرار داده وبه ازای هر بذر یک میلی لیتر مایه تلقیح باکتریایی اضافه گردید و سپس روی بذر ها با خاک مرطوب پوشانده و 24 ساعت بعد رطوبت به حد ظرفیت مزرعه رسانیده شد. یک هفته پس از سبز شدن بذرها چهار گیاهچه نگهداری شد و تیمارهای رطوبتی 20% ، 40% ،60% ،80% (بدون تنش) رطوبت ظرفیت مزرعه، با توزین روزانه هر گلدان و کمبود رطوبت تا سطح مورد-نظر اضافه گردید. گیاهچه‌ها در اتاقک رشد با دمای 28-22 درجه و نور 14000 لوکس و 12 ساعت روشنایی و 12 ساعت تاریکی در 30 روز اول و 14ساعت روشنایی و 10 ساعت تاریکی در 30 روز دوم، جمعاً به مدت دو ماه نگهداری شدند.

کلنیزاسیون ریشه

جهت تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه در محیط آزمایشگاه، با استفاده از روش فیلیپس و هیمن (1970) رنگ آ میزی ریشه صورت گرف. ابتدا ریشه در محلول KOH 10% قرارداده شده و پس از رنگ بری، با محلول HCL 1% شستشو و به مدت 24 ساعت در محلول 01/ درصد تریپان بلو درلاکتوگلیسرول قرار داده شد. سپس شمارش با روش خطوط متقاطع (تنانت، 1975) استفاده گردید .در این روش ریشه‌ای رنگ آمیزی شده، بصورت قطعات یک سانتیمتری جدا و بصورت تصادفی درون پتری دیش قرار داده شد (حداقل 50 قطعه) سپس یک صفحه شطرنجی به ابعاد سانتیمتر1 × 1 تهیه و در زیر پتری دیش قرار گرفت. جهت مشاهده و شمارش ریشه‌های آلوده و غیر آلوده از بنیکولار استفاده گردد. ریشه‌های آلوده و غیر آلوده که با خطوط عمودی و افقی صفحه شطرنجی تقاطعی را ایجاد کرده بودند، هر کدام بطور جداگانه شمارش شدند. از تقسیم مجموع ریشه‌های آلوده بدست آمده از خطوط عمودی و افقی به مجموع ریشه‌های غیر آلوده بدست آمده از خطوط عمودی و افقی ریشه‌ای ضربدر 100، درصد کلنیزاسیون ریشه تعیین گردید.

برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک

پتاسیم mg kg $^{-1}$	نیتروژن درصد	فسفر mg kg $^{-1}$	کلاس بافت خاک	رطوبت FC (وزنی)	رطوبت PWP(وزنی)	روی mg kg $^{-1}$	آهن mg kg $^{-1}$
420	0/03	12.87	لومی شنی	21	14.2	1/08	2/5

اندازه‌گیری صفات رشدی

وزن شاخساره و ریشه

برداشت گیاهان در مرحله‌ی رسیدن دانه صورت گرفت گیاهان از سطح خاک قطع شده و پس از شستشوی ریشه، وزن تر اندام هوایی و ریشه توزین گردید. سپس نمونه‌های تر در دمای 60 درجه سانتیگراد به مدت دو روز در آون خشک و وزن خشک ریشه و اندام هوایی توزین شد.

تعداد گره

پس از برداشت گیاه ریشه به آرامی در آب قرار گرفت و پس از شستشو کامل سیستم ریشه‌ای گیاه تعداد گره‌ها شمارش شد.

اندزه‌گیری نیتروژن

نیتروژن

با استفاده از روش گرهارد و دستگاه کجلدال صورت گرفت‌که شامل سه مرحله هضم، تقطیر و تیتراسیون انجام گرفت (برمنر و مالوانی، 1982).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SAS صورت گرفت و مقایسه میانگین اثر تیمار با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد صورت گرفت و نمودار با نرم افزار Excel رسم گردید.

نتایج

نتیجه تجزیه واریانس داده‌ها در جدول 1 آورده شده است که اثر تیمار تنش کم آبی و تیمار قارچ میکوریزی را بر وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، درصد کلونیزاسیون و کلروفیل نشان می‌دهد.

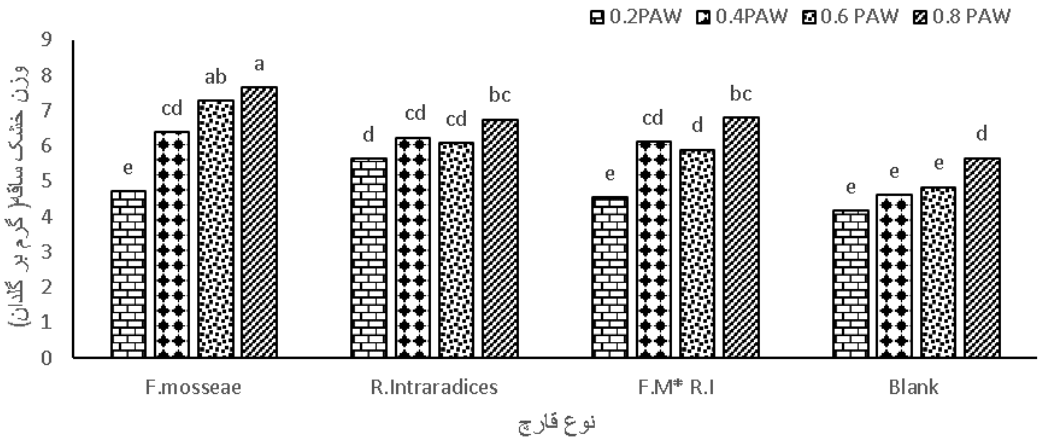
جدول 1- تجزیه واریانس برخی صفات گیاه عدس تحت تأثیر تیمارهای میکوریزا و تنش کم آبی

		میانگین مربعات			
منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک شاخساره	وزن خشک ریشه	درصد کلونیزاسیون	کلروفیل (spad)
تنش	3	8/527**	0/044**	1870/63**	89/918**
میکوریز	3	10/383**	0/116**	287/19**	211/954**
تنش× میکوریز	9	0/813**	0/001 ns	46/098**	4/129ns
خطا	48	0/248	0/0019	15/37	8/108
Cv	-	8/53	7/74	6/63	8/25

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5%، 1% و عدم معنی‌داری می‌باشند.

ماده خشک شاخساره

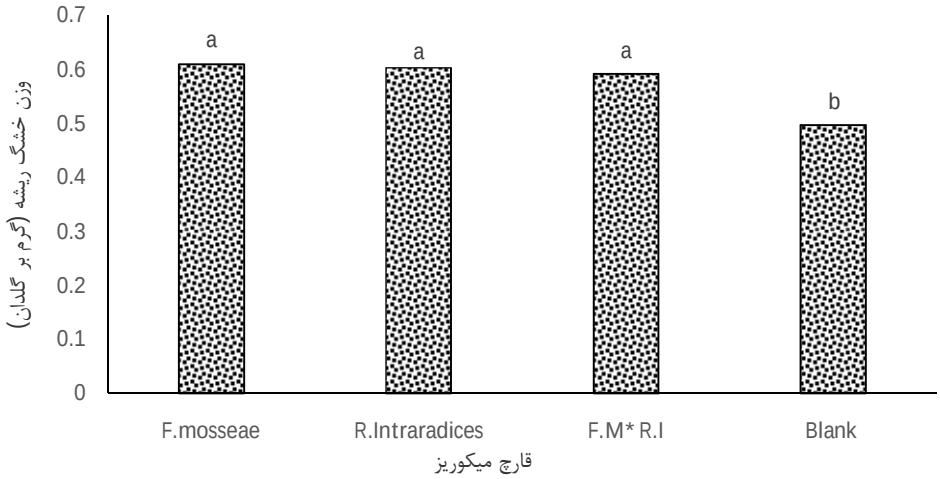
نتایج تجزیه ی واریانس داده‌ها نشان داد اثر ساده و اثر متقابل تنش کم آبی و قارچ میکوریزی در سطح یک درصد بروی ماده‌ی خشک شاخساره هوایی معنی‌دار است. با توجه به شکل (1) کمترین مقدار ماده‌ی خشک در گیاهان شاهد در تنش 0/2 رطوبت PAW و بیشترین مقدار ماده‌ی خشک در گیاهان تلقیح شده با *G. mosseae* در سطح بدون تنش 0/8 رطوبت PAW بدست آمد. نتایج مقایسه‌ی میانگین نشان داد تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کاربرد میکوریز با شاهد وجود دارد. در بین دو گونه *Glomus intraradices* و*Glomus mosseae* اختلاف معنی‌دار وجود دارد. در حالی که در تیمار کاربرد *Glomus intraradices* و ترکیب دو گونه تفاوت معنی‌دار نیست. در اثر تنش کم آبی جذب آب و عناصر معدنی کاهش یافته در نتیجه میزان فتوسنتز نقصان، وزن خشک اندام هوایی به‌شدت کاهش می‌یابد در گیاهان میکوریزی میزان کاهش بسیار کمتر از گیاهان غیر میکوریزی است. باربارا و رابسون (1994) نشان دادند قارچ‌های میکوریزا در شرایط طبیعی عملکرد ماده‌ی خشک اندام هوایی را بهبود بخشیدند. به نظر می‌رسد قارچ‌های میکوریزی با جذب بیشتر آب و عناصر پر مصرف و کم مصرف، میزان فتوسنتز خالص و تولید ماده-ی خشک گیاه افزایش می‌دهند. به طوری‌که کاربرد *Glomus intraradices* و*Glomus mosseae* و ترکیب دو گونه به ترتیب 55/2، 47/3، 29/7 درصد نسبت به شاهد ماده‌ی خشک شاخساره عدس افزایش دادند. همچنین وو و همکاران (2007) گزارش کردند در مرکبات، کلنیزاسیون میکوریزی، بیومس گیاه تحت تنش کم آبی در شرایط شور را افزایش داده است. سوبرامانیان و همکاران (2006) با انجام آزمایشی نشان دادند در اثر تنش خشکی بیومس کل گیاه گوجه‌فرنگی کاهش می‌یابد ولی در گیاهان میکوریزی نیز این کاهش بیومس نسبت به حالت نرمال وجود ولی نسبت به گیاهان غیر میکوریزی به طور معنی‌داری کمتر است. بیومس کل در مرکبات افزایش یافته است .در گیاهان گوجه‌فرنگی تنش کم آبی ماده خشک اندام هوایی و ریشه را به‌شدت کاهش داده است. ولی در گیاهان میکوریزی کاهش کمتر است و بیومس کل گیاه افزایش می‌یابد (سوبرامانیان ،2007).



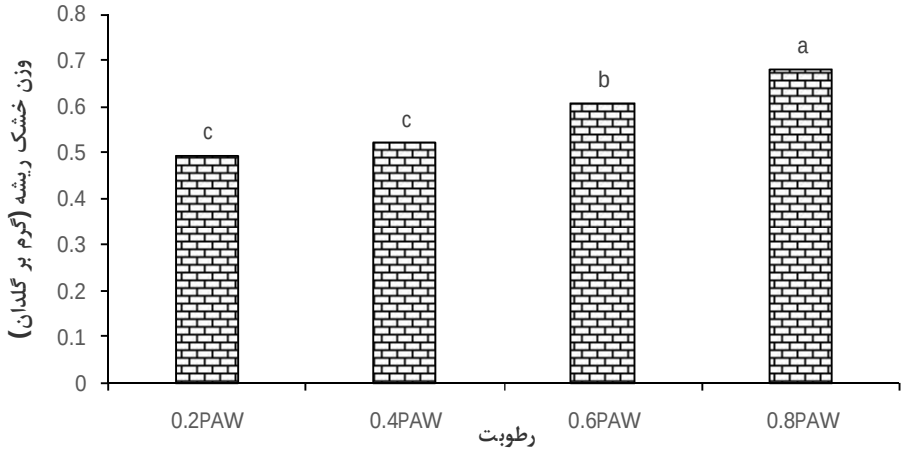
شکل 1- مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل تنش کم آبی و قارچ میکوریزا بر ماده‌ی خشک اندام هوایی

وزن خشک ریشه

نتایج نشان داد اثر اصلی تنش کم آبی و قارچ مایکوریزا بر وزن خشک ریشه در سطح یک درصد معنی‌سدار است. در حالی که اثر متقابل قارچ‌های میکوریزا و تنش کم آب بر وزن خشک ریشه معنی‌داری نبود. کمترین وزن خشک ریشه در تیمار شاهد بدست آمد. بین تیمارهای قارچی تفاوت معنی‌داری از نظر وزن خشک ریشه مشاهده نشد شکل (2). با کاهش رطوبت وزن خشک ریشه کاهش یافت و کمترین مقدار ماده خشک ریشه در سطح تنش 0/2 رطوبت PAW بدست آمد شکل (3). تأثیر سوء تنش کم آبی بر رشد ریشه بیش از اندام هوایی می‌باشد، که این امر ممکن است ناشی از افزایش در مقاومت مکانیکی خاک (ویتمور و مالی، 2009) و یا همراه با یک کاهش در هدایت هیدرولیکی ریشه باشد (لیدجال، 2005). تنش کم آبی می‌تواند تعداد تارهای کشنده ریشه را کاهش دهد و بر مورفولوژی ریشه و انشعابات ریشه صدمه وارد کند که در نتیجه آن جذب عناصر غذایی بوسیله سیستم ریشه‌ای کاهش می‌یابد. در این زمان، هیف‌های قارچ میکوریز آربوسکولار می‌تواند جانشین سیستم‌های ریشه‌ای می‌شود و عناصر غذایی را جذب می‌نماید. نقش همزیستی میکوریزی در شرایط تنش کم آبی در جذب عناصر غذایی مهم‌تر از نقش همزیستی میکوریزی در شرایط بدون تنش می‌باشد (وو و زو، 2009)



شکل 2- مقایسه‌ی میانگین اثر گونه قارچ بر وزن خشک ریشه

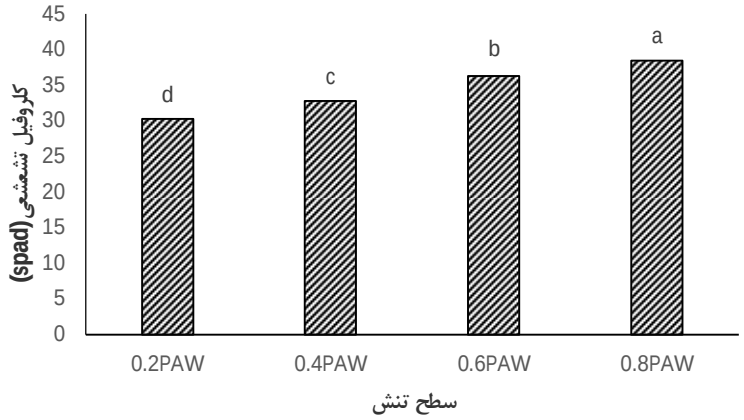


شکل 3- مقایسه‌ی میانگین اثر تنش کم آبی بر وزن خشک ریشه

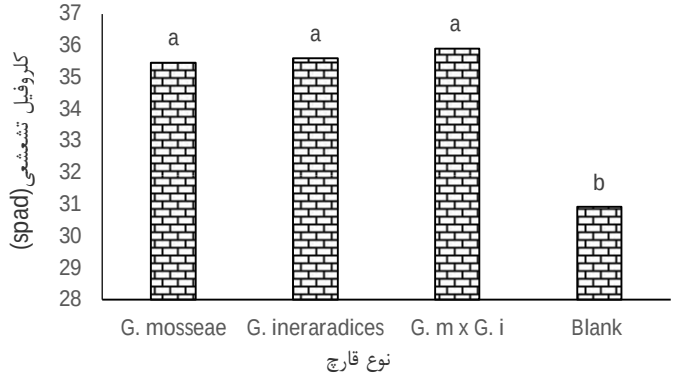
محتوای کلروفیل

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی تنش کم آبی و قارچ میکوریزی بر کلروفیل معنی‌دار بوده ولی اثر متقابل آن معنی‌دار نشد. با توجه به شکل (4)کمترین مقدار کلروفیل در سطح تنش 0/2 و بیشترین مقدار در سطح بدون تنش 0/8رطوبت PAW به‌دست آمد. نتایج مقایسه‌ی میانگین نشان داد (جدول3) محتوای کلروفیل با افزایش تنش کاهش می‌یابد. محتوای کلرفیل درگیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند. در حالی که بین سطوح قارچ میکوریزی تفاوت معنی‌دار نبود (شکل 5). با این وجود کاربرد قارچ‌های *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae* و ترکیب دو گونه به ترتیب 14/1، 14/2، 14/7 درصد نسبت به شاهد محتوای کلروفیل افزایش دادند.

تنش خشکی سبب تغییر در نسبت کلروفی a به b و کارتنوئیدها می‌گردد (فاروق و همکاران، 2009) کیانی و همکاران (2008) گزارش کردند. میزان کلروفیل در گیاه آفتاب گردان تحت تنش به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. قارچ‌های میکوریز با افزایش جذب آهن و روی و عناصر میزان کلروفیل را در گیاه افزایش می‌دهند (وانگ و همکاران، 2008). بوبی و همکاران (2008) گزارش دادند قارچ‌های میکوریزی به طور جداگانه و همراه با باکتری-های محرک رشد میزان کلروفیل گیاه ر افزایش می‌دهند. نتایج مشابهی در کاربرد قارچ‌های میکوریزی همراه با میکروارگانسیم‌های مفیدگزارش شده است. الارکون و همکاران (2004) افزایش در میزان کلروفیلII به تغییرات متابولیسمی نسبت دادند.



شکل 4- مقایسه‌ی میانگین اثر تنش کم آبی برکلروفیل

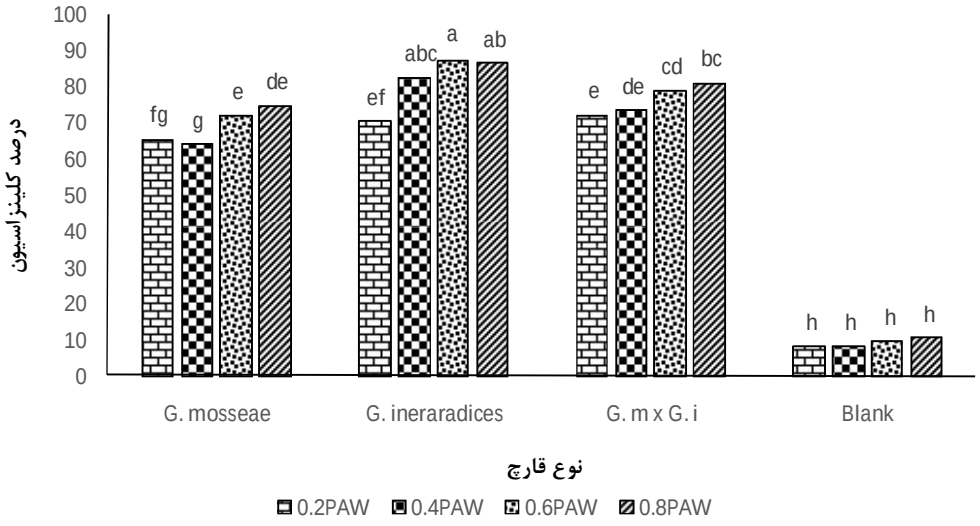


شکل 5- مقایسه‌ی میانگین اثر اصلی نوع قارچ میکوریزی برکلروفیل

کلینزاسیون ریشه

نتایج تجزیه واریانس (جدول 1) نشان داد که اثر اصلی و اثر متقابل تنش کم آبی و قارچ میکوریزا در سطح یک درصد بر کلونیزاسیون ریشه معنی‌دار است. نتایج مقایسه نشان داد (شکل6) میانگین اثر اصلی نوع قارچ میکوریز و تنش کم آبی اختلاف معنی داری بین قارچ‌های میکوریزی در کلنی زاسیون ریشه وجود داشت با توجه به شکل (6) بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه در قارچ میکوریز*G.intraradices* در سطح بدون تنش 0/8 رطوبت PAW به میزان 87/31 درصد و کمترین درصد کلونیزاسیون در تیمار شاهد به میزان 8/25 در بالاترین سطح تنش 0/2 PAW درصد بدست آمد. بیشتر بودن درصد کلونیزاسیون در قارچ *G.intraradices* نسبت به قارچ*G. mosseae* نشان دهنده تفاوت در توانایی گونه‌های مختلف قارچ در میزان همزیست شدن با گیاه میزبان می‌باشد. نتایج تحقیق مارولاندا و همکاران (2007) نشان می‌دهد که گونه‌های بومی مقاوم به خشکی *G.intraradices*و *G. mosseae* کلونیزاسیون ریشه را 35 و 100 درصد افزایش دادند.

جاکوبسن و همکاران (1992) اظهار داشتند که توانایی گونه‌های مختلف قارچ، بویژه تحت شرایط تنش-های محیطی در کلنیزاسیون ریشه گیاه میزبان متفاوت است. از شاخص‌های مهم فعالیت قارچ‌های میکوریزی، میزان کلونیزاسیون سیستم ریشه ای گیاه توسط این قارچ-ها می‌باشد که به وسیله عوامل مختلفی از جمله خصوصیات ظاهری و ساختمانی سیستم ریشه‌ای، مقدار و کیفیت ترشحات ریشه‌ای، مصرف کودهای شیمایی فسفره و غلظت بالای عناصر سنگین تحت تأثیر قرار می‌گیرد (الکراکی، 1998). همچنین وو و همکاران (2006) گزارش کردند که بالاترین درصد کلونیزاسیون ریشه مرکبات در کاربرد قارچ میکوریزا زمانی بود که گیاه تحت تنش کم آبی نباشد. آنان عنوان کردند تنش کم آبی، درصد کلونیزاسیون ریشه مرکبات را کاهش می‌دهد. با کاهش رطوبت خاک، کمیت و کیفیت ترشحات ریشه‌ای تغییر می‌کند که بر روی جوانه زنی اسپور تأثیر می‌گذارد. کاهش رطوبت همچنین به‌طور مستقیم بر جوانه زنی اسپور تأثیر می‌گذارد (اسمیت و رید، 2008). کاهش مشاهده شده در رشد اندام هوایی و ریشه گیاه در شرایط تنش رطوبتی را می‌توان در نتیجه همین کاهش کلونیزاسیون ریشه و کاهش جذب عناصر غذایی دانست. سایر محققین نیز به کاهش درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه در شرایط تنش رطوبتی اشاره نموده‌اند (الکراکی، 1998).



شکل 6- مقایسه ی میانگین اثر متقابل تنش کم آبی و قارچ میکوریزا بر کلنیزاسیون ریشه

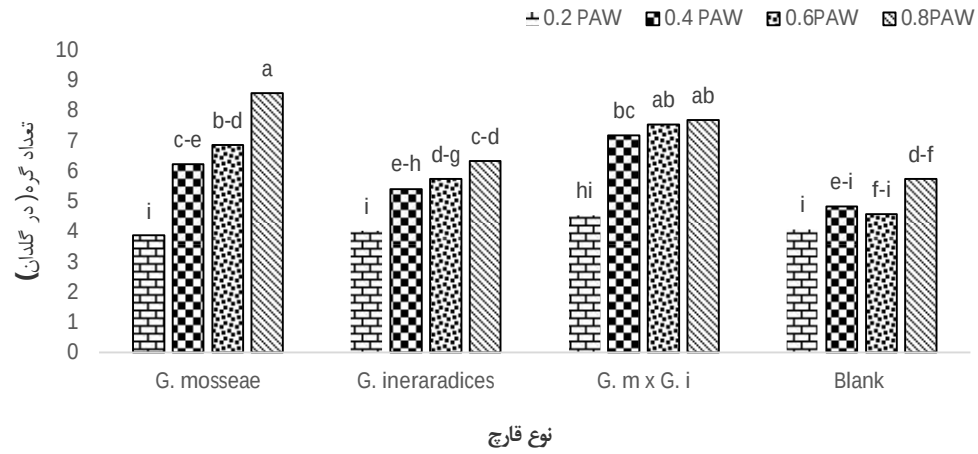
جدول 2- تجزیه واریانس برخی نیتروژون و پتاسیم تحت تأثیر تیمارهای میکوریزا و تنش کم آبی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		تعداد گره	نیتروژن شاخساره
تنش	3	.854/144**	1/135**
میکوریز	3	204/381**	1/376**
تنش× میکوریز	9	34/60**	0/0834*
خطا	48	4/263	/0361
Cv	-	8/74	4/01

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5%، 1% و عدم معنی‌داری می‌باشند.

تعداد گره

با توجه به جدول (1-2) نتایج تجزیه‌ی واریانس نشان داد اثر ساده و اثر متقابل تنش کم آبی و قارچ میکوریزی در سطح یک درصد بروی تعداد گره معنی‌دار بوده است باتوجه به شکل (7) بیشترین تعداد گره به ترتیب در کاربرد *G.mossea* در سطح بدون تنش 0/8 رطوبت PAW و کمترین تعدادگره در تیمار بدون میکوریز (شاهد) در سطح تنش 0/2 رطوبت PAW بدست آمد. نتایج مقابسه‌ی میانگین نشان داد بین تیمارهای کاربرد میکوریز با شاهد تفاوت معنی‌دار وجود دارد با وجود این بین*G.mossea* و ترکیب دو گونه اختلاف معنادار نیست. دراثر کاهش رطوبت تعداد گره به‌شدت کاهش می‌یابد بین سطوح مختلف تنش اختلاف معنادار دیده می‌شود. هریسون (1999) نشان داد بهبود گره بندی احتمال بدلیل بهبود تغذیه معدنی و افزایش جذب عناصر مانند آهن، فسفر و.. باشد. در شرایط تنش کم آبی میزان فتوسنتز با کاهش جذب آب و عناصر کاهش می‌یابد که تأثیر منفی بر تشکیل گره دارد. به نظر می‌رسد قارچ‌های میکوریزی با افزایش جذب آب و عناصر غذایی فتوسنتز را افزایش می‌دهند و سبب بهبود گره بندی می‌گردند آزکون و همکاران (1991) نیز نتایج مشابهی را بیان نمودند که در اثر همزیستی با قارچ‌های میکوریزی تثبیت نیتروژن افزایش می‌یابد. وانگ و همکاران (2001) نیز گزارش کردند بیشترین تعداد گره و بالاترین وزن تر گره در سویا در تیمار های میکوریزی همراه با باکتری ریزبیوم همزیست با سویا بدست آمد.

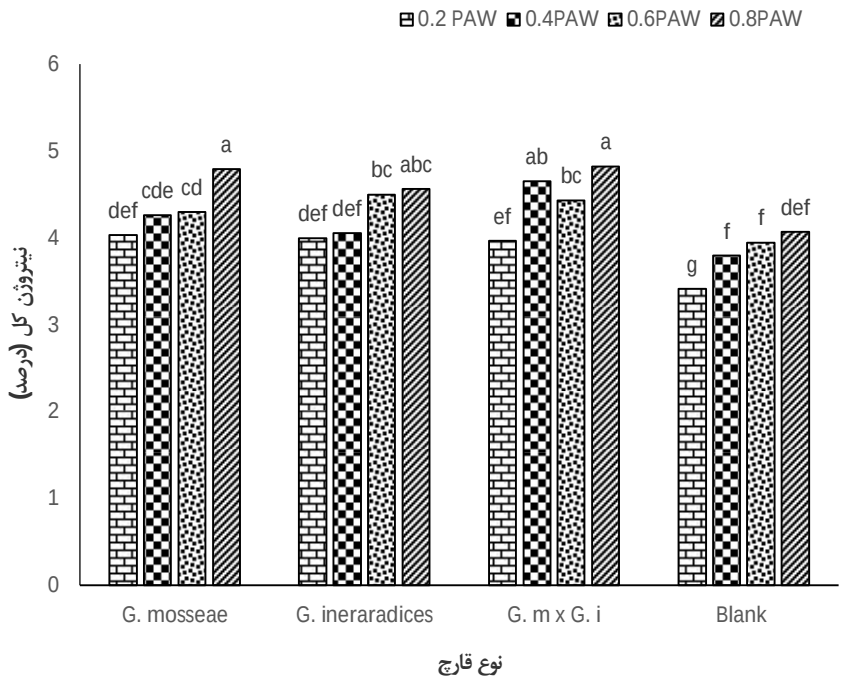


شکل 7- مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل تنش کم آبی و نوع قارچ میکوریز بر تعداد گره تشکیل شده بروی ریشه

نیتروژن شاخشاره

نتایج تجزیه‌ی واریانس نشان داد اثر اصلی تنش کم آبی و قارچ میکوریز در سطح یک درصد معنی‌دار بود ولی اثر متقابل تنش کم آبی و قارچ میکوریز بر درصد نیتروژن در سطح پنج درصد معنی‌دار است. با توجه به شکل (8) با افزایش شدت تنش کم آبی محتوای نیتروژن شاخساره کاهش یافته میزان کاهش در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاه شاهد کمتر است. کاربرد قارچ‌های میکوریزی محتوای نیتروژن شاخساره را در تمام سطوح تنش افزایش داد بیشترین مقدار نیتروژن شاخساره در تیمار کاربرد *مخلوط* دو گونه در سطح بون تنش 8/ رطوبت PAW و کمترین مقدار نیز در گیاه شاهد در بالاترین سطح تنش (0/2 رطوبت PAW) به‌دست آمد. نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری بین کاربرد *گلوموس اینترادیسیز* و مخلوط دو گونه با شاهد وجود دارد ولی تفاوت معنی‌دار با قارچ *گلوموس موسه* ندارند. کاربرد قارچ‌های *گلوموس موسه*، *گلوموس اینترارادیسیز* و *مخلوط دو گونه* به ترتیب محتوای نیتروژن گیاه عدس 14/2، 17/6 و 12 درصد نسبت به گیاه شاهد افزایش دادند. اگرچه جذب نیتروژن توسط قارچ‌های میکوریزی مانند فسفر بخوبی بررسی نشده اما آزمایشات نشان می‌دهدکه قارچ‌های میکوریزی می‌توانند جذب نیتروژن به مقدار قابل توجهی افزایش دهند (آمس، 1983 و جانسون، 1993). قارچ‌های میکوریزی می‌تواند بخشی از نیتروژن گیاه را از منابع معدنی و آلی تأمین کنند. هکینز و همکاران (2001) بیان داشتند قارچ *گلوموس موسه* می‌تواند نیتروژن را از منابع آلی مانند ان- گلاسین و ان – گلوتامین جذب و به میزبان انتقال دهد. همچنین این ریزسازواره‌های مفید می‌توانند نیتروژن معدنی را به صورت نیترات و آمونیوم جذب و در اختیار گیاه میزبان قرار دهند. در شرایط تنش کم آبی پتانسیل آب سلول ها کاهش می‌یابد کمبود آب سلول‌ها وکاهش آب هیدراته آنزیم‌ها در نتیجه تنش سبب کاهش فعالیت آنزیم‌ها از جمله نیترات رداکتاز می‌گردد (توبر، 1994) در گیاهان میکوریزی بدلیل جذب آب بیشتر پتانسیل آب بالاتر است در نتیجه در گیاهان میکوریزی فعالیت نیترات رداکتاز نسبت گیاهان غیر میکوریزی به میزان قابل توجهی بالاتر بوده که می‌تواند بر متابولیسم نیتروژن در گیاه مؤثر باشد (لوزانو و آزکون، 1996).

کاهش رطوبت در خاک جذب عناصر را مختل می‌کند در مورد عناصری مانند نیتروژن که با مکانیسم جریان توده‌ای انتقال می‌یابند این اثر مشهودتر است. قارچ‌های همزیست می‌توانند با ایجاد شبکه‌ی گسترده‌ای از هیف‌ها جذب نیتروژن و سایر عناصر در شرایط تنش افزایش دهند (آنتولین و همکاران، 1997). وفادر و همکاران (2014) نشان دادند قارچ‌های میکوریزی به‌طور غیرمستقیم بر تثبیت بیولوژیکی نیتروژن تأثیر گذاشته و محتوای نیتروژن را در گیاه افزایش می‌دهند. این ریزسازواره‌های مفید با فراهم نمودن فسفر و عناصر ریزمغذی می‌توانند تثبیت بیولوژیکی نیتروژن را افزیش دهند (لی و همکاران 1991).



شکل 8- مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل تنش کم آبی و قارچ میکوریزا بر نیتروژن شاخساره

نتیجه‌گیری کلی

از نتایج به‌دست آمده در این آزمایش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تنش کم آبی سبب کاهش معنی‌داری در نیتروژن شاخساره، ماده‌ی خشک شاخساره و ریشه، ارتفاع بوته، کلنیزاسیون ریشه و کلروفیل برگ شد. تلقیح عدس با قارچ‌های میکوریز اثرات تنش کم آبی را تعدیل نمود و گیاهان میکوریزی در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزی، ماده خشک بیشتر و ارتفاع و کلروفیل بالاتر بودند. همچنین قارچ‌های میکوریزی تعداد گره و محتوای نیتروژن شاخساره عدس را در تمام سطوح تنش به‌طور معناداری افزایش دادند. قارچ‌های میکوریزی با افزایش جذب آب و عناصر معدنی به‌طور غیر مستقیم تثبیت بیولوژیکی نیتروژن را تحریک می‌کنند. همچنین با ایجاد شبکه گسترده‌ی از هیف‌ها در شرایط تنش جذب نیتروژن را بهبود می‌بخشند. به‌طورکلی کاربرد قارچ‌های میکوریزا اثرات تنش خشکی را کاهش و جذب عناصر را افزایش می‌دهد. بنابراین استفاده از این ریز سازواره‌های مفید در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند تولید محصول را افزایش دهد.

فهرست منابع:

1. صباغ پور مجله علوم زراعی ایران - 1385 - دوره : 8 - شماره : 2 پیوست - صفحه:15 – 54
2. Al-Karaki, G. N., Al-Ridded, A. & Clarck, R. B. 1998. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Mycorrhiza*, 7: 83-88.
3. Ames RN, Reid CPP, Porter LK, Cambardella C. 1983. N-15 uptake and transport by hyphae of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. Phytopathology 73: 840–841
4. Bethlenfalvay G J, Reyes-Solis M G, Camel S B and Ferrera- Cerrato R 1991. Nutrient transfer between the root zones of soybean and maize plants connected by a common mycorrhizal mycelium. Physiol. Plant. 82, 423-432.

5. Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen-Total, P 595-624. In: Page, A.L. et al. (eds.), and Methods of Soil Analysis. Agronomy Monograph 9, Part 2, 2nd Ed. American Society of Agronomy, Madison, WI
6. Bürkert, Barbara, and Alan Robson. "65 Zn uptake in subterranean clover (Trifolium subterraneum L.) by three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a root-free sandy soil." *Soil Biology and Biochemistry* 26.9 (1994): 1117-1124.
7. Goicoechea, N., M. C. Antolin, and M. Sánchez-Díaz. "Influence of arbuscular mycorrhizae and Rhizobium on nutrient content and water relations in drought stressed alfalfa." *Plant and soil* 192.2 (1997): 261-268.
8. Hageman, R.H. and Reed, A.J., 1980. Nitrate mductase from higher plants. Met. Enzymol., 49: 270-280.- Azc6n, R., G6mez, M. and Tobar, R.M., 1992. Effects of nitrogen source on growth, nutrition, photosynthetic rate and nitrogen metabolism of mycorrhizal and phosphorus-fertilized plants of Lactuca satioa L. New Phytol. 121: 227-237.
9. Hawkins HJ, Johansen A, George E 2000. Uptake and transport of organic and inorganic nitrogen by arbuscular mycorrhizal fungi. Plant Soil 226:275–285.
10. Hodge A, Fitter AH 2010. Substantial nitrogen acquisition by arbuscular mycorrhizal fungi from organic material has implications for N cycling. Proc Natl Acad Sci USA 107:13754–13759.
11. Izzo, R., Navari-Izzo, F., & Quartacci, M. F. 1991. Growth and mineral absorption in maize seedlings as affected by increasing NaCl concentrations. *Journal of Plant Nutrition*, *14*(7), 687-699.
12. Jakobsen, I. & Nielsen, N. E. 1983. Vesicular arbuscular mycorrhiza in field grown crops. 1. Mycorrhizal infection in cereals and peas at various times and soil depths
13. Johansen A. 1993. Hyphal transport by a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus of N applied to the soil as ammonium or nitrate. Biology and Fertility of Soils 16: 66–70.
14. Ladjal, M., Huc, R., & 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.
15. 16-Leigh, J., Hodge, A., & Fitter, A. H. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi can transfer substantial amounts of nitrogen to their host plant from organic material. *New Phytologist*, *181*(1), 199-207.
16. Li XL, Marschner H, George E. 1991. Acquisition of phosphorus and copper by VA–mycorrhizal hyphae and root-to-shoot transport in white clover. Plant and Soil 136: 49–57
17. Linderman, R. G. 1994. Role of VAM fungi in biocontrol, p. 1–26. In F. L. Pfleger and R. G. Linderman (ed.), Mycorrhizae and plant health. APS Press, St. Paul, Minn
18. Marulanda, A., Azcon, R. & Ruiz-Lozano, J.M. 2003. Contribution of six arbuscular mycorrhizal fungal isolates to water uptake by *Lactuca sativa* L. plant under drought stress. *Physiology Plant*, 119: 526-533.
19. Marulanda, A., Parcel, R., Berea, J. M. & Azcon, R. 2007. Drought tolerance and antioxidant activities in lavender plants colonized by native drought tolerant or drought-sensitive Glomus Species. *Microbial Ecology*, 54, 543-
20. Nelsen, C. E. 1987. The water relations of vesicular-arbuscular mycorrhizal systems, p. 71–79. In G. R. Sadr (ed.), Eco physiology of VA mycorrhizal plants. CRC Press, Boca Raton, Fla.
21. QiangSheng, W. 2009. Mycorrhizal influence on nutrient uptake of citrus exposed to drought stress. *Philippine Agricultural Scientist*, *92*(1), 33-38.
22. Robson A D, O'Hara G W and Abbott L K 1981. Involvement of phosphorus in nitrogen fixation by subterranean clover (Trifolium subterraneum L). Aust. J. Plant Physiol. 8,

427436. Rygiewicz P T and Bledsoe C S 1984 Mycorrhizal effects on potassium fluxes by northwest coniferous seedlings. Plant Physiol. 76, 918-923.
23. Ruiz-Lozano, J. M., & Azcón, R. 1996. Mycorrhizal colonization and drought stress as factors affecting nitrate reductase activity in lettuce plants. *Agriculture, ecosystems & environment*, *60*(2), 175-181.
24. Smith, S.E. & Read, D.J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. 3rd ed., Academic Press, London.
25. Subramanian, K. S., C. Charest, L. M. Dawyer and R. I. Hamilton. 1997. Effects of arbuscular mycorrhizae on leaf water potential, sugar and P contents during drought and recovery of maize. Canadian Journal of Botany. 75: 1582-1591.
26. 27-Subramanian, K. S., Santhanakrishnan, P., & Balasubramanian, P. 2006. Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. *Scientia horticulturae*, *107*(3), 245-253
27. Taiz, L., & Ezeiger, H. 1998. Plant Physiology (2nd ed). Sinaye Associates Inc. Publisher. Sonderland Massachusetts, 757p. [32]. Tajamolian, M., Irannejad Parizi, M., Maleki Nejad, H., Rad, M., & Sodaeizade, H.
28. Vafadar, F., Amooaghaie, R., & Otroshy, M. 2014. Effects of plant-growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungus on plant growth, stevioside, NPK, and chlorophyll content of Stevia rebaudiana. *Journal of Plant Interactions*, *9*(1), 128-136.
29. Vogt K A, Publicover D A and Vogt D J 1991. A critique of the role of ectomycorrhizas in forest ecology. Agric. Ecos. Environ. 35, 171-190.
30. Wang, Y. and Oyaizu, H., 2009. Evaluation of the phytoremediation potential of four plant species for dibenzofuran-contaminated soil. *Journal of hazardous materials*, *168*(2), pp.760-764.
31. Whitmore, A. P., & Whalley, W. R. 2009. Physical effects of soil drying on roots and crop growth. *Journal of Experimental Botany*, *60*(10), 2845-2857.
32. Wu, Q. S. 2011. Mycorrhizal efficacy of trifoliate orange seedlings on alleviating temperature stress. *Plant Soil Environ*, *10*, 459-464.
33. Wu, Q. S., & 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*(4), 417-425.
34. Wu, Q. S., & 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*(4), 417-425.
35. Wu, Q. S., & Zou, Y. N. 2009. Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought-stressed citrus. *Plant Soil Environ*, *55*(10), 436-442.
36. Wu, Q. S., & Zou, Y. N. 2009. Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought-stressed citrus. *Plant Soil Environ*, *55*(10), 436-442.
37. Wu, Q. S., Xia, R. X., Zou, Y. N., & Wang, G. Y. 2007. Osmotic solute responses of mycorrhizal citrus (Poncirus trifoliata) seedlings to drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, *29*(6), 543-549.
38. Wu, Q. S., Zou, Y. N., Xia, R. X., & Wang, M. Y. 2007. Five Glomus species affect water relations of Citrus tangerine during drought stress. *Bot Stud*, *48*(2), 147-154.