دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال دوازدهم، شماره چهل و سوم، ۱۳۹۹

تأثیر همزیستی میکوریزی در تعدیل اثرات زیانبار علف‌کش هالوکسی‌فوپ–آر متیل‌استر در آفتابگردان

زینب دهقان[۱]، جلیل خارا[۲]

دریافت: ۹۸/٤/٦ پذیرش: ۹۸/۸/۲۱

چکیده

به منظور بررسی اثرات تلقیح با قارچ میکوریز آربوسکولار *Glomus intraradices* در تعدیل اثر علف‌کش هالوکسی‌فوپ آرمتیل استر با نام تجاری سوپرگالانت بر شاخص‌های بیوشیمیایی و پاسخ‌های هورمونی گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) رقم لاکومکا، یک آزمایش فاکتوریل به صورت طرح کاملاً تصادفی با ٤ سطح غلظت علف‌کش (۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ پی‌پی‌ام) در ۳ تکرار انجام شد. در مرحله ٤ تا ٦ برگی، غلظت‌های مختلف علف‌کش به اندام هوایی گیاهان پاشیده شد. اثرات علف‌کش روی درصد همزیستی میکوریزی و سایر شاخص‌ها، در گیاهان تحت تیمار با میکوریز و شاهد کاملاً مشهود بود. با افزایش غلظت علف‌کش، افزایش (٦۰ درصد) مقدار جیبرلین در گیاهان همزیست و کاهش معنی‌دار مقدار اکسین اندام هوایی (٤۸ درصد) نسبت به شاهد مشاهده شد. علاوه بر این، افزایش مقدار پرولین (۲/۷ و ۱/۵ برابر در اندام هوایی و ریشه) و محتوای قندهای محلول (۳٦/۵ و ۲۳/۵ درصد در اندام هوایی و ریشه) و نیز کاهش محتوای پروتئین کل (۲۹/۲ درصد در اندام هوایی و ٤۰/۱ درصد در ریشه) و کاهش وزن خشک (٦۱/۳ و ۷٦/۰ درصد در اندام هوایی و ریشه) گیاهان شاهد و همزیست قابل توجه بود. با افزایش غلظت علف‌کش، مقدار آسیب وارده به گیاه بیشتر شد و گیاه برای مقابله با این شرایط با افزایش جیبرلین، پرولین و قندهای محلول پاسخ داد. این پاسخ‌های سازشی در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریز شدیدتر و مؤثرتر بود. از این رو، به نظر می‌رسد تلقیح گیاهان آفتابگردان با *G. intraradices* می‌تواند این گیاه را در برابر اثرات زیانبار علف‌کش فوق مقاوم‌تر کند.

واژه‌های کلیدی: میکوریز، علف‌کش، هالوکسی‌فوپ آر–متیل استر، آفتابگردان، سوپرگالانت.

دهقان، ز. و ج. خارا. ۱۳۹۹. تأثیر همزیستی میکوریزی در تعدیل اثرات زیانبار علف‌کش هالوکسی‌فوپ-آر متیل‌استر در آفتابگردان. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ٤۳: ۵۷-٤٦.

۱- دانشجوی دکترای فیزیولوژی گیاهی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران- مسئول مکاتبات. j.khara@urmia.ac.ir

مقدمه

کنترل بیولوژیکی علف‌های هرز، مستلزم استفاده سنجیده از دشمنان طبیعی بازدارنده رشد، یا کاهش جمعیت گونه‌های علف هرز می‌باشد (ابوزینا و هاگاگ، ۲۰۱۶). اصطلاح «اولین محل» یا محل تأثیر علف‌کش، معمولاً برای توصیف محل فعالیت بیوشیمیایی که در آن علف‌کش می‌تواند باعث جلوگیری از یک فرآیند مهم رشد گیاه شود، به کار می‌رود. انتظار می‌رود که این محل به سرعت به علف‌کش عکس‌العمل نشان دهد. محقق باید تحقیقات دقیقی درباره تاثیر علف‌کش‌های جدید بر روی سوخت و ساز گیاه انجام دهد تا بتواند چگونگی تأثیر علف‌کش را بیابد (آگوستینتو و همکاران، ۲۰۱۶).

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) گیاهی است یک‌ساله از تیره کاسنی (Asteraceae) که به‌صورت بوته‌ای استوار رشد می‌کند و دارای ریشه‌ای توسعه یافته است. این گیاه چهارمین منبع تولید جهانی روغن و چربی گیاهی به شمار می‌آید. آفتابگردان در خاک‌هایی که بافت آن‌ها از شنی تا رسی تغییر می‌کند، به‌خوبی رشد می‌کند و طول دوره رویشی بسته به رقم آن حدود ۳ تا ۵ ماه است (خواجه پور،۱۳۹۱). دانه آفتابگردان علت داشتن اسیدهای چرب مفید نظیر اسید اولئیک و اسید لینولئیک که جزء اسیدهای چرب اشباع‌نشده می‌باشند، مورد استقبال بسیاری از مردم جهان قرار گرفته است (سیلر، ۲۰۰۷).

هالوکسی‌فوپ آرمتیل استر (با نام تجاری سوپرگالانت یا گالانت‌سوپر) که از این پس برای اختصار هالوکسی‌فوپ نامیده می‌شود جزو علف‌کش‌های فوپ به حساب می‌آید. علف‌کش‌های فوپ بازدارنده فعالیت آنزیم استیل‌کوآنزیم-آکربوکسیلاز (ACCase) از آنزیم‌های اولیه ساخت اسیدهای چرب هستند. فوپ‌ها به ACCase متصل شده و مانع فعالیت آن در گیاهان می‌شوند. فوپ‌ها ساخت اسیدهای چرب را کند و در نهایت متوقف می‌کنند و بدین ترتیب سبب اختلال در ساختار غشا می‌شوند که برای رشد سلول ضروری است. این علف‌کش‌ها عمدتاً روی شاخ و برگ گیاه قابل مصرف بوده و فعالیت اندکی در خاک دارند. معمولاً در شرایط رطوبت نسبی و دماهای بالاتر و نور کم (به هنگام غروب آفتاب)، بهتر جذب می‌شوند. نتایج به دست‌آمده از تأثیر هالوکسی‌فوپ در ترکیب با علف‌کش‌های الاکلر، ترفلان، بوتیسان استار و لونترال در مزارع کلزا و علف‌های هزر همراه آن، نشان داده که عملکرد دانه در تیمار با هالوکسی‌فوپ همراه با لونترال مشابه شاهد بدون علف هرز بوده است. در تیمارهای هالوکسی‌فوپ، لونترال و بوتیسان استار تعداد علف‌های هرز باریک برگ و پهن‌برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است (میری و رحیمی، ۱۳۸۸). جایگاه اصلی فعالیت علف‌کش هالوکسی‌فوپ-آر متیل‌استر که به‌وسیله برگ‌ها به‌سرعت جذب می‌شود، بافت‌های مریستمی است. این ماده در مریستم‌ها جمع شده و به‌آسانی توسط ریشه‌های گیاهچه‌های در حال جوانه‌زنی جذب می‌شود (زند و همکاران، ۱۳۸۹).

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار از جمله میکروارگانیسم-های خاک می‌باشند که قادر به ایجاد همزیستی با ریشه طیف وسیعی از گیاهان بوده و روی رشد گیاه میزبان اثر می‌گذارند (اینیوبونگ و همکاران، ۲۰۰۸). این قارچ به عنوان فراوان-ترین نوع قارچ‌های میکوریز با حضور هیف‌های قارچی در داخل سلول‌های ریشه، عدم ایجاد شبکه هارتیگ و غلاف قارچی و ایجاد هیف‌های قارچی در سطح ریشه متمایز می-گردد. قارچ‌های میکوریز توانایی تشکیل جوامع همزیست با اغلب گونه‌های گیاهی را داشته و به عنوان یک نوع کود زیستی، برای افزایش محصولات کشاورزی دارای اهمیت‌اند (احمدخان و همکاران، ۲۰۰۷؛ خان، ۲۰۰۵). از اثرات مهم قارچ‌های میکوریز افزایش میزان آب گیاه، جذب عناصر غذایی مثل فسفر، مس، روی و بالابردن هدایت روزنه‌ای برگ‌های گیاهان (وو و همکاران، ۲۰۱۱) و افزایش میزان تنظیم اسمزی ذکر شده است. تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانتی که منجر به افزایش بیان ژن‌های مربوط به آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی می‌شوند نیز اهمیت دارد (فان و لیو، ۲۰۱۱).

با توجه به مطالب ذکر شده و آسیب‌های وارده از طرف هالوکسی‌فوپ به گیاهان غیرهدف تحت تأثیر آن، لازم است به دنبال راهکاری برای کاهش اثرات مخرب این علف‌کش در مزارع و گیاهان باشیم. گیاهان زراعی با وجود این که با تیمار علف‌کش از بین نمی‌روند آسیب‌هایی را از نظر فیزیولوژیک و توازن هورمونی تحمل می‌کنند. برای این منظور در مطالعه حاضر استفاده از تیمار کمکی میکوریز (*Glomus intraradices*) به عنوان راهکار پیشنهادی برای تخفیف تنش علف‌کش، مورد آزمایش قرار گرفت تا میزان کارآیی آن در مقایسه با گیاهان شاهد مقایسه گردد.

مواد و روش‌ها

آزمایش فاکتوریل به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با ٤ سطح غلظت علف‌کش هالوکسی‌فوپ (۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ پی‌پی‌ام) در ۳ تکرار انجام شد. تعداد گلدان‌ها ۲٤ عدد در نظر گرفته شد.

بذرهای آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) رقم "لاکومکا" که از مرکز تحقیقات کشاورزی همدان تهیه شده بود، با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰٪ به مدت ۵ دقیقه ضدعفونی شده و با آب مقطر کاملاً شسته شد. از گلدان‌هایی استریل با ابعاد متوسط استفاده شد که از مخلوط خاک و ماسه شسته شده و استریل با نسبت ۱:۵ پرشده بودند. در داخل هر گلدان حدود ۱۰ بذر قرار گرفت که بعدها به ۵ بذر تنک شد. مایه تلقیح قارچ میکوریز قبلا در همین آزمایشگاه با استفاده از کشت ذرت (رقم ۷۰٤) تهیه شده بود. به خاک (۲ کیلوگرمی) گلدان‌های تحت تیمار با میکوریز حدود ۵۰ گرم مایه تلقیح قارچی افزوده شد. اتاقک رشد با دمای شبانه‌روزی ۱۸:۳۰ و رطوبت نسبی ۷۰ تا ۸۰ درصد و دوره نوری ١٦: ٨ (روز و شب) به مدت ۵ هفته مورداستفاده قرار گرفت. گلدان‌ها در طول این دوره به مدت ۲ هفته با آب مقطر و از هفته سوم با محلول نیم قدرت هوگلند به‌صورت یک روز در میان آبیاری شدند. در مرحله ٤ تا ٦ برگی، غلظت‌های مختلف علف‌کش به بخش هوایی گیاهان پاشیده شد. پس از پایان دوره رشدی ۳۵ روزه و دوهفته پس از اعمال علف‌کش، تمام گیاهان برای آنالیزهای بیوشیمیایی برداشت شدند.

برای تعیین وزن خشک ریشه‌ها و اندام هوایی، گیاهان به مدت ٤٨ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند. سپس وزن خشک این نمونه‌ها با ترازو با دقت سه رقم اعشار اندازه‌گیری شد.

برای تعیین درصد همزیستی میکوریزی از روش فیلیپس و هیمن (۱۹۷۰) موسوم به Gridline intersect method استفاده شد. در این روش از رنگ‌آمیزی ریشه‌ها با تریپان‌بلو و محاسبه نقاط رنگ شده و ریشه‌های غیرهمزیست استفاده می‌شود. به این ترتیب که تعداد نقاطی از ریشه که با خطوط عمودی و افقی کاغذ شطرنجی برخورد کرده بودند، شمارش شدند. مناطقی که آبی پررنگ بودند (نشانگر وجود اندام‌های قارچی) نیز شمارش شدند و در نهایت از تقسیم این عدد بر تعداد کل برخوردها، درصد آغشتگی ریشه‌ها با قارچ، محاسبه شد.

محتوای قندهای محلول با استفاده از روش فنل سولفوریک (دوبویس و همکاران، ۱۹۵٦) محاسبه شد. برای تعیین پروتئین کل روش فولن- لوری (لوری و همکاران، ۱۹۵۱) به کار گرفته شد. محتوای پرولین با روش بیتز و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد. برای سنجش هورمون اکسین مخلوطی از نمونه و معرف سالکوسکی (۲ میلی‌لیتر محلول نیم مولار $FeCl_3$ و ۹۸ میلی‌لیتر $HClO_4$ ۳۵ درصد) به نسبت ۲:۱ تهیه و میزان هورمون اکسین تولید شده در طول موج ۵۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (بنت و همکاران، ۲۰۰۱). همچنین، برای سنجش هورمون جیبرلین، ۱ میلی‌لیتر از نمونه استخراج شده با ۱ میلی‌لیتر الکل مطلق در ارلن ۱۰ میلی‌لیتری قرارداده شده و اسیدکلریدریک (۳/۷۵ مولار) به آن افزوده شد تا به ۱۰ میلی‌لیتر برسد. سپس به مدت ۱۰ ثانیه به شدت به هم زده شد. جذب محلول حاصل در طول موج ۲٥٤ نانومتر با فواصل ۲۰ ثانیه‌ای تا ۲ دقیقه خوانده شد. دما در طی فرایند در حد ۲۰ درجه ثابت نگه داشته شد. یک نمودار کالیبراسیون با استفاده از محلول استاندارد GA_3 تهیه شد. این محلول با حل کردن ۰/۰٤ گرم GA_3 خالص در الکل مطلق و رقیق کردن آن تا ۱۰۰ میلی‌لیتر با الکل مطلق به دست آمد (بریوس و همکاران، ۲۰۰٤).

تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS ورژن ۲۰ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن، در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در این تحقیق (جدول ۱) نشان داد که بین گروه‌های مورد نظر با توجه به اعمال سطوح تنش و عدم تنش، اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ در صفات مورد ارزیابی گیاه آفتابگردان مشهود می‌باشد.

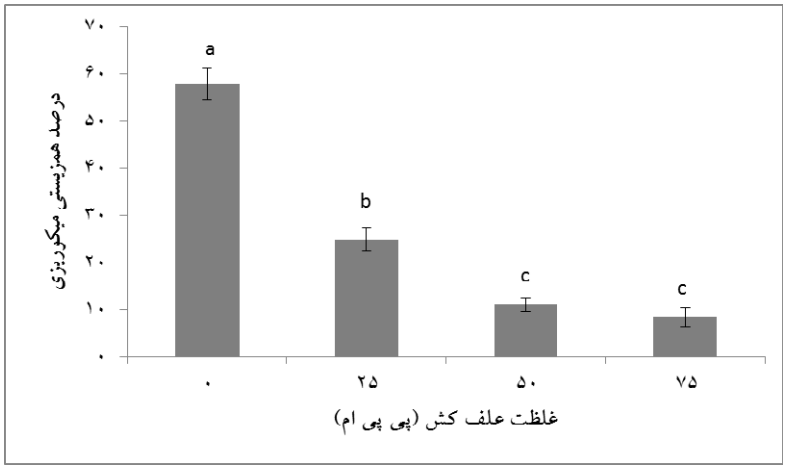
با توجه به اینکه علف‌کش هالوکسی‌فوپ یک علف‌کش پس رویشی مورد استفاده در مزارع پهن‌برگ برای از بین بردن باریک‌برگ‌ها است، نباید بر پهن برگ‌ها صدمه‌ای وارد نماید؛ اما در مطالعه حاضر چند روز پس از اعمال علف‌کش، کلروزیس (زرد شدگی برگی) از حاشیه و نوک برگ‌ها شروع شد و به‌مرور پخش گردید. برگ‌های اولیه گیاه پژمرده شد و آثار خشکیدگی بافت ظاهر گردید. گفته می‌شود تنش اکسیداتیو در کوتاه مدت نقش مهمی در مرگ سریع گیاه در محل تماس دارد و تقریباً در تمامی موارد باعث از بین رفتن برگ می‌شود (یانیکا و همکاران، ۲۰۰۸). اختلال در بیوسنتز چربی‌ها سبب تخریب غیرقابل‌جبران در سنتز غشاها می‌شود؛ درنتیجه، نمو طبیعی پلاستیدها مشاهده نمی‌شود و سوخت‌وساز گیاه به طرز چشمگیری تغییر می‌یابد. جلوگیری از رشد با ممانعت از فعالیت مریستم، ٤٨ ساعت پس از تیمار علف‌کش صورت می‌گیرد و علائم آن تخریب پلاستیدها در برگ‌های جوان و زرد شدگی است (کاب و رید، ۲۰۱۰). علائم خسارت شامل توقف سریع رشد شاخساره‌ای و ریشه‌ای و تغییرات رنگ‌دانه‌ای برگ‌ها ظرف ۲ تا ٤ روز است. متعاقب آن

کلروز پیش‌رونده‌ای دیده می‌شود که از نواحی مریستمی آغاز گشته و در سرتاسر گیاه پخش می‌شود (نیلور، ۲۰۰۲). در این بررسی با افزایش غلظت هالوکسی‌فوپ، درصد آغشتگی قارچ‌های میکوریز با ریشه گیاهان آفتابگردان کاهش یافت (شکل ۱).

جدول ۱ - تجزیه واریانس خصوصیات مورد بررسی در آفتابگردان پس از القای سمیت با علف‌کش سوپرگالانت

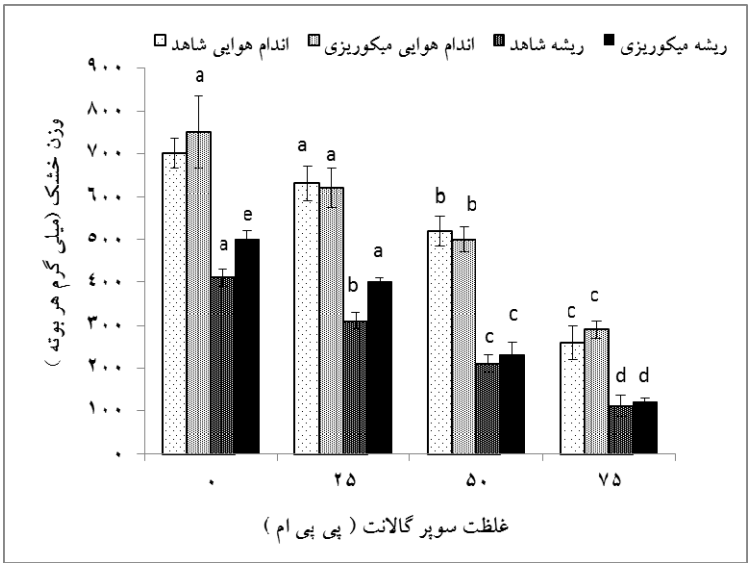
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		مقدار اکسین اندام هوایی	مقدار اکسین ریشه	محتوای پروتئین اندام هوایی	محتوای پروتئین ریشه	محتوای پرولین اندام هوایی	محتوای پرولین ریشه	مقدار جیبرلین اندام هوایی	درصد همزیستی میکوریزی	محتوای قندهای اندام هوایی	محتوای قندهای ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه
	Df	mg/g FW	mg/g FW	mg/g DW	mg/g DW	mg/g DW	mg/g DW	mg/g DW	%	mg/g DW	mg/g DW	g	g
بین گروه‌ها	۳	۰/۰۰۲ **	۰/۰۰۰**	۲۹/۴۲ **	۵/۱۳۹ **	۰/۰۷۲**	۰/۰۰۷ **	۱/۲۸٤ **	**۱۵٤۳	۷۲۸ **	۲۰۷ **	۰/۱۱۲ **	۰/۰۸۸ **
درون گروه‌ها	۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۰۳	۰/۳۲٦	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۹۲	۱۰/۰۳۱	۱۳/۱٦	۲۰/۳۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰

** به معنی اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ می‌باشد



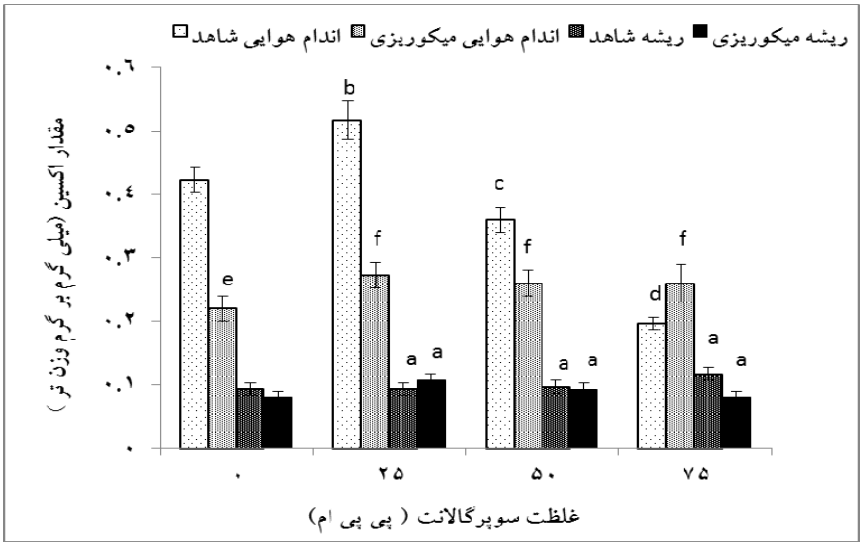
شکل۱- اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش هالوکسی‌فوپ **بر درصد همزیستی میکوریزی ریشه گیاهان آفتابگردان با*Glomus intraradices*. مقادیر میانگین سه تکرار و انحراف معیار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن در سطح $p< 0.05$ است.**

تیمار علف‌کش باعث کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی هم در گیاهان شاهد و هم در گیاهان تحت تیمار شد (شکل ۲). مطالعات نشان داده‌اند که وزن‌تر و خشک ریشه‌ها و اندام هوایی، به دلیل مسمومیت با علف‌کش‌ها کاهش می‌یابد (بالسترینی و همکاران، ۲۰۱۵). اثرات مثبت میکوریز بر رشد و عملکرد زیست توده با مطالعات قبلی نشان داده شده است. همزیستی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی (به‌ویژه فسفر)، تنظیم توازن هورمونی، راه‌اندازی ژن‌های مقاومت در برابر انواع سمیت‌ها (شامل فلزات سنگین، علف‌کش‌ها و سایر مواد مصنوعی) و پاتوژن‌ها، ممانعت از ورود سموم خاکزی و مکانیسم‌های ثانویه ناشی از مقاوم‌سازی گیاهان را در برابر آسیب‌های محیطی محافظت می‌کند (حسن و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل۲- اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش هالوکسی‌فوپ **بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاهان آفتابگردان (شاهد و تحت تیمار با میکوریز). مقادیر میانگین سه تکرار و انحراف معیار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن در سطح $p< 0.05$ است.**

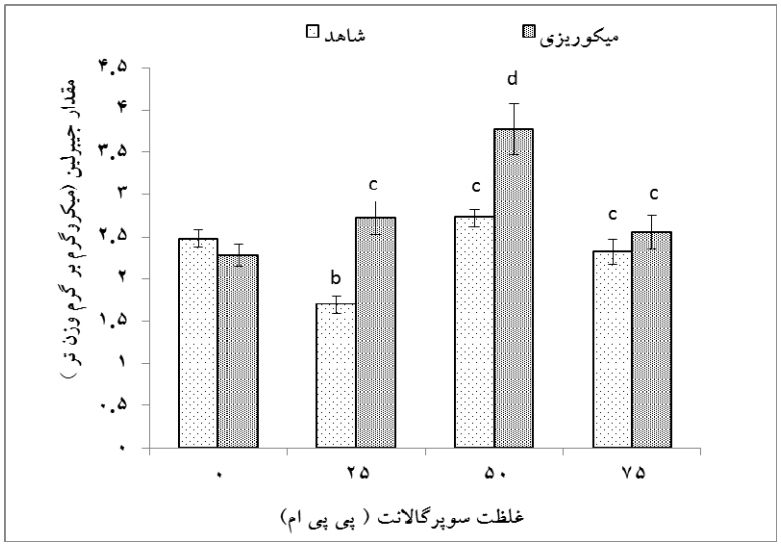
تأثیر کاهش زیست‌توده ریشه و رشد آن در اثر مسمومیت با علف‌کش‌های مختلف در گیاهان دیگر نیز گزارش شده است (زو و همکاران، ۲۰۰۷؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱۲). در بررسی تأثیر تلقیح میکوریزی بر رشد ذرت در حضور غلظت‌های مختلف علف‌کش متری‌بوزین، مشاهده شد با افزایش دُز علف‌کش، وزن خشک کاهش‌یافته اما این کاهش در تیمارهای میکوریزی نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کمتر است (مکاریان و همکاران، ۱۳۸۹). رشد گیاه به تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها وابسته است که منجر به افزایش برگشت‌ناپذیر ابعاد سلول‌ها می‌شود. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشانگر کاهش طول ریشه و اندام هوایی هم در گیاهان شاهد و هم در گیاهان تحت تیمار در اثر سمیت با علف‌کش هالوکسی‌فوپ بود. جلوگیری از رشد ریشه به‌وسیله علف‌کش دیکلوفوپ متیل (از خانواده آریا اکسی فنوکسی پروپیونیک اسید) در مورد ذرت نیز گزارش‌شده است (هوپ، ۱۹۸۰).



شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش هالوکسی‌فوپ **بر محتوای هورمون اکسین اندام هوایی و ریشه گیاهان آفتابگردان (شاهد و تحت تیمار با میکوریز). مقادیر میانگین سه تکرار و انحراف معیار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن در سطح $p< 0.05$ است.**

در مطالعه حاضر، تقریباً در تمامی غلظت‌های علف‌کش، مقدار وزن خشک گیاهان تحت تیمار با میکوریز بالاتر از گیاهان شاهد بود که این نشان‌دهنده اثر تعادل‌بخشی این تیمار در کاهش اثرات مخرب علف‌کش هالوکسی‌فوپ می‌باشد. مطالعات زیادی نیز افزایش جذب فسفر در اثر همزیستی میکوریزی را گزارش کرده و تأثیرات مثبت آن را هم به جذب فعال فسفر از خاک و هم به فعالیت ریسه‌های خارج ریشه‌ای قارچ و انتقال آن به گیاه نسبت داده‌اند. البته سهم جذب مستقیم از خاک و جذب از طریق میکوریز اختلافات قابل توجهی را در گیاهان مختلف نشان می‌دهد؛ با وجود این، در تحمل تنش‌های گوناگون بهبود تغذیه‌ای گیاهان همزیست غیرقابل انکار است. معلوم شده که فعال‌سازی مکانیسم‌های مقاومتی نیاز به تامین بهینه عناصر و به‌ویژه فسفر دارد (ونگزوان و همکاران، ۲۰۱۸؛ ووگل میکوس و همکاران، ۲۰۰۵).

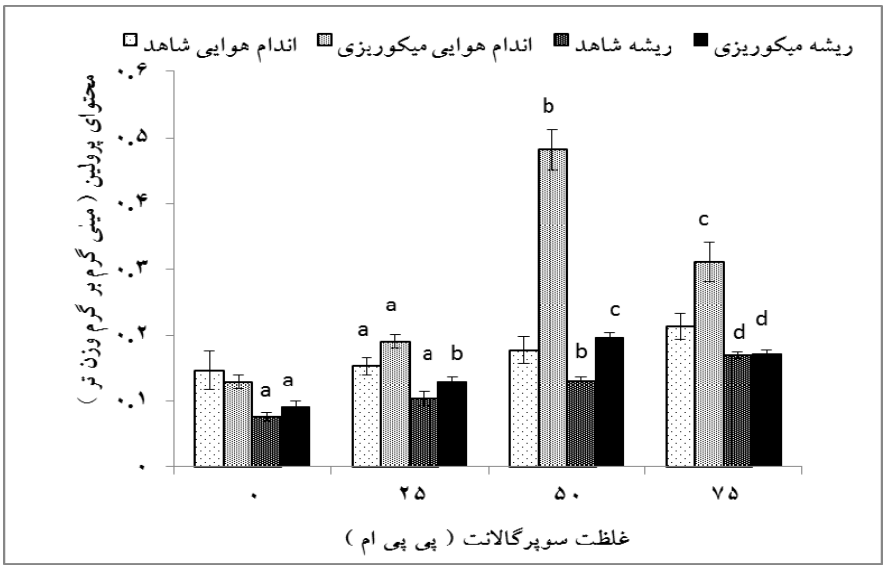
با آنالیز آماری داده‌های مربوط به فعالیت اکسین مشاهده شد که محتوای اکسین در بخش هوایی گروه گیاهان شاهد کاهش یافت؛ اما در گیاهان تحت تیمار با میکوریز با افزایش غلظت هالوکسی‌فوپ، مقدار اکسین افزایش یافت. محتوای اکسین ریشه نیز در هر دو گروه گیاهان با افزایش غلظت علف-کش افزایش معنی‌داری نشان داد (شکل ۳). اکسین به‌عنوان یک عامل مؤثر در پاسخ‌های دفاعی از طریق تنظیم ژن‌های متعدد و میانجیگری متقابل بین پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی شناخته‌شده است. IAA نقش مهمی در تنظیم رشد گیاه مثلاً در کنترل نمو بافت‌های آوندی، طویل شدن سلول و چیرگی انتهایی دارد (وگ، ۲۰۱۵). برخی مطالعات فعالیت آنتی‌اکسین علف‌کش‌های گرامینه‌ای را مشخص ساخته‌اند. به‌عنوان‌مثال، سم دیکلوفوپ متیل به‌تنهایی فعالیت اکسینی ندارد اما می‌تواند علت بسیاری از فرآیندهای وابسته به اکسین مانند تحریک تولید اتیلن، پمپاژ پروتون و تغییر پتانسیل غشای سلولی باشد (دپرادو و همکاران، ۱۹۹۹). به علاوه، برنات و همکاران (۲۰۱۸) با تیمار 2,4-D و القای تنش اکسیداتیو توسط آن، پی برده‌اند که این علف‌کش باعث افزایش تراوایی و کاهش سیالیت غشای سلولی می‌شود. این تیمار افزایش اسید لینولئیک را به دنبال داشته و نسبت فسفاتیدیل اتانول آمین به فسفاتیدیل کولین را بالا برده است.



شکل ٤- اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش هالوکسی‌فوپ **بر محتوای هورمون جیبرلیک اسید اندام هوایی گیاهان آفتابگردان (شاهد و تحت تیمار با میکوریز). مقادیر میانگین سه تکرار و انحراف معیار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن در سطح $p< 0.05$ است.**

در این تحقیق، مقدار هورمون جیبرلین (GA_3) درگیاهان تحت تیمار با میکوریز همانند گیاهان گروه شاهد، افزایش یافت (شکل ٤). طی برخی آزمایش‌ها، نقش جیبرلین‌ها در پاسخ به تنش‌های اسمزی در جوانه‌های گیاه *Arabidopsis thaliana* بررسی‌شده است. جیبرلین‌ها در تعامل با سایر هورمون‌های گیاهی در فرایندهای متعدد نمو و پاسخ‌های تحریکی شناخته‌شده‌اند. جیبرلین به طور کلی در رشد و توسعه سلول، جوانه‌زنی بذر، گسترش و طول عمر برگ و گل‌دهی دخالت

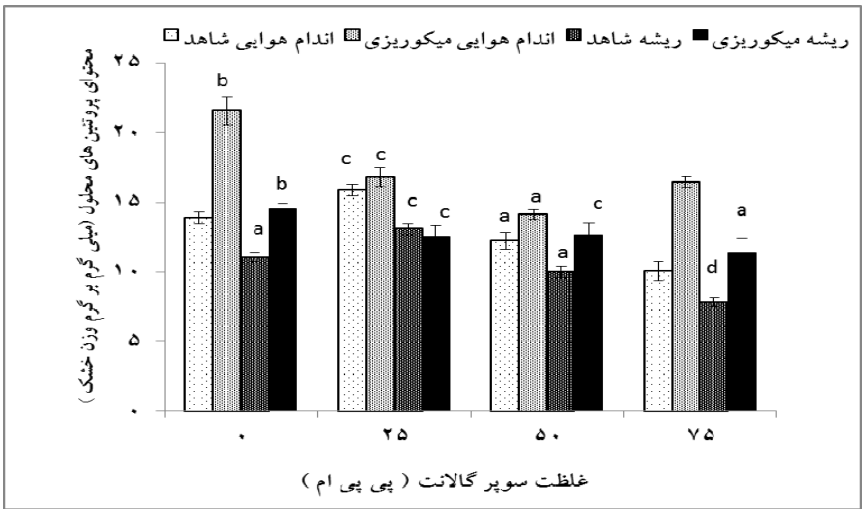
می‌کند (ماگوم و همکاران، ۲۰۰۸). وقتی گیاه در معرض تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار می‌گیرد، مقدار جیبرلیک اسید به‌سرعت افزایش می‌یابد. دیده شده که تیمار GA_3 در گوجه‌فرنگی، مقاومت روزنه‌ای و آب مورداستفاده گیاه را در شرایط شوری، کاهش می‌دهد (مجیو و همکاران، ۲۰۱۰). در تحقیقی با ترکیب دو تنش شوری و علف‌کش ۲ و ٤ دی کلروفنوکسی استیک اسید (2,4-D) روی گیاه ذرت، مقدار هورمون‌های گیاهی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موردبررسی قرار گرفته است (اسلام و همکاران، ۲۰۱٦). نتایج آن‌ها نشان داده که تنش ترکیبی علف‌کش و شوری در رقم ZJ 88 ذرت باعث تجمع IAA و ABA و افزایش رونویسی اتیلن می‌شود. این ممکن است یکی از عوامل مؤثر در تحمل به شوری کم در رقم حساس باشد. این یافته‌ها نشان داده که استفاده از علف‌کش تحت تنش شوری، احتمالاً با کاهش آسیب اکسیداتیو، تغییر جذب مواد معدنی، ارتقاء دفاع آنتی‌اکسیدانی و تنظیم دینامیکی ژن‌های کلیدی درگیر در هومئوستازی یون‌های Na^+ و K^+ در گیاهان، باعث تحمل به شوری می‌شود.



شکل ۵- اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش هالوکسی‌فوپ بر محتوای پرولین اندام هوایی و ریشه گیاهان آفتابگردان (شاهد و تحت تیمار با میکوریز). مقادیر میانگین سه تکرار و انحراف معیار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن در سطح $p< 0.05$ است.

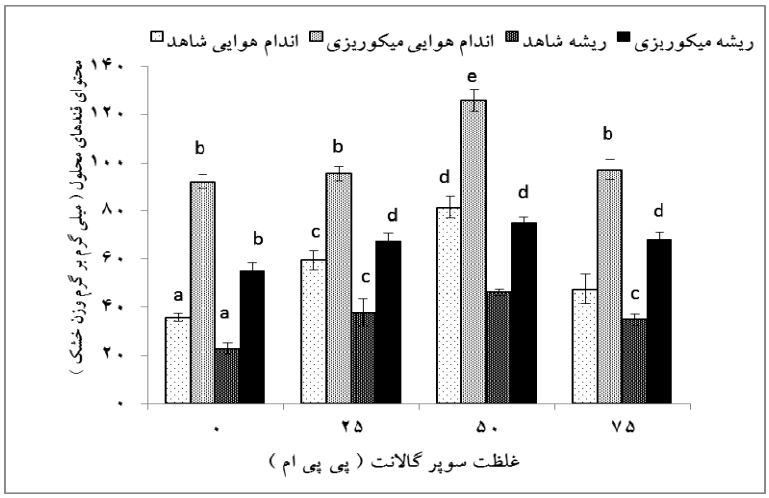
با آنالیز آماری داده‌های مربوط به محتوای پرولین اندام هوایی و ریشه‌ها مشاهده شد که هم در گیاهان شاهد و هم در گیاهان تحت تیمار با میکوریز با افزایش غلظت علف‌کش، محتوای پرولین افزایش یافت (شکل ۵). وقتی گیاهان در معرض انواع تنش‌ها قرار می‌گیرند، تجزیه پروتئین‌ها و درنتیجه افزایش آمیدها و آمینواسیدها به‌ویژه پرولین تسریع می‌شود (هیلدبرانت و همکاران، ۲۰۱۵). افزایش تجمع پرولین در زمان تنش می‌تواند به دلیل تحریک سنتز آن از اسید گلوتامیک، کاهش بارگیری آن از طریق آوند آبکشی، جلوگیری از اکسیداسیون آن در طول تنش و اختلال در فرآیند سنتز پروتئین‌ها در طی تنش‌های رطوبتی باشد.

در بررسی اثر درجات مختلف تنش خشکی بر روی گیاه آویشن (*Thymus vulgaris*) نشان داده شده که با افزایش تنش خشکی میزان پرولین افزایش می‌یابد (بابایی و همکاران، ۱۳۸۹). پرولین در شرایط تنش علاوه بر حفظ تعادل اسمزی گیاه به‌عنوان پایدارکننده پروتئین‌ها، کلات‌کننده فلزی، مهارکننده پراکسیداسیون لیپیدی و حذف‌کننده رادیکال‌های آزاد شناخته می‌شود (میشرا و دوبی، ۲۰۰٦). در تحقیقی گزارش شد که میزان پرولین ریشه در گیاه سویای آمیخته شده با قارچ میکوریز در مقایسه با گیاهان بدون قارچ تحت شرایط تنش خشکی از سطح بالایی برخوردار است (پورسل و همکاران، ۲۰۰۳).



شکل ٦ اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش هالوکسی‌فوپ بر محتوای پروتئین‌های محلول اندام هوایی و ریشه گیاهان آفتابگردان (شاهد و تحت تیمار با میکوریز). مقادیر میانگین سه تکرار و انحراف معیار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن در سطح $p< 0.05$ است.

مقدار پروتئین‌های محلول اندام هوایی و ریشه در اثر اعمال سمیت علف‌کش هالوکسی‌فوپ در گیاهان شاهد و تحت تیمار با میکوریز با افزایش غلظت علف‌کش، کاهش پیدا کرد (شکل ٦). افزایش محتوای پروتئین‌های محلول، می‌تواند به دلیل افزایش سنتز بعضی آنزیم‌ها ازجمله آنزیم‌های پاداکساینده و همچنین سنتز پروتئین‌های درگیر در سیستم دفاعی سلول باشد (چوی و همکاران، ۲۰۰۹). از سوی دیگر گزارش شده که کاهش پروتئین کل ریشه در اثر غلظت‌های بالای علف‌کش متری‌بوزین به دلیل کاهش پروتئین‌سازی از طریق افزایش فعالیت آنزیم پروتئاز است (ال ساهت و همکاران، ۱۹۹٤). همچنین، کاهش پروتئین مشاهده‌شده در *Brassica juncea* تحت تنش، احتمالاً به علت افزایش فرآیند تخریب ناشی از افزایش فعالیت پروتئاز بوده است. کاهش هضم و اختلال در متابولیسم ترکیبات آمونیومی جذب‌شده توسط گیاه و متعاقب آن کاهش سنتز اسیدهای آمینه و پروتئین از عوامل دیگر کاهش محتوای پروتئین کل در ریشه گیاه متأثر از سمیت علف‌کش عنوان شده است (جان و همکاران، ۲۰۰۹).



شکل ۷- اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش هالوکسی‌فوپ بر محتوای قندهای محلول اندام هوایی و ریشه گیاهان آفتابگردان (شاهد و تحت تیمار با میکوریز). مقادیر میانگین سه تکرار و انحراف معیار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن در سطح $p< 0.05$ است.

آنالیز آماری مربوط به داده‌ها نشان داد که با اعمال علف‌کش هالوکسی‌فوپ در گیاهان شاهد و گیاهان تحت تیمار میکوریز با افزایش غلظت علف‌کش، مقدار قندهای محلول افزایش یافت (شکل ۷). قندهای محلول از اسمولیت‌های سازگار می‌باشند که در شرایط تنش تجمع یافته و به‌عنوان عامل حفاظتی در گیاهان عمل می‌کنند. قندها سبب تنظیم اسمزی، پایداری غشاها و پروتئین‌های موجود در سلول می‌شوند. این عمل می‌تواند از طریق تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های کربوکسیل قندها و زنجیره‌های قطبی پروتئین‌ها و درنهایت پایدارسازی پروتئین‌ها صورت گیرد. برای مثال تجمع ساکارز موجب حفظ فسفولیپیدهای غشا شده و از تغییرات ساختاری در پروتئین‌های محلول سلول نیز جلوگیری می‌کند (الهویردیان حمیدی، ۱۳۹٦). میزان قندهای محلول درگیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان شاهد می‌باشد که دلیل تأثیر این قارچ‌ها در افزایش محتوای قندهای محلول، افزایش مقدار هورمون‌های سیتوکینین و جیبرلین در گیاهان میکوریزی می‌باشد (سلواراج و چلاپان، ۲۰۰٦). افزایش مقدار قندهای احیاکننده تحت شرایط تنش نیز گزارش‌شده است (چترجی و چترجی، ۲۰۰۰؛ زو و همکاران، ۲۰۰۷).

نتیجه گیری

گیاهان برای رشد مطلوب نیاز به جذب موادغذائی از خاک در فرآیند فتوستز دارند. جذب بخش عمده‌ای از مواد غذائی موجود در خاک، هنگام همزیستی ریشه گیاه با قارچ‌های میکوریز افزایش می‌یابد. با افزایش جذب املاح معدنی، نمک‌های مفید و عناصر موجود در آب و خاک، می‌توان کود کمتری مصرف نمود. ضمن اینکه با افزایش جذب مواد مورد نیاز توسط گیاه، میزان رشد و محتوای ترکیبات گیاهی افزایش می‌یابد.

در پژوهش حاضر، اثر همزیستی *Glomus intraradices*تحت سمیت علف‌کش هالوکسی‌فوپ بر گیاه آفتابگردان مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده در بسیاری موارد با نتایج سایر محققین در مورد اثرات فیزیولوژیکی هالوکسی‌فوپ و میکوریز در رشد و نمو گیاهان مطابقت دارد. افزایش تجمع پرولین و قندهای محلول در این پژوهش از بارزترین پاسخ‌های گیاه آفتابگردان در مقابله با سمیت علف‌کش هالوکسی‌فوپ بود. افزایش مقدار اکسین و جیبرلین، نشان دهنده اثرات حفاظتی میکوریز در این مورد می‌باشد. کاهش محتوای پروتئین و فعالیت هورمون اکسین در گیاهان شاهد و کاهش ویژگی‌های رشدی، نشان‌دهنده اثرات بازدارنده این علف‌کش باریک برگ بر فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه آفتابگردان است.

در پایان با توجه به اثرات مخرب علف‌کش برگ‌باریک هالوکسی‌فوپ بر روی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فعالیت‌های بیوشیمیایی و هورمونی گیاه آفتابگردان، که در این مطالعه مشاهده گردید، پیشنهاد می‌شود در مزارع کشت آفتابگردان از تیمارهای کمکی مانند میکوریز برای جبران اثرات مخرب این علف‌کش‌ها استفاده شود.

منابع

الهویردیان حمیدی، ا. ۱۳۹٦. اثرات تعاملی کلونیزاسیون میکوریزای آربوسکولار و علف‌کش سوپرگالانت در رشد و فیزیولوژی گیاه کانولا (*Brassica napus* L.). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ایران.

بابایی، ک.، م. امینی دهقی، س. ع. م. مدرس ثانوی و ر. جباری . ۱۳۸۹. اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، میزان پرولین و درصد تیمول در آویشن (*Thymus vulgaris* L) تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران . دوره ۲٦ ، شماره ۲(پیاپی)٤٨: از صفحه ۲۵۱–۲۳۹.

خواجه پور، م. ۱۳۹۱. گیاهان صنعتی. جهاد دانشگاهی (دانشگاه صنعتی اصفهان) .۵۸۲ صفحه.

زند ، ا .، م. باغستانی، ف. بناکاشانی و ف. دستاران ممقانی. ۱۳۸۹. بررسی کارایی تعدادی از علف‌کش‌ها در کنترل بیوتیپ‌های یولاف وحشی(*Avena ludoviciana Durieu*) مقاوم و حساس به علف‌کش‌های بازدارنده استیل کوآنزیم–آ–کربوکسیلاز. مجله حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی). دوره ۲٤. شماره ۳ : ۲۵۱–۲٤۲.

مکاریان، ح.، ح. ر. اصغری و ح. مطهری نژاد. ۱۳۸۹. تاثیر قارچ‌های میکوریزا بر تولید ماده خشک و محتوای کلروفیل برگ ذرت (*Zea mays* L.)در حضور علف‌کش متری بیوزین . یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشگاه شهید بهشتی تهران. صفحه ٤٨٦.

میری، ح. و ی. ع. رحیمی. ۱۳۸۸. بررسی تاثیر برخی از علف‌کش‌ها در کنترل علف‌های هرز (*Brassica napus*) در استان بوشهر. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان. دوره۱ ، شماره ۱ :۶۳-۴۹.

Abouziena, H. F. and W. M. Haggag. 2016. Weed Control in Clean Agriculture: A Review. Planta Daninha. 34(2): 377-392.

Agostinetto, D., L. T., Perboni, A. C., Langaro, J. Gomes, D.S. Fraga and J. J. Franco. 2016. Changes in photosynthesis and oxidative stress in wheat plants submitted to herbicides application. Planta Daninha. 34(1): 1-9.

Ahmad Khan, I., S. H. Ahmad, N. M. Sarvat, N. Moazzam, M. Athar and S. H. Shabir. 2007. Growth response of Buffel Grass (*Cenchrus ciliaris*) to phosphorus and mycorrhizal inoculation. Agric. Conspec. Sci. 72: 129-132.

Balestrini, R., E. Lumini, R. Borriello and V. Bianciotto. 2015. Plant-soil biota interactions, in Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry, ed Paul E. A., editor. London. Academic Press. Elsevier. 311-338.

Bates, L. S., R. P. Waldren and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil. 39: 205-207.

Bent, E., S. Tuzun, C. P. Chanway, and S. Enebak. 2001. Alterations in plant growth and root hormone levels of lodge pole pines inoculated with rhizobacteria. Can. J. Microbiol. 47: 793-800.

Bernat, P., J. Nykiel-Szymanska, P. Stolarek, M. Slaba and R. Szewczyk. 2018. 2,4-dichlorophenoxyacetic acid-induced oxidative stress: Metabolome and membrane modifications in *Umbelopsis isabellina*, a herbicide degrader. PLoS One. 13(6):e0199677

Berrios, J., A. Illanes and G. Aroca. 2004. Spectrophotometric method for determining gibberellic acid in fermentation broths. Biotech. Let. 26: 67-70.

Chatterjee, J. and C. Chatterjee. 2000. Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower. Environ Pollut. 109(1): 69-74.

Cobb, A. H. and J. P. H. Reade. 2010. Herbicides and Plant Physiology. Wiley-Blackwell Pub. London, U.K.

Choi, N. H., G. J. Choi, B. S. Min, K. S. Jang, Y. H. Choi, M. S. Kang, M. S. Park, J. E. Choi, B. K. Bae and J. C. Kim. 2009. Effects of neolignansfrom the stem bark of *Magnolia obovata* on plant pathogenic fungi. J. App. Microb. 106: 2057-2063.

De Prado, J., R. A. De Prado and R. H. Shimabukuro. 1999. The effect of diclofop on membrane potential, ethylene induction, and herbicide phytotoxicity in resistant and susceptible biotypes of grasses. Pest. Biochem. Physiol. 63(1): 1-14.

DuBois, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem. 28 (3):350–356.

El-Saht, H. M., M. N. A. Hasaneen and F. M. Bassuony. 1994. Effect of metribuzin herbicide on nitrogen, pigments, protease and nitrate reductase activity of normal and NaCl-stressed castor bean and maize plants. Biol. Plant. 36(2): 267-275.

Fan, Q. J. and J. H. Liu. 2011. Colonization with arbuscular mycorrhizal fungus affects growth, drought tolerance and expression of stress-responsive genes in *Poncirus trifoliata*. Acta Physiol. Plant. 33: 1533-1542.

Hassan, S. E., M. Hijri and M. St.Arnaud. 2013. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on trace metal uptake by sunflower plants grown on cadmium contaminated soil. N. Biotechnol. 30(6): 780-787.

Hildebrandt, T. M., A. N. Nesi, W. L. Araújo and H. P. Braun. 2015. Amino acid catabolism in plants. Mol. Plant. 8(11): 1563-1579.

Changes in membrane permeability, carbohydrate content, lipid content, and lipid .Hoppe, H. H. 1980 composition in root tips from *Zea mays* after treatment with diclofop-methyl. Z. Pflanzenphysiol. 100: 414-426.

Iniobong, O. E., M. G. Solomon and O. Osonubi. 2008. Effects of arbuscular mycorrhizal fungus inoculation and phosphorus fertilization on the growth of *Gliricidia sepiom* in sterile and non-sterile soil. Agron. J. 2: 23-27

Islam, F., T. Yasmeen, S. Ali, B. Ali, M. A. Farooq and R. A. Gill. 2016. Priming-induced antioxidative responses in two wheat cultivars under saline stress. Acta Physiol. Plant. 37: 1-12.

Janicka, U., H. Mioduszewska, E. Kielak, J. Klocek and M. Horbowicz. 2008. The effect of haloxyfop-ethoxyethyl on antioxidant enzyme activities and growth of wheat leaves (*Triticum vulgare* L.). Polish Journal of Environmental Studies 17: 485-490.

John, R., P. Ahmad, K. Gadgil and S. Sharma. 2009. Heavy metal toxicity: Effect on plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by (*Brassica juncea* L.) Intl. J. Plant Prod. 3(3):65-76.

Khan, A. G. 2005. Mycorrhizas and phytoremediation. In: Willey, N. (ed.), Methods in Biotechnology-Phytoremediation: Methods and Reviews. Humana press Inc. Totowa, N.J., USA.

Lowry, O. H., N. S. Rosebrough, A. L. Farr and R. J. Randall. 1951. Protein measurement with the Folin-phenol reagent. J. Biol. Chem. 193: 265-75.

Maggio, A., G. Barbieri, G. Raimondi and S. D. Pascale. 2010. Contrasting effects of GA_3 treatments on tomato plants exposed to increasing salinity. Plant Growth Regul. 29: 63-72.

Magome, H., Sh. Yamaguchi, A. Hanada, Y. Kamiya and K. Oda. 2008. The DDF1 transcriptional activator upregulates expression on a gibberellin-deactivating gene, GA2ox7, under high-salinity stress in *Arabidopsi*s. Plant J. 56:613–626.

Mishra, Sh. and R. S. Dubey. 2006. Heavy metal uptake and detoxification mechanisms in plants. Intl. J. Agric. Res. 1(2): 122-141.

Naylor, R. E. L. 2002. Weed Management Handbook. British Crop Protection Council, Blackwell Science, Oxford, UK.

Phillips, J. M. and D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Br. Mycol. Soc. 55: 157-161.

Porcel, R., J. M. Barea and J. M. Ruiz-Lozano. 2003. Antioxidant activities in mycorrhizal soybean plants under drought stress and their possible relationship to the process of nodule senescence. New Phytol. 157: 135-143.

Seiler, G. J. 2007. Wild annual (*Helianthus anomalus*) and (*H. deserticola*) for improving oil content and quality in sunflower. Ind. Crop. Prod. 25: 95-100.

Selvaraj, T. and P. Chellappan. 2006. Arbuscular mycorrizae: a diverse personality. J. Cen. Eur. Agr. 7: 349-358.

Vogel-Mikus, K., D. Drobne and M. Regvar. 2005. Zn, Cd and Pb accumulation and arbuscular mycorrhizal colonization of pennycress (*Thlaspi praecox* Wulf. Brassicaceae) from the vicinity of a lead mine and smelter Slovenia. Environ. Pollut. 133: 233-242.

Wagg, C., C. Barendregt, J. Jansa and M.G.A. van der Heijden. 2015. Complementarity in both plant and mycorrhizal fungal communities are not necessarily increased by diversity in the other. J. Ecol. 103: 1233-1244.

Wenxuan, M., X. Xiangrong, G. Feng and T. Changyan. 2018. Simultaneously maximizing root/mycorrhizal growth and phosphorus uptake by cotton plants by optimizing water and phosphorus management. BMC Plant Biol. 18(334): 1-10.

Wu, Q. S., Y. N. Zou, X. H. He. 2011. Differences of hyphal and soil phosphatase activities in drought-stressed mycorrhizal trifoliate orange (*Poncirus trifoliata*) seedlings. Sci. Horti. 129: 294-298.

Xu, G. H., V. Chague, C. Melamed-Bessudo, Y. Kapulnik, A. Jain, K. G. Raghothama, A. A. Levy and A. Silber. 2007. Functional characterization of LePT4: a phosphate transporter in tomato with mycorrhiza-enhanced expression. J. Exp. Bot. 58: 2491-2501.

Yang, S. Y., M. Grønlund, I. Jakobsen, M. Suter Grotemeyer, D. Rentsch, A. Miyao, H. Hirochika, C. S. Kumar, V. Sundaresan, N. Salamin, S. Catausan, N. Mattes, S. Heuer and U. Paszkowski. 2012. Nonredundant regulation of rice arbuscular mycorrhizal symbiosis by two members of the phosphate transporter 1 gene family. Plant Cell 24: 4236-4251.

The impact of mycorrhizal inoculation on amelioration of the effects of haloxyfop-R methyl ester herbicide on sunflower

Z. Dehgkan[1], J. Khara[2]

Received: 2019-6-27 Accepted: 2019-11-12

Abstract

To study the effects of inoculation by arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*) in ameliorating the effects of haloxyfop-R methyl ester herbicide (commercial name Gallant super) on biochemical activity and hormonal responses of sunflower (*Helianthus annuus* L., cv. Lakomka) a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with 4 levels of herbicide concentration (0, 25, 50 and 75 ppm) in 3 replications. At 4 to 6 leaved stages, different concentrations of herbicide were sprayed on the aerial part of the plants. The effects of herbicide on colonization percentage, dry weight and other parameters of control and mycorrhizal treated plants were quite evident. Increased gibberellin content (60%) in inoculated plants, reduced amount of auxin in shoot of the control plants (48%) were observed by increasing herbicide concentration compared to the control. Furthermore, increased proline (1.5 and 2.7 fold), increased soluble sugars content (36.5% and 23.5%), reduced total proteins (29.2% and 40.1%) and reduced dry weight (61.3% and 76.0% in shoot and root respectively) were significant. More damage occurred by increased herbicide stress conditions and plants responded by raising the level of gibberrelins, proline and soluble sugars to cope the damages induced by haloxyfop-R methyl ester. Such adaptive responses were more pronounced and effective in inoculated plants by arbuscular mycorrhizal fungus *G.intraradices*. So, it seems that inoculation sunflower seedlings by *G. intraradices* can enhance their tolerance against deleterious effects of that herbicide.

Keywords: mycorrhiza, herbicide, haloxyfop R-methyl ester, sunflower, gallant super

1- PhD Student of Plant Physiology, Uromia University, Uromia, Iran
2- Department of Biology, College of Science, Uromia University, Uromia, Iran