زیست‌شناسی گیاهی ایران، سال هفتم، شماره بیست و چهارم، تابستان ۱۳۹۴، صفحه ۱۵-۲۶
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۵/۱۵
تاریخ بررسی مجدد: ۱۳۹۳/۰۹/۱۰
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۱۱/۱۸

# تأثیر چند قارچ میکوریز بر غلظت مالون‌دی‌آلدهید و برخی فرآیندهای متابولیسمی گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis*) تحت تنش کمبود آب

فاروق سلیمانی و علیرضا پیرزاد *
گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

**چکیده**

حفظ تعادل یونی و تنظیم اسمزی سیتوزل در سلول‌های گیاهی برای تعدیل اثر کم‌آبی از طریق تجمع سازگارکننده‌های آلی به ویژه پرولین و گلایسین بتائین میسر می‌شود. بر این اساس، به منظور بررسی تأثیر گونه‌های قارچ میکوریز بر ویژگی‌های اکوفیزیولوژیکی گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis*)، یک آزمایش در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال زراعی ۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل گونه‌های قارچ میکوریز (*Acaulospora longula*، *Glomus claroideum*، *G. fasiculatum*، *G. intraradices* و *G. mosseae* و شاهد بدون میکوریز) و آبیاری در چهار سطح (آبیاری در ۸۰، ۷۰، ۶۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بودند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل بین تنش کمبود آب و گونه‌های میکوریز بر میزان غلظت مالون‌دی‌آلدهید، گلایسین بتائین، پرولین، کل کربوهیدرات‌های محلول و درصد اسانس معنی‌دار شد. بالاترین غلظت مالون‌دی‌آلدهید (۱۲۵ نانومول بر گرم وزن تر)، گلایسین بتائین (۲۰۱۹ میکرومول بر گرم وزن خشک)، پرولین (۱۱۱ میکرومول بر گرم وزن خشک)، درصد اسانس (۷/۲۹ درصد) و کل کربوهیدرات‌های محلول (۳۹۶/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) به ترتیب در گیاهان تلقیح شده با *A. longula*، *G. claroideum* و *G. fasiculatum* در ظرفیت‌های زراعی ۵۰ و ۶۰ درصد به دست آمد. غلظت نشانگر زیستی مالون‌دی‌آلدهید با افزایش تنش آبی در گیاهان غیرمیکوریزیی نسبت به گیاهان آلوده به گونه های میکوریز، بیشتر افزایش یافت. به طور کلی، نتایج بررسی حاضر گویای آن است که گونه‌های میکوریز در تعدیل تنش و بازده مصرف آب مؤثر هستند.

**واژه‌های کلیدی:** اسانس، اسمولیت، تنش آبی، زوفا (*Hyssopus officinalis* L.)، گلایسین بتائین، مالون‌دی‌آلدهید

## مقدمه

گیاه *Hyssopus officinalis* L. مهم‌ترین گونه جنس زوفا، از تیره نعناییان (Lamiaceae) است که در اغلب دارونامه‌های معتبر به عنوان گیاه دارویی شناخته

*نویسنده مسؤول: نشانی پست الکترونیک: a.pirzad@urmia.ac.ir، شماره تماس: ۰۴۴۳۲۷۷۹۵۵۸

Archive of SID
www.SID.ir

شده است. ترکیب‌های اصلی تشکیل دهنده اسانس زوفا شامل پینوکامفن (pinocamphene)، آلفا و بتا-پینن (α, β pinene)، کامفن (camphene)، دیوزمین (diosmin)، هیسوپین (hyssopin) و الکل‌های سزکویی‌ترپن است (Kizil *et al*., 2010).

آب از مهم‌ترین عوامل محیطی است که تأثیر عمده‌ای بر رشد، نمو و مواد مؤثره گیاهان دارویی دارد. تنش‌های محیطی و به ویژه کمبود آب باعث افزایش سطوح متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی می شود، به طوری که کاهش شدید عملکرد در شرایط تنش کم آبی در گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.)، نعنا (*Mentha piperita* L.) (Delfine *et al*., 2005) و مریم گلی (*Salvia officinalis* L.) (Bettaieb *et al*., 2009) گزارش شده است. بنابراین، با توجه به هدف کشت محصول، به منظور رسیدن به بیشترین عملکرد در شرایط تنش می‌توان به جای آبیاری کامل، برنامه‌ای مناسب برای مصرف بهینه آب به کار برد و تنها در مراحل بحرانی از آب استفاده کرد، در این صورت تأثیر کمبود آب کاهش می‌یابد (Kamkar *et al*., 2011).

قارچ‌های میکوریز وزیکولار-آربوسکولار (arbuscular mycorrhiza fungi) جزو اصلی فلور محیط ریشه گیاهان در بوم نظام‌های طبیعی (Panwar and Tarafdar, 2006) و یکی از انواع کودهای زیستی هستند. رابطه میکوریزی عبارت است از رابطه همزیستی انواعی از قارچ های خاکزی و ریشه گیاهان که مهم‌ترین ویژگی آن انتقال مواد بین سلول‌های پوست ریشه گیاه کلونیزه شده با قارچ و آربوسکول‌های قارچ است. در همزیستی قارچی، عمدتاً مواد کربوهیدراتی به شکل سوکروز از گیاه دریافت می شود و آب و عناصر غذایی عمدتاً فسفر را در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Smith *et al*., 2010). پژوهش ها نشان داده است که درصد اسانس بابونه در پاسخ به فواصل آبیاری در گونه‌های مختلف قارچی متفاوت است، به طوری که در گیاهان همزیست با گونه‌های *G. etunicatum* و *G. intraradices*، مشابه شرایط تیمار شاهد (بدون میکوریز) درصد اسانس با افزایش فاصله آبیاری تا ۸۰ میلی متر تبخیر، افزایش یافته، پس از آن روند کاهشی نشان می‌دهد. اما در گیاهان آلوده با گونه *G. versiforme* درصد اسانس در کلیه تیمارهای آبیاری یکسان است و در حداکثر مقدار خود قرار دارد (Meshkat, 2011). در مطالعه Pirzad و همکاران (۲۰۱۲) با اعمال آبیاری پس از ۵۰ تا ۲۰۰ میلی متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A در بابونه آلمانی، عملکرد کاپیتول، اسانس، بیوماس کل، شاخص برداشت کاپیتول و اسانس با افزایش فاصله آبیاری به طور معنی‌دار کاهش یافت، هرچند میزان کاهش هر کدام از صفات متفاوت بود. Koocheki و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کرده‌اند که استفاده از قارچ های میکوریز در گیاه دارویی زوفا باعث افزایش ۱۱/۲۹ درصد عملکرد اسانس می‌شود.

رادیکال‌های آزاد اکسیژن یا واکنش‌های پراکسیداسیون لیپیدها در غشای گیاه به طور انتخابی اسیدهای چرب غیراشباع را تجزیه کرده، باعث تجمع آلدهیدها و هیدروکربن‌ها می شود. برای سنجیدن میزان تنش وارد شده به سلول‌های گیاهی و پی بردن به دخیل بودن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در اثر تنش، میزان مالون‌دی‌آلدهید (MDA)، به عنوان فراوان‌ترین محصول حاصل از تجزیه لیپید آلدهیدی که نتیجه

Archive of SID

www.SID.ir

پراکسیداسیون لیپیدی است اندازه‌گیری می‌شود (Davey *et al*., 2005). آمینو اسید پرولین، به عنوان تنظیم کننده اسمزی در بسیاری از گیاهان شناسایی شده است و معمولاً در مقادیر زیاد در پاسخ به تنش‌های محیطی، تجمع می‌یابد (Bayer, 2007). شکستن سریع پرولین پس از پایان شرایط تنش، ممکن است تأمین کننده عوامل مورد نیاز فسفریلاسیون اکسیداتیو میتوکندریایی و تولید ATP برای ترمیم صدمات ناشی از تنش باشد. اسمولیت‌های سازگار نظیر پلی ال‌ها، پرولین و گلایسین بتائین نیز در افزایش تحمل آثار کمبود آب ناشی از تنش شوری، کم‌آبی و سرما مؤثر هستند (Rhodes and Hanson, 1993). گلایسین بتائین معمول‌ترین محلول آلی سازگار در گیاهان، بیشترین و فراوان‌ترین ترکیب در پاسخ به تنش پسابیدگی در گیاهان است (Yang *et al*., 2003) و به عنوان یک اسمولیت سیتوپلاسمی عمل می‌کند و آنزیم ها و غشاها را از آثار پسابیدگی حفظ می‌کند (Bates *et al*., 1973). قندهای محلول به عنوان تنظیم‌کننده‌های اسمزی، ثبات دهنده غشاهای سلولی و حفظ کننده آماس سلول‌ها، عمل می‌کنند. در حقیقت، در گیاهانی که قندهای محلول در پاسخ به تنش کم‌آبی تجمع می‌یابند، تنظیم اسمزی بهتر صورت می‌گیرد (Slama *et al*., 2007). به طور دقیق‌تر، حفظ تعادل یونی و تنظیم اسمزی سیتوزل با تجمع سازگارکننده‌های آلی میسر می‌شود (Yang *et al*., 2003؛ Bayer, 2007؛ Slama *et al*., 2007). کم‌آبی بر فرآیند فتوسنتز در گیاهان تأثیر مهمی گذاشته، انتقال سریع الکترون‌ها را کاهش داده، تشکیل مواد اولیه فتوسنتز را تغییر می‌دهد. از جمله، بر میزان کربوهیدرات‌های گیاهان مؤثر است. کربوهیدرات‌های مرکب به کربوهیدرات‌های ساده تجزیه می شوند، بنابراین در اثر کم آبی میزان قندهای محلول افزایش می یابد. بررسی اثر تنش کم‌آبی بر رشد گیاه *Lonicera japonica* نشان داده است که محتوای قندهای محلول در گیاه تحت تأثیر تنش کم‌آبی افزایش می‌یابد (Xu *et al*., 2006). از اهداف اصلی پژوهش حاضر، میزان فعالیت مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیولوژی (نظیر: غلظت MDA، گلایسین بتائین، پرولین و کل کربوهیدرات‌های محلول) و تغییرات فرآیندهای متابولیسمی و عملکردی (درصد اسانس) گیاه دارویی زوفا در همزیستی با گونه‌های مختلف قارچ های میکریزی در سطوح مختلف تنش کم‌آبی بررسی شد.

## مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر گونه‌های قارچ میکوریز تحت شرایط تنش کم‌آبی بر پاسخ‌های فیزیولوژیک و درصد اسانس گیاه دارویی زوفا در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال زراعی ۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی (پیرانشهر) با مختصات "۳۱ '۴۰ °۳۶ شمالی، و "۴۵ '۰۹ °۴۵ شرقی و ارتفاع ۱۴۱۶ متر از سطح دریا اجرا شد، پس از اعمال دو سال متوالی تنش‌های کم‌آبی، سپس در سال زراعی دوم اندازه‌گیری آنزیم‌ها صورت گرفت. برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارایه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

| سال | عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر) | هدایت الکتریکی ($EC*10^3$) | اسیدیته خاک | کربن آلی (CO) (درصد) | ازت کل (درصد) | فسفر (ppm) | پتاس (ppm) | شن (درصد) | لای (درصد) | رس (درصد) | بافت خاک |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱۳۹۱ | ۳۰ | ۰/۴ | ۷/۵ | ۱/۱ | ۰/۱۱ | ۱۴/۲ | ۳۸۵ | ۱۰ | ۳۸ | ۵۲ | رسی لومی |
| ۱۳۹۲ | ۳۰ | ۰/۴ | ۷/۸ | ۰/۹۸ | ۰/۱ | ۱۰/۸ | ۳۴۰ | ۱۲ | ۳۶ | ۵۰ | |

در تحقیق حاضر، تیمارهای آزمایش شامل: گونه‌های قارچ میکوریز (*Acaulospora longula*، *Glomus claroideum*، *G. fasiculatum*، *G. intraradices* و *G. mosseae* و شاهد بدون میکوریز) و تیمار آبیاری مختلف در چهار سطح (آبیاری در ۸۰، ۷۰، ۶۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بودند. گونه های قارچ میکوریز از دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس از گیاه میزبان ذرت تهیه شد. برای از بین بردن آثار حاشیه‌ای ناشی از نفوذ آب، فاصله کرت‌های مجاور از یکدیگر و فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد. در هر کرت آزمایشی به مساحت ۶ متر مربع (۲×۳ متر) با ۵ ردیف کشت به فاصله ۴۰ سانتی متر از هم و فاصله بوته‌ها روی ردیف ها ۳۰ سانتی متر بود. سپس با توجه به وضعیت جوی منطقه در اواخر فروردین ماه در هرکرت ۵ شیار طولی به عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متر به منظور ریختن گونه قارچ (۱۵۰ گرم) ایجاد شد و در فاصله‌های مشخص اقدام به بذرکاری به عمق ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متر گردید. در مرحله شش برگه شدن گیاه، تیمارهای آبیاری در چهار سطح اعمال گردید. تنظیم میزان آب آبیاری به وسیله کنتور، تا مرحله گل‌دهی صورت گرفت. با اندازه گیری ظرفیت مزرعه‌ای، مقدار آب مورد نیاز هر کرت با استفاده از رابطه $Vn=(Fc-\theta)\times(A\times h)$ محاسبه شد که در آن Vn میزان آب مورد نیاز هر واحد آزمایشی، Fc ظرفیت زراعی خاک محل آزمایش، θ رطوبت خاک در زمان آبیاری، A مساحت کرت و h عمق نفوذ ریشه است.

**سنجش غلظت مالون دی آلدهید (MDA):** برای اندازه گیری غلظت مالون‌دی آلدهید از روش Heath و Packer (۱۹۶۸) استفاده شد. بر اساس این روش ۰/۲ گرم از بافت تازه برگی توزین و در هاون چینی حاوی ۵ میلی لیتر تری کلرو استیک اسید (TCA) ۰/۱ درصد ساییده شد. عصاره حاصل با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفیوژ شد. سپس به ۱ میلی لیتر از محلول رویی، ۴ میلی لیتر محلول TCA ۴۰ درصد که حاوی ۰/۵ درصد تیو باربیتوریک اسید (TBA) بود، اضافه گردید. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد حمام آب گرم حرارت داده شد، و بلافاصله در یخ سرد شد و دوباره مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفیوژ گردید. شدت جذب این محلول به وسیله اسپکتروفتومتر (مدل PD-303، شرکت APEL، ژاپن) در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. برای محاسبه غلظت MDA از ضریب خاموشی معادل ۱۰۵ ×۱/۵۶ $M^{-1}cm^{-1}$ استفاده شد و نتایج حاصل از اندازه‌گیری بر حسب وزن تر بافت (نانومول بر گرم برگ تر) محاسبه گردید.

**سنجش گلایسین بتائین:** ۰/۵ گرم بافت خشک گیاهی به خوبی پودر شد. سپس بر اساس روش Grieve

Archive of SID

www.SID.ir

و Grattan (۱۹۸۳) گلایسین بتائین اندازه‌گیری شد. به این صورت که از ۰/۵ بافت برگ خشک گیاهی و معرف یدید پتاسیم سولفوریک اسید ۲ نرمال و ۱و۲ دی کلراتان عصاره گیاهی تهیه شد. سپس با استفاده از منحنی استاندارد (غلظت‌های ۷ تا ۱۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر گلایسین بتائین)، جذب نمونه‌ها در طول موج ۳۶۵ نانومتر خوانده شد.

**سنجش پرولین:** ابتدا ۰/۵ گرم از بافت تازه گیاهی از گیاهان گلدار هر کدام از تیمارها، برداشت گردید. سپس برگ‌ها در هاون چینی کاملاً کوبیده و له شد و به حالت خمیری درآمد. سپس، ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالسیلیک اسید ۳ درصد به آن اضافه شد، سپس محتوای هاون به هم زده و صاف گردید. به ۲ میلی‌لیتر محلول حاصل، ۲ میلی‌لیتر نین‌هیدرین تهیه شده (۱۲۵ میلی‌گرم نین‌هیدرین + ۲ میلی‌لیتر فسفریک اسید ۶ مولار + ۳ میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال + ۲ میلی‌لیتر استیک اسید) اضافه شد. محتوای حاصل به هم زده و در حمام آب جوش در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱ ساعت قرار داده شد، سپس لوله‌های محتوی محلول حاصل در یخ قرار داده شد. پس از یکی شدن دمای آن با دمای محیط به آن ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه و به مدت ۱۵ ثانیه به‌هم زده شد. استانداردهای پرولین در مقادیر صفر تا ۰/۰۴ میکرومول بر میلی‌لیتر تهیه شد و نمونه‌ها و استانداردها در طول موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Irigoyen *et al.*, 1992). با رسم منحنی استاندارد مقدار پرولین بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر محاسبه شد.

**سنجش کل کربوهیدرات‌های محلول:** ابتدا ۰/۵ گرم از برگ تازه در ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد له شد، سپس ۱۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد به آن افزوده شد تا حجم کل محلول به ۲۰ میلی‌لیتر برسد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ (مدل MPW-210، شرکت Mechanika precyzyjna، لهستان) شد، قسمت رویی محلول به دست آمده جدا شد و به ۰/۱ میلی‌لیتر از آن، ۳ میلی‌لیتر محلول آنترون تهیه شده (۰/۱۵ گرم آنترون + ۱۰۰ میلی‌گرم سولفوریک اسید ۷۵ درصد) اضافه گردید. لوله‌های حاوی محلول‌های فوق به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد و در پایان میزان جذب آنها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر خوانده شد. محلول‌های استاندارد از گلوکز با غلظت‌های ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ قسمت در میلیون تهیه شد (Paquin and Lechasseur, 1979؛ Irigoyen *et al.*, 1992). با رسم منحنی استاندارد، مقدار کل کربوهیدرات های محلول بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

**استخراج اسانس:** برای استخراج اسانس با روش تقطیر با آب، مقدار ۳۰ گرم نمونه خشک شده از هر کرت وزن گردید و پس از آسیاب شدن مختصر در ۶۰۰ میلی‌لیتر آب، به مدت ۳ ساعت طبق فارماکوپه مجارستان در دستگاه کلونجر جوشانده شد تا اسانس آن استخراج شود (Pandey *et al.*, 2014).

**تحلیل آماری:** تجزیه واریانس داده های آزمایش بر اساس امید ریاضی طرح پایه با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ و مقایسات میانگین با آزمون SNK با نرم‌افزار MSTATC انجام شد.

## نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر متقابل

Archive of SID

www.SID.ir

بین تنش کمبود آب و قارچ میکوریز روی میزان غلظت مالون‌دی‌آلدهید، گلایسین بتائین، پرولین، قند محلول و درصد اسانس در سطح احتمال ۱ درصد (P≤۰/۰۱) معنی‌دار شد (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس سطوح مختلف آبیاری و قارچ میکوریز بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاه زوفا. * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | مالون‌دی‌آلدهید | گلایسین بتائین | پرولین | کربوهیدرات‌های محلول | درصد اسانس |
| تکرار | ۲ | ۱۲/۷۶ | ۷۱۴۹/۶۱ | ۳۰/۳۷ | ۴۸۴۲/۸۸ | ۰/۳۱ |
| آبیاری | ۳ | ۳۶۵۹/۶۷** | ۱۲۰۹۰۰۰/۶۳** | ۱۴۶۸/۰۰* | ۵۹۸۰۸/۰۸** | ۷/۱۷** |
| میکوریز | ۵ | ۱۹۹۴/۵۶** | ۱۹۷۰۴۲/۳۰** | ۳۹۶/۶۶** | ۶۱۹۳/۸۴** | ۳/۲** |
| آبیاری× میکوریز | ۱۵ | ۶۷۲/۳۲** | ۱۰۷۸۶۵/۵۸** | ۵۰۹/۹۵** | ۴۷۷۰/۴۵** | ۲/۰۹** |
| اشتباه | ۴۰ | ۹۹/۷۷ | ۱۷۶۱۸/۹۳ | ۹۰/۸۸ | ۱۳۵۴/۳۵ | ۰/۴۹ |
| ضریب تغییرات ( درصد) | | ۱۰/۴۱ | ۹/۲۲ | ۱۰/۵۷ | ۱۲/۸۲ | ۱۱/۵۷ |

بالاترین محتوای مالون‌دی‌آلدهید (۱۲۶/۹ نانومول بر گرم برگ وزن تر) در گیاهان غیرمیکوریزیی تحت شرایط آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. با وجود این، در کلیه سطوح آبیاری بیشترین مقدار MDA مربوط به گیاهان غیرمیکوریزیی بود. در بین گیاهان همزیست، بالاترین محتوای MDA (۱۲۵/۰۰ نانومول بر گرم برگ وزن تر) در برگ گیاهان تلقیح شده با *G. claroideum* و تیمار آبیاری در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد و کمترین میزان آن (۶۷/۳۴ نانومول بر گرم برگ وزن تر) در برگ گیاهان تلقیح شده با *G. mosseae* در ظرفیت زراعی ۸۰ درصد به دست آمد. مقدار مالون‌دی‌آلدهید با افزایش تنش آبی در کلیه تیمارهای غیرمیکوریز نسبت به گیاهان میکوریزیی افزایش بیشتری داشت. به طوری که میزان تغییرات مالون‌دی‌آلدهید در تیمارهای آبیاری برای گیاهان غیرمیکوریزیی (۲۲/۳ درصد)، گیاهان همزیست با گونه‌های قارچی: *G. mosseae*، *G. intraradices*، *G. fasiculatum*، *G. claroideum* و *A. longula* به ترتیب: ۳۵/۷، ۳۵/۶، ۳۹/۲، ۴۶ و ۲۱/۶ درصد بود (جدول ۲).

بالاترین میزان گلایسین بتائین (۲۳۲۳ میکرومول بر گرم وزن خشک) در برگ گیاهان غیرمیکوریزیی و آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (شدیدترین تنش کمبود آب) مشاهده شد. البته در بین گیاهان میکوریزیی تلقیح شده با *A. longula* (۲۰۱۹ میکرومول بر گرم وزن خشک) در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد به دست آمد. کمترین میزان گلایسین بتائین (۱۰۱۴ میکرومول بر گرم وزن خشک) در برگ گیاهان تلقیح شده با *G. intraradices* و آبیاری در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد به دست آمد که تفاوت معنی داری با گیاهان آبیاری شده در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی داشت. گیاهان همزیست با گونه‌های *A. longula* و *G. claroideum* و آبیاری در

Archive of SID

www.SID.ir

۷۰ درصد ظرفیت زراعی و گونه *A. longula* حتی در تیمار ۶۰ درصد ظرفیت زراعی نداشت. به نظر می‌رسد گونه *A. longula* در همزیستی با گیاه زوفا از نظر تولید گلایسین بتائین (به عنوان سازوکار مقابله با کم‌آبی) ناتوان‌تر از سایر گونه‌های قارچی مورد آزمایش باشد. میزان تغییرات گلایسین بتائین در تیمارهای آبیاری برای گیاهان غیرمیکوریزی (۵۰/۳ درصد)، گیاهان همزیست با گونه‌های: *G. mosseae*، *G. intraradices*، *G. fasiculatum*، *G. claroideum* و *A. longula* به ترتیب: ۲۲، ۳۸/۹، ۳۱/۶، ۲۵/۶ و ۴۰/۳ درصد بود (جدول ۲).

**اثر تنش کم آبی بر غلظت آمینو اسید پرولین:**

نتایج نشان داد که تنش کم آبی سبب بیشترین میزان تجمع پرولین (۱۱۱/۰ میکرومول بر گرم وزن تر) در برگ گیاهان تلقیح شده با گونه *A. longula* و آبیاری شده در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد شده است. البته تفاوت معنی داری بین کلیه تیمارهای میکوریز در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و گیاهان همزیست به غیر از گونه‌های قارچی *G. claroideum* و *A. longula* در آبیاری ۷۰ درصد و گونه‌های *A. longula* و *G. mosseae* در آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده نشد. گیاهان غیرمیکوریزی در کلیه سطوح آبیاری دارای بالاترین سطح تجمع پرولین برگی بود. میانگین مقادیر تجمع پرولین برگی در ترکیبات تیماری نشان دهنده پاسخ متفاوت گیاهان در همزیستی با گونه های قارچی است. طوری که افزایش معنی دار آن برای گونه‌های قارچی: *G. mosseae*، *G. intraradices*، *G. fasiculatum*، *G. claroideum* و *A. longula* در تیمار آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۲).

نتایج حاصل نشان داد که با بالا رفتن سطح تنش آبی، میزان انباشت برگی کربوهیدرات‌های کل محلول افزایش پیدا کرده است. بیشترین غلظت کربوهیدرات‌های کل محلول در برگ گیاهان تلقیح شده با *G. claroideum* (۳۹۶/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در ظرفیت زراعی ۶۰ درصد و کمترین غلظت آن در برگ گیاهان تلقیح شده با *G. fasiculatum* (۱۶۶/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در ظرفیت زراعی ۸۰ درصد به دست آمد. کلیه گیاهان غیرمیکوریزی با وجود بیشترین سطح غلظت کربوهیدرات‌های محلول، در کلیه سطوح آبیاری از نظر انباشت کربوهیدرات‌های کل محلول در یک گروه آماری قرار گرفتند. افزایش شدت تنش کم‌آبی از تیمار آبیاری در ۸۰ تا ۵۰ درصد ظرفیت زراعی موجب افزایش سطح انباشت کربوهیدرات های محلول شد، اما این افزایش در گیاهان همزیست با گونه های قارچی: *G. mosseae*، *G. intraradices*، *G. fasiculatum*، *G. claroideum* و *A. longula* به ترتیب چهار گونه اول در سطوح آبیاری ۶۰ و گونه آخر در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۲).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها گویای آن است که تأثیر تیمارهای میکوریز بر میزان اسانس معنی دار بوده است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که از میان تیمارهای بررسی شده، تیمار برگ گیاهان تلقیح شده با *G. fasiculatum* ۷/۲۹ درصد اسانس در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد و برگ گیاهان تلقیح شده با *A. longula* ۴/۰۹

Archive of SID

www.SID.ir

درصد اسانس در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین درصد اسانس را داشتند. در ضمن، تیمارهای آبیاری در ۵۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی از نظر درصد اسانس تفاوت غیرمعنی‌داری داشتند، اما با تیمارهای آبیاری در ۷۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های تأثیر سطوح مختلف آبیاری و قارچ میکوریز بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاه زوفا. حروف یکسان در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P<0.01$ است.

| آبیاری (FC) | گونه قارچ همزیست | مالون‌دی‌آلدهید (nmol/gfw) | گلایسین بتائین (µm/gdw) | پرولین (µm/gfw) | کربوهیدرات‌های محلول (mg/gdw) | اسانس (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۵۰ | *G. mosseae* | ۱۰۶/۳a-e | ۱۵۵۳c-e | ۱۰۴/۳ab | ۳۱۶/۷e-f | ۵/۰۵b-d |
| | *G. intraradices* | ۱۲۰/۷a-c | ۱۶۶۰c | ۱۰۱/۳a-c | ۲۹۶/۳e-g | ۷/۱۰ab |
| | *G. fasiculatum* | ۱۱۴/۱a-d | ۱۵۸۲c-e | ۹۵/۳a-c | ۳۴۰/۷a-d | ۷/۲۹a |
| | *G. claroideum* | ۱۲۵/۰ab | ۱۴۸۴c-g | ۱۰۰/۰a-c | ۳۰۹/۳a-g | ۶/۸۵ab |
| | *A. longula* | ۱۰۲/۶a-f | ۲۰۱۹b | ۱۱۱/۰a | ۳۶۲/۳a-c | ۶/۹۴ab |
| | بدون میکوریز | ۱۲۶/۹ab | ۲۳۲۳a | ۱۰۳/۷ab | ۳۶۶/۳a-c | ۶/۷۳ab |
| ۶۰ | *G. mosseae* | ۹۹/۷b-f | ۱۵۹۸cd | ۹۵/۳a-c | ۳۳۲/۷a-e | ۶/۵۹ab |
| | *G. intraradices* | ۸۰/۵e-g | ۱۴۳۶c-h | ۸۷/۷a-e | ۲۴۸/۳d-h | ۶/۵۸ab |
| | *G. fasiculatum* | ۱۱۷/۷a-c | ۱۴۶۰c-h | ۹۱/۳a-d | ۳۶۲/۳a-c | ۵/۴۴a-d |
| | *G. claroideum* | ۷۱/۱g | ۱۴۲۱c-h | ۹۸/۷a-c | ۳۹۶/۷a | ۶/۶۵ab |
| | *A. longula* | ۸۰/۸e-g | ۱۳۰۹c-i | ۸۸/۳a-e | ۳۰۷/۳a-g | ۶/۶۲ab |
| | بدون میکوریز | ۱۲۴/۸ab | ۱۶۶۹c | ۸۴/۳a-e | ۳۷۸/۰ab | ۷/۱۴ab |
| ۷۰ | *G. mosseae* | ۸۹/۲d-g | ۱۵۶۶c-e | ۸۷/۳a-e | ۲۱۴/۰f-h | ۴/۹۹b-d |
| | *G. intraradices* | ۷۷/۷f-g | ۱۰۱۴i | ۸۱/۷a-e | ۲۷۱/۷b-g | ۷/۰۱a-d |
| | *G. fasiculatum* | ۷۱/۶g | ۱۴۵۹c-h | ۸۶/۳a-e | ۲۴۷/۰d-g | ۴/۱۶d |
| | *G. claroideum* | ۶۷/۵g | ۱۳۵۶c-i | ۶۲/۰e | ۲۰۲/۷gh | ۵/۵۴a-d |
| | *A. longula* | ۹۵/۹c-g | ۱۲۰۵e-i | ۷۳/۷c-e | ۳۱۴/۷a-f | ۴/۰۹d |
| | بدون میکوریز | ۱۰۰/۷b-f | ۱۵۱۱c-f | ۱۰۴/۷ab | ۳۰۳/۰a-g | ۶/۰۸c-e |
| ۸۰ | *G. mosseae* | ۶۸/۳g | ۱۲۴۶d-i | ۶۲/۰e | ۲۱۸/۳f-h | ۶/۴۳ab |
| | *G. intraradices* | ۸۰/۳e-g | ۱۱۲۲g-i | ۱۰۹/۰ab | ۲۳۱/۰e-h | ۵/۱۲a-d |
| | *G. fasiculatum* | ۷۸/۲fg | ۱۰۸۱h-i | ۸۱/۰b-e | ۱۶۶/۳h | ۴/۲۸c-d |
| | *G. claroideum* | ۶۸/۷g | ۱۱۰۴g-i | ۸۴/۷a-e | ۲۱۳/۳f-h | ۶/۶۲ab |
| | *A. longula* | ۱۰۳/۱a-f | ۱۲۰۸e-i | ۶۵/۳de | ۲۶۱/۳c-h | ۵/۶۹a-d |
| | بدون میکوریز | ۱۲۹/۶a | ۱۱۵۴f-i | ۱۰۵/۰ab | ۲۲۵/۴f-h | ۶/۵۷ab |

Archive of SID

www.SID.ir

## بحث

همان طور که نتایج بررسی حاضر نشان داد، قارچ های میکوریز سبب افزایش بازده مصرف آب می شود. علت این امر سازوکار عملکرد قارچ میکوریز در جذب فسفر است (Smith *et al*., 2010). ریسه‌های قارچ های میکوریز به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته‌ای از آنها وارد سیستم ریشه گیاه شده، سبب کاهش غلظت آبسیزیک اسید و افزایش میزان سیتوکینین می‌شوند که در نهایت، سبب افزایش جذب آب و گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه می‌گردد. دسته دوم خارج از سیستم ریشه هستند و اسیدهای آلی محلول‌کننده فسفر نظیر مالیک اسید را ترشح می‌کنند که موجب افزایش جذب فسفر توسط گیاه می‌شود. ظرفیت نشانگر زیستی تخریبی مالون‌دی‌آلدهید نشان‌دهنده میزان پراکسیداسیون لیپید در یاخته است (Fu and Huang, 2001). تنش اکسیداتیو ناشی از تنش کم‌آبی به آسیب بافتی منجر می‌شود. در این شرایط، پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع افزایش می‌یابد و در اثر حمله رادیکال‌های آزاد به لیپیدها، آلدهیدهای گوناگونی از جمله مالون‌دی‌آلدهید ایجاد می‌شود (Habibi *et al*., 2013). افزایش پراکسیداسیون چربی و به دنبال آن کاهش شاخص پایداری غشای سلول در گیاهان گندم، لوبیا و آفتابگردان نیز گزارش شده است (Rahimizadeh *et al*., 2007) که مؤید نتایج این پژوهش است. غلظت گلایسین بتائین در برگ، همراه با افزایش تنش آبی، افزایش تدریجی نشان داد. این نتایج نشانگر آن است که گونه‌های میکوریز در تعدیل تنش نسبت به غیرمیکوریز نقش داشته‌اند. بالاترین غلظت این محلول آلی در تنش کم آبی شدید به وجود آمده است. در شرایط تنش کم آبی، بیشترین میزان گلایسین بتائین در برگ گیاهان تلقیح شده با *A. longula* و *G. intraradices* حاصل شده که ممکن است تجمع این اسمولیت در برگ از طریق کاهش پتانسیل اسمزی و پتانسیل آب سلول، امکان ادامه جذب آب را برای سلول فراهم کند. در برخی از مطالعات مشاهده شده است که بهبود فتوسنتز توسط گلایسین بتائین در گیاهان تحت تنش به افزایش در کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II مربوط می‌شود (Sakamoto and Murata, 1998). افزایش تدریجی پرولین تحت تنش کم آبی در تیمارهای غیرمیکوریز با تنش‌های متوسط تقریباً دو برابر شد که نشان می‌دهد کاربرد میکوریز در تعدیل تنش آبی تأثیرگذار و معنی‌دار است. این نتایج نشان داد که تولید این تنظیم کننده‌های اسمزی، یک پاسخ معمول به شرایط تنش کم‌آبی است. بالاترین میزان تجمع پرولین در برگ گیاه زوفا تلقیح شده با گونه‌های میکوریز در سطح آبیاری ۵۰ درصد بوده است. افزایش غلظت پرولین در گیاهان تحت تنش، نوعی سازگاری برای غلبه بر شرایط تنش است (Manivannan *et al*., 2007؛ Bayer, 2007). همچنین تنش کم‌آبی بر میزان کربوهیدرات‌های گیاه مؤثر بوده و بر میزان قندهای محلول افزوده است. به طوری که میزان قند در ظرفیت‌های زراعی ۶۰ و ۵۰ درصد در برگ گیاهان تلقیح شده با *G. claroideum* و *A. longula* بیشتر بود و بین سطوح آبیاری ۸۰ و ۵۰ درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. در بین تیمارهای غیرمیکوریز بیشترین غلظت کل کربوهیدرات‌های محلول در ظرفیت زراعی ۶۰ درصد به دست آمد. تجزیه کربوهیدرات های مرکب به ساده

Archive of SID

www.SID.ir

در اثر کم آبی، بر میزان قندهای محلول می‌افزاید، همان طور که در گیاه *Lonicera japonica* محتوای قندهای محلول تحت تأثیر تنش کم‌آبی افزایش یافت (Xu *et al.*, 2006). بالاترین درصد اسانس در برگ گیاهان تلقیح شده با *G. fasiculatum* و *G. intraradices* در ظرفیت‌های زراعی ۵۰ و ۷۰ درصد به دست آمد. نتیجه بررسی حاضر با نتایج Letchamo و Gosselin (۱۹۹۶) که تأثیر سه سطح رطوبتی (۹۰، ۷۰، ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) را بر گیاه آویشن بررسی کرده بودند در یک راستاست. آنها مشاهده نمودند که بالاترین مقدار (درصد) و عملکرد اسانس در شرایط ۷۰ درصد مزرعه‌ای به دست می‌آید و بین سطوح رطوبتی ۹۰ و ۵۰ درصد اختلاف معنی‌داری از این نظر وجود ندارد. Bettaieb و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کرده‌اند که کمبود آب بر رشد، اسیدهای چرب، عملکرد اسانس و ترکیب‌های گیاه مریم‌گلی تأثیر معنی‌دار دارد. به طوری که تنش متوسط عملکرد اسانس و ترکیب‌های اصلی اسانس نظیر: کامفور، آلفا توژن و ۱،۸- سینول را افزایش می‌دهد. همچنین، بیشترین درصد اسانس در ریحان (Hassani and Omidbaigi, 2002) و بالاترین عملکرد اسانس و ترکیب‌های آن در مریم‌گلی (Bettaieb *et al.*, 2009) در سطح آبی متوسط مشاهده شده است. بنابراین، متابولیت‌های ثانویه گیاهان (اصلی‌ترین جنبه فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهان دارویی) تحت تأثیر عوامل محیطی به ویژه کمبود آب قرار می‌گیرد (Petropoulos *et al.*, 2008).

به طورکلی، غلظت مالون‌دی‌آلدهید تحت تأثیر تنش کم‌آبی در گونه های میکوریزی نسبت به شاهد کاهش یافت، اما این کاهش در گونه‌های قارچ همزیست یکسان نیست. کاهش تولید گلایسین بتائین زمانی که آب به میزان مناسب تأمین شده است (آبیاری در بالاتر از ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده نشد. انباشت کربوهیدرات های محلول در همزیستی با گونه *G. mosseae* کمترین مقدار را نشان داد. در حالی که به نظر می‌رسد تجمع پرولین کمتر تحت تأثیر کم آبی و همزیستی قرار دارد. با وجود این، بدون توجه به گونه‌های همزیست، درصد اسانس در تنش‌های شدیدتر کم آبی کاهش یافته است، هر چند برخی گونه ها سطح تولید اسانس را در هر کدام از سطوح آبیاری به اندازه شاهد بهبود بخشیده‌اند.

## سپاسگزاری

نگارندگان از همکاری صمیمانه مهندس سید انور حسینی، رئیس اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان پیرانشهر به خاطر فراهم کردن مزرعه تحقیقاتی و از جناب آقای دکتر محمدی گل تپه برای در اختیار گذاردن قارچ میکوریز از گیاه میزبان ذرت سپاسگزاری می‌نمایند.

## منابع

Bates, L. S., Walderen, R. D. and Taere, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39(1): 205-207.

Bayer, C. (2007) Proper proline management needed for effective results. Journal of Medicinal Chemistry 18: 10-25.

Bettaieb, I., Zakhama, N., Aidi Wannes, W., Kchouk, M. E. and Marzouk, B. (2009) Water deficit

Archive of SID

www.SID.ir

effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. Scientia Horticulturae 120(2): 271-275.

Davey, M. W., Stals, E., Panis, B., Keulemans, J. and Swennen, R. L. (2005) High throughput determination of malondialdehyde in plant tissues. Analytical Biochemistry 347(2): 201-207.

Delfine, S., Loreto, F., Pinelli, P., Tognetti, R. and Alvino, A. (2005) Isoprenoids content and photosynthetic limitations in rosemary and spearmint plants under water stress. Agriculture, Ecosystems and Environment 106: 243-252.

Fu, J. and Huang, B. (2001) Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. Environmental and Experimental Botany 45(2): 105-114.

Grieve, C. M. and Grattan, S. R. (1983) Rapid assay for determination of water-soluble quaternary ammonium compounds. Plant and Soil 70(2): 303-307.

Habibi, D., Ooroojnia, S., Fatollah Taleghani, D., Pazoki, A. and Davoodifard, M. (2013) Antioxidants and yield evaluation of sugar beet genotypes under drought stress. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding 8(4): 63-82 (in Persian).

Hassani, A. and Omidbaigi, R. (2002) Effects of water stress on some morphological, physiological and metabolic characteristics of basil. Journal of Agricultural Science 12: 47-59.

Heath, R. L. and Packer, L. (1968) Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics 125(1): 189-198.

Irigoyen, J. J., Einerich, D. W. and Sanchez-Diaz, M. (1992) Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum 84(1): 55-60.

Kamkar, B., Daneshmand, A. R., Ghooshchi, F., Shiranirad, A. H. and Safahani Langeroudi, A. R. (2011) The effects of irrigation regimes and nitrogen rates on some agronomic traits of canola under a semiarid environment. Agricultural Water Management 98(6): 1005-1012.

Kizil, S., Haşimi, N., Tolan, V., Kilininç, E. and Karataş, H. (2010) Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) essential oil. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 38(3): 99-103.

Koocheki, A., Tabrizi, L. and Ghorbani, R. (2008) Effect of biofertilizers on agronomic and quality criteria of Hyssop (*Hyssopus officinalis*). Iranian Field Crops Research 6(1): 127-137 (in Persian).

Letchamo, W. and Gosselin, A. (1996) Transpiration, essential oil glands, epicuticular wax and morphology of *Thymus valgaris* are influenced by light intensity and water supply. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 71(1): 123-134.

Manivannan, P., Jaleel, C. A., Sankar, B., Kishurekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G. M. and Panneerselvam, R. (2007) Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. Colloids and Surfaces, B: Biointerfaces 59(2): 141-149.

Meshkat, E. (2011) Effect of three species of arbuscular mycorrhiza on yield and physiological characteristics of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L. cv. Bodegold) under water stress. MSc thesis, Ilam University, Iran (in Persian).

Pandey, V., Verma, R. S., Chaudan, A. and Tiwari, R. (2014) Compositional variation in the leaf, flower and stem essential oils of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) from western-Himalaya. Journal of Herbal Medicine 4(2): 89-95.

Archive of SID

www.SID.ir

Panwar, J. and Tarafdar, J. C. (2006) Arbuscular mycorrhizal fungal dynamics under [*Mitragyna parvifolia* (Roxb.) Korth.] in Thar Desert. Applied Soil Ecology 34(2-3): 200-208.

Paquin, R. and Lechasseur, P. (1979) Observation sur une method de dosage de la proline libre Dans les extrats de plants. Canadian Journal of Botany 57(18): 1851-1854.

Petropoulos, S. A., Daferera, D., Polissiou, M. G. and Passam, H. C. (2008) The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. Scientia Horticulturae 115(4): 393-397.

Pirzad, A., Fayyaz Moghaddam, A., Razban, M. and Raei, Y. (2012) The evaluation of dried flower and essential oil yield and harvest index of *Matricaria chamomilla* L. under varying irrigation regimes and amounts of super absorbent polymer (A200). Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 22(3): 85-99 (in Persian).

Rahimizadeh, M., Habibi, D., Madani, H., Mohammadi, H., Mehraban, A. and Sabet., A. M. (2007) The effect of micronutrients on antioxidant enzymes metabolism in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress. Helia 30(47): 167-173.

Rhodes, D. and Hanson, A. D. (1993) Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 44: 357-384.

Sakamoto, A. and Murata, A. N. (1998) Metabolic engineering of rice leading to biosynthesis of glycinebetaine and tolerance to salt and cold. Plant Molecular Biology 38(6): 1011-1019.

Slama, I., Ghnaya, T., Hessini, K., Messedi, D., Savoure, A. and Abdelly, C. (2007) Comparative study of the effects of mannitol and PEG osmotic stress on growth and solute accumulation in *Sesuvium portulacastrum*. Environmental and Experimental Botany 61(1): 10-17.

Smith, S. E., Facelli, E., Pope, S. and Smith, A. (2010) Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. Plant and Soil 326(1-2): 3-20.

Xu, Y. C., Zhang, J. B., Jiang, Q. A., Zhou, L. Y. and Miao, H. B. (2006) Effects of water stress on the growth of *Lonicera japonica* and quality of honeysuckle. Chinese Journal of Medicinal Materials 29(5): 420-423.

Yang, W. J., Rich, P. J., Axtell, J. D., Wood, K. V., Bonham, C. C., Ejeta, G., Mickelbart M. V. and Rhodes, D. (2003) Genotypic variation for glycine betaine in sorghum. Crop Science 43: 162-169.

Archive of SID

www.SID.ir

# The effect of mycorrhizal fungi on malondialdehyde concentration and some metabolic processes in hyssop (*Hyssopus officinalis*) under water deficit stress

**Farogh Soleymani and Alireza Pirzad ***

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

Archive of SID

**Abstract**

Ion balance and osmotic regulation in plants to mitigate the effects of drought is possible with accumulation of osmolytes like proline and glycine betaine. Accordingly, in order to investigate the effect of mycorrhizal fungai species on the eco-physiological characteristics of hyssop, a factorial experimental based on randomized complete block design with three replications was conducted at the Research Farm of Agriculture and Natural Resources of West Azarbaijan in 2013. Experimental treatments included species of mycorrhizal fungi (*Glomus mosseae, G. intraradices, G. fasiculatum, G. claroideum, Acaulospora longula* and control without mycorrhiza) and four levels of irrigation (irrigation at 80, 70, 60 and 50% of field capacity). The results of ANOVA showed the significant interaction between water deficit and mycorrhizal fungi species on the concentrations of malondialdehyde (MDA), glycine betaine, proline, total soluble carbohydrates and essential oil percent. The highest concentrations of malondialdehyde (MDA) (125 nmol/g fresh weight), glycine betaine (2019 μm/g dry weight), proline (111 μm/g fresh weight), essential oil percentage (7.29%) and total soluble carbohydrates (396.7 mg/g dry weight) were obtained from plants inoculated by *G. claroideum, A. longula, A. longula, G. fasicul*atum and *G. claroideum* and irrigated at 50 and 60% field capacity, respectively. The concentration of malondialdehyde (MDA) biomarker was increased at non-mycorrhizal plants compared with mycorrhizal one. Overall, this study suggested that the mycorrhizal species were effective to reduce stress and water use efficiency.

**Key words:** Essential oil, Osmolyte, Water stress, *Hyssopus officinalis* L., Glycine betaine, Malondialdehyde

* Corresponding Author: a.pirzad@urmia.ac.ir

www.SID.ir