



دانشگاه گیلان، دانشکده کشاورزی

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

جلد بیست و چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۶

<http://jopp.gau.ac.ir>

ارزیابی همزیستی سه گونه قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های بیوشیمیایی چمن‌های اگروپیرون (*Agropyron elongatum*) و پوآی چند ساله (*Poa pratensis*) تحت تنش خشکی

حامد اشرف^۱، هدایت زکی‌زاده^{۲*}، سیدمحمد رضا احتشامی^۳ و محمدحسن بیگلوی^۴

^۱دانش‌آموخته دکتری علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، آستادیار گروه علوم باغبانی،

^۲دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، ^۳دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان،

^۴دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: چمن‌ها مهم‌ترین گیاهان پوششی با قدرت پا خوری بالا هستند که به ندرت می‌توان جایگزینی برای آن‌ها در فضای سبز پیدا کرد. محدودیت منابع آب آبیاری یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت چمن‌ها بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک است. یکی از راه‌های کاهش اثرات سوء تنش خشکی، همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه گیاه است. این پژوهش به منظور ارزیابی همزیستی سه گونه قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های بیوشیمیایی چمن‌های اگروپیرون و پوآی چندساله تحت تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها: به منظور ارزیابی اثر همزیستی سه گونه قارچ میکوریزا (*Glomus fasciculatum*, *Glomus clarum*، *Glomus mosseae* و بدون کاربرد قارچ) و تنش خشکی (با سه سطح رطوبتی ۸۰، ۵۵ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) بر ویژگی‌های بیوشیمیایی چمن‌های پوآی چندساله (*Poa pratensis*) و اگروپیرون (*Agropyron elongatum*)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی طی سال‌های ۹۴-۱۳۹۳ در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی علوم کشاورزی دانشگاه گیلان انجام شد. چمن‌ها ۶۰ روز پس از کاشت تحت تنش خشکی قرار گرفتند. صفات مورد مطالعه شامل فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز، کاتالاز و میزان مالون‌دی‌آلدئید، پرولین و پروتئین کل برگ و درصد کلنی‌سازی ریشه بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بیشترین درصد کلنی‌سازی ریشه را چمن اگروپیرون با گونه‌ی گلوموس موسه‌آ و کمترین درصد را پوآی چندساله با گونه‌ی گلوموس کلاروم داشتند. تنش خشکی درصد کلنی‌سازی گونه‌ی گلوموس موسه‌آ را با هر دو گونه‌ی چمن کاهش ولی درصد کلنی‌سازی گونه‌های گلوموس کلاروم و گلوموس فسیکولاتوم را با ریشه‌ی چمن اگروپیرون و پوآی چند ساله افزایش داد. قارچ میکوریزا بویژه در شرایط تنش خشکی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان میزان پرولین و پروتئین را افزایش ولی میزان مالون‌دی‌آلدئید را کاهش داد. بین گونه‌های قارچ و گونه‌های چمن به لحاظ تاثیر بر صفات ذکر شده اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید، به طوری که در چمن اگروپیرون، گونه گلوموس موسه‌آ و در چمن پوآی چندساله، گونه گلوموس کلاروم سبب بیشترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز گردیدند. در بالاترین سطح تنش خشکی چمن‌های همزیست با گلوموس موسه‌آ بیشترین فعالیت پراکسیداز را داشتند ولی در تنش ملایم، بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در برگ چمن‌های

*مسئول مکاتبه: zakizadeh@guilan.ac.ir

همزیست با قارچ گلوموس فسیکولاتوم مشاهده شد. در شرایط تنش ملایم چمن‌های آگروپیرون همزیست با قارچ گلوموس موسه‌آ بیشترین فعالیت کاتالاز را دارا بودند درحالی‌که در بالاترین سطح تنش بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ چمن‌های همزیست با قارچ گلوموس فسیکولاتوم مشاهده گردید ولی در چمن پوآی چندساله در هر دو شرایط تنش شدید و ملایم بیشترین فعالیت کاتالاز مربوط به چمن‌هایی بود که با قارچ میکوریزا تلقیح نشده بودند. گونه‌ی گلوموس موسه‌آ سبب گردید که میزان پرولین برگ چمن در بالاترین سطح تنش خشکی (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) بیش از ۱۳۰ درصد نسبت به شرایط بدون قارچ افزایش ولی میزان مالون‌دی‌آلدهید بیش از ۳۲ درصد کاهش یابد و در تنش متوسط این نسبت به ترتیب ۷۰ درصد افزایش و ۲۵ درصد کاهش بود.

نتیجه‌گیری: تاثیر گونه‌های قارچ میکوریزا بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در برگ چمن‌های مورد مطالعه تحت تنش خشکی متفاوت بود ولی در مجموع میکوریزا توانست با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و میزان پرولین، سبب کاهش میزان پراکسیداسیون لیپید غشاء سلول‌های برگ چمن‌های مورد مطالعه گردد که از این نظر گونه‌ی گلوموس موسه‌آ موثرتر بود.

واژه‌های کلیدی: آسکوربات پراکسیداز، پرولین، پروتئین، کاتالاز، مالون‌دی‌آلدهید

مقدمه

لیپیدها، تغییر ساختمان پروتئین‌ها، اکسید شدن گروه‌های سولفیدریل، غیرفعال شدن آنزیم‌ها، بی‌رنگ شدن و یا از بین رفتن رنگدانه‌ها و همچنین حمله به DNA شده است (۳۳). پراکسیداسیون لیپیدها فرآیندی است که در آن رادیکال‌های آزاد اکسیژن، پیوند دوگانه چربی‌های غیر اشباع را تحت تاثیر قرار داده و عامل شکسته شدن زنجیره، تراوایی غشاء و نشت محتوای سلولی است (۳۲). محصول نهایی و شاخص پراکسیداسیون در فسفو لیپیدها مالون‌دی‌آلدهید است (۴۳). در چمن پوآ در شرایط تنش خشکی میزان نشت الکترولیت و مالون‌دی‌آلدهید افزایش یافته و ارتباط مثبتی بین این دو شاخص وجود دارد (۲۵). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو دارای ساز و کار دفاعی کارآمدی هستند که می‌تواند رادیکال‌های آزاد را از بین برده و یا خنثی کنند (۹). این ساز و کار دفاعی شامل سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز است و سیستم غیر آنزیمی شامل آسکوربات، توکوفرول و کاروتنوئیدها است (۹). در گیاهان یک ارتباط قوی بین تحمل به تنش اکسیداتیو و افزایش غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت وجود دارد (۴۲).

به دلیل خشکسالی‌های چند دهه‌ی اخیر و همچنین استفاده بی‌رویه از منابع آب، امروزه دسترسی به آب از مهمترین دغدغه‌های جهانی است (۳۶). چمن‌ها مهمترین گیاهان پوششی با قدرت پا خوری بالا هستند که در زمین‌های ورزشی و فضای سبز کاربرد وسیعی دارند و به ندرت می‌توان جایگزینی برای آن‌ها در فضای سبز پیدا کرد (۲۷). محدودیت منابع آب آبیاری یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت چمن‌ها بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک است (۳۰). در بین تنش‌ها بیشترین آسیب در گیاهان ناشی از تنش خشکی بوده که با آسیب اکسیداتیو در سطح سلول همراه است (۲). در شرایط تنش خشکی به دلیل بسته شدن روزنه‌ها غلظت دی اکسید کربن در بافت مزوفیل کاهش و به دنبال آن واکنش‌های تاریکی فتوسنتز مختل شده و در چنین شرایطی اتم اکسیژن در مسیر زنجیره انتقال الکترون به عنوان پذیرنده جانشین الکترون عمل کرده و عامل شکل‌گیری رادیکال‌های سوپر اکسید، پراکسید هیدروژن و هیدروکسیل است (۴۲ و ۵۴). فعالیت گونه‌های اکسیژن فعال سبب بروز صدماتی همچون اکسید شدن

مواد و روش‌ها

عملیات اجرایی این پژوهش در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان انجام شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل سه عاملی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اول شامل دو گونه چمن پوآی چندساله (*Poa pratensis*) و اگروپیرون (*Agropyron elongatum*) و عامل دوم شامل سه گونه قارچ میکوریزای گلوموس فسیکولاتوم، گلوموس کلاروم، گلوموس موسه‌آ و بدون تلقیح و عامل سوم شامل سه سطح تنش خشکی (۸۰، ۵۵ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. بستر کشت مورد استفاده، خاک با بافت شنی لومی بود که در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۱/۵ ساعت اتوکلاو گردید و سپس ۵۰ گرم مایه تلقیح قارچ میکوریزا (که حاوی ۲۵۰ تا ۳۵۰ پروپاگول^۱ بود)، پیش از پر کردن کامل ظروف کشت (ظروف استوانه‌ای با قطر دهانه ۱۶ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر) در عمق فعالیت ریشه‌ها ریخته شد و به منظور یکنواخت بودن شرایط برای همه‌ی تیمارها در تیمار بدون تلقیح (شاهد) مقدار یکسانی مایه تلقیح اتوکلاو شده استفاده گردید. پس از پر کردن کامل ظروف کشت، بذرها‌ی چمن متناسب با سطح ظرف و گونه چمن توزین و به صورت دستی کاشته شدند. روی بذرها به ارتفاع حدود نیم سانتی‌متر با پیت پوشیده و تا سبز شدن بذرها، بر اساس ظرفیت نگهداری رطوبتی خاک، روزانه آبیاری شدند و پس از سبز شدن بذرها، خاک تا ۸۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری شد. چمن‌ها اولین بار پس از رسیدن به ارتفاع ۷ سانتی‌متر سرزنی شدند و پس از آن سرزنی چمن‌ها به صورت هفتگی انجام شد. کوددهی یک ماه بعد از تاریخ کاشت شروع و پس از هر بار سرزنی با کود کامل (۲۰-۲۰-۲۰) و به غلظت ۰/۲ درصد همراه با آب آبیاری انجام گردید.

قارچ‌های میکوریزا با افزایش سطح جذب ریشه جذب آب توسط گیاه را بهبود بخشیده و تحمل آن‌ها به تنش خشکی را افزایش داده است (۶). قارچ‌های میکوریزا در سال‌های اخیر برای مقابله با کم‌آبی و خشکی در بسیاری از گیاهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۵۱). گندمیان در دوره‌های رشدی و کسب مواد غذایی به میزان زیادی از میکوریزا سود می‌برند و چمن‌های فصل سرد از جمله گونه‌های بنت گرس با میکوریزا بویژه زمانی که مقدار فسفر خاک پایین باشد، ارتباط زیادی برقرار کرده‌اند (۱۶). گونه‌های گلوموس موسه‌آ و گلوموس اینترادیسز ارتباط خوبی با چمن لولیوم چندساله (*Lolium perenne*) برقرار کرده و میزان کلروفیل، وزن تر و خشک ریشه را افزایش داده‌اند (۲۶). در شرایط تنش خشکی، کارایی مصرف آب در چمن اگروپیرون همزیست با قارچ میکوریزا افزایش یافته‌است (۱۲). میکوریزا با چمن زی‌توده بیشتری در سطح زمین ایجاد کرده و همچنین گونه‌ی گلوموس اینترادیسز مقاومت به خشکی را در چمن اگروستیس افزایش داده است (۳۷). تمایل به همزیستی گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا با چمن‌های اگروستیس و لولیوم چندساله متفاوت است (۱۹). قارچ گلوموس موسه‌آ اثر سوء تنش خشکی بر ریحان را بیش از قارچ گلوموس اینترادیسز کاهش داده بود (۴). همزیستی با قارچ میکوریزا میزان پرولین برگ مرزه را کاهش ولی مقاومت به خشکی را در این گیاه افزایش داده بود (۱۴).

با توجه به اهمیت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در برابر تنش‌های اکسیداتیو و همچنین اهمیت نقش میکوریزا بر این فعالیت، در این پژوهش، تاثیر همزیستی سه گونه قارچ میکوریزا، در شرایط تنش خشکی بر خصوصیات بیوشیمیایی دو گونه چمن سردسیری در شرایط گلخانه بررسی گردید.

آبیاری بر اساس منحنی رطوبتی خاک که قبل از شروع آزمایش با بکارگیری تانسومتر و بلوک گچی رسم شده بود مشخص گردید. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این آزمایش که از نظر آبیاری و زراعی اهمیت دارند در جدول ۱ آمده است.

پس از استقرار کامل چمن که حدود ۶۰ روز طول کشید، چمن‌ها بر اساس تیمارهای تعریف شده به مدت سه ماه تحت تنش خشکی قرار گرفتند. زمان آبیاری با استفاده از تانسومتر (در تیمارهای ۵۵ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی) و بلوک گچی (در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) تعیین گردید. ضرایب مدیریت

جدول ۱: برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این مطالعه

Table 1. Some physical and chemical properties of the used soil in this study

پتاسیم K (mg/g)	فسفر P (mg/g)	نیتروژن کل Total N (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (ds/m)	نقطه پژمردگی دائم PWP (%)	ظرفیت زراعی FC (%)	جرم مخصوص ظاهری Bulk density (g/cm ³)	بافت Texture
56	6.4	0.053	0.27	7.3	0.39	7.2	24	1.33	شنی لومی Loam sandy

مصرف رسید آبیاری شروع شد یا اینکه رطوبت موجود در خاک در زمان آبیاری ۳۰ درصد حد ظرفیت زراعی بود) در نظر گرفته شد (۲۲). مقدار آب مصرف شده در تیمارهای رطوبتی ۸۰، ۵۵ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (با ۳۰، ۱۲ و ۴ مرحله آبیاری) برای هر ظرف کاشت به ترتیب ۱۲۲۴۰، ۹۲۰۰ و ۵۷۲۴ میلی‌لیتر بود. ۵۰ روز پس از اعمال تنش خشکی ویژگی‌های بیوشیمیایی برگ چمن‌های مورد آزمایش به شرح ذیل اندازه‌گیری شد.

ویژگی‌های بیوشیمیایی: جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز، کاتالاز و همچنین میزان پروتئین کل، مالون‌دی‌آلدهید و پرولین برگ چمن‌های مورد آزمایش، مقداری برگ تازه آن‌ها در یک هاون چینی با حضور نیتروژن مایع ساییده شد و سپس استخراج با بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار انجام گردید. پس از ۱۵ دقیقه سانتریفوژ (Eppendorf centrifuge 5417 R) در دمای ۴ درجه سلسیوس با سرعت ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه عصاره رویی برداشته شد (۳۰).

در هر نوبت آبیاری، خاک تا حد ظرفیت زراعی آبیاری شد. مقدار آبی که در هر نوبت آبیاری به ظروف کشت داده شد بر اساس رابطه یک محاسبه گردید (۳).

رابطه (۱) $V_n = [(Fc - PWP)/100] \times Pb \times V_p \times F$
 V_n مقدار آب داده شده به هر ظرف کشت در هر نوبت آبیاری (میلی‌لیتر)، Fc رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)، PWP نقطه پژمردگی دائم (درصد)، Pb جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، V_p حجم ظرف کشت (سانتی‌متر مکعب)، F ضریب مدیریت آبیاری که در آبیاری مطلوب ۰/۲ (یعنی وقتی ۲۰ درصد حد ظرفیت زراعی رطوبت خاک به مصرف رسید آبیاری شروع شد یا اینکه رطوبت موجود در خاک در زمان آبیاری ۸۰ درصد حد ظرفیت زراعی بود)، در تنش ملایم ۰/۴۵ (یعنی وقتی ۴۵ درصد حد ظرفیت زراعی رطوبت خاک به مصرف رسید آبیاری شروع شد یا اینکه رطوبت موجود در خاک در زمان آبیاری ۵۵ درصد حد ظرفیت زراعی بود) و در تنش شدید ۰/۷ (یعنی وقتی ۷۰ درصد حد ظرفیت زراعی رطوبت خاک به

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: جهت سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، ۵۰ میکرولیتر عصاره را به ۲۹۰۰ میکرولیتر بافر سنجش اضافه کرده و در نهایت ۵۰ میکرولیتر آب اکسژنه ۱۰ میلی‌مولار نیز به آن افزوده تا اینکه محلول واکنش کامل شده و سپس کاهش جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر که نتیجه اکسید شدن آسکوربات است توسط اسپکتروفتومتر (PG Instruments Ltd T80+ (UV/VIS) برای مدت زمان ۱ دقیقه اندازه‌گیری شد و در نهایت جهت تعیین فعالیت آنزیمی تغییرات جذب بر زمان (OD/min) به ضریب خاموشی $\text{mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ $2/8^1$ تقسیم گردید (۳۵).

جهت سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز، ۱۴۸۵ میکرولیتر بافر آب اکسژنه ۲۲۵ میلی‌مولار را با ۱۴۸۵ میکرولیتر بافر گایاکول ۴۵ میلی‌مولار در کووت سه میلی‌لیتری مخلوط کرده و پس از اضافه کردن ۳۰ میکرولیتر عصاره، منحنی جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر به مدت یک دقیقه قرائت شد. در نهایت جهت تعیین فعالیت آنزیمی تغییرات جذب بر زمان (OD/min) به ضریب خاموشی $\text{mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ $26/6$ تقسیم گردید (۱۱).

جهت سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز ۳۵ میکرولیتر عصاره را به ۲۹۶۵ میکرولیتر بافر سنجش اضافه کرده منحنی جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر به مدت یک دقیقه قرائت شد. در نهایت جهت تعیین فعالیت آنزیمی تغییرات جذب بر زمان (OD/min) به ضریب خاموشی $\text{mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ $39/4^1$ تقسیم گردید (۱).

غلظت مالون‌دی‌آلدئید: برای سنجش غلظت مالون‌دی‌آلدئید، به ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره‌ی برگ، ۵۰۰ میکرولیتر اسید تری‌کلرواستیک ۲۰ درصد حاوی ۰/۵ درصد اسید تیوباربتوریک، اضافه گردید. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه‌ی

سلسیوس در حمام آب گرم قرار گرفت و سپس لوله‌های آزمایش در یخ سرد و بلافاصله به مدت ۱۰ دقیقه با ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفوژ شد. در نهایت جذب محلول رویی در طول موج ۵۳۲ نانومتر قرائت شد. جذب رنگیزه‌های غیراختصاصی در طول موج ۶۰۰ نانومتر تعیین و از میزان جذب در ۵۳۲ نانومتر کسر گردید. برای محاسبه غلظت مالون‌دی‌آلدئید از ضریب خاموشی معادل $\text{mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ۱۵۵ استفاده شد (۲۱).

غلظت پروتئین کل: برای سنجش غلظت پروتئین کل در بافت نمونه‌ها، از سرم آلبومین گاوی جهت رسم نمودار استاندارد استفاده گردید. برای اندازه‌گیری مقدار پروتئین، ۲۵ میکرولیتر عصاره برگ به ۲۹۷۵ میکرولیتر معرف برادفورد اضافه شده و سپس محلول‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای اتاق نگاه‌داری شده و سپس جذب آن در ۵۹۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. در پایان، غلظت پروتئین بر اساس منحنی استاندارد بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر تعیین شد. (۱۰).

میزان پرولین برگ: به میکروتیوب‌های حاوی ۰/۱ گرم برگ پودر شده ۱/۵ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد اضافه و ورتکس گردید. بعد از نیم ساعت به مدت ۱۰ دقیقه با ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند. پس از اتمام سانتریفوژ، یک میلی‌لیتر از عصاره رویی را به یک لوله آزمایش منتقل و سپس ۱ میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین و ۱ میلی‌لیتر اسید استیک غلیظ نیز اضافه گردید. محتوای لوله‌ها به مدت ۱ ساعت در حمام آب جوش قرار گرفتند و پس از آن واکنش در حمام یخ به اتمام رسید. پس از سرد شدن به هر لوله آزمایش ۲ میلی‌لیتر تولوئن اضافه و شدیداً به هم زده شدند. در نهایت در هر لوله آزمایش ۲ فاز تشکیل شد که از فاز فوقانی جهت اندازه‌گیری پرولین استفاده شد. میزان جذب نور در

نتایج و بحث

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز: نتایج نشان داد که قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در برگ گونه‌های چمن، اثر متقابل معنی‌دار دارند (جدول ۳). فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در برگ چمن‌های مورد آزمایش در شرایط تنش خشکی افزایش معنی‌دار داشت. به طوری که فعالیت این آنزیم در بالاترین سطح تنش ۱/۵ برابر تنش ملایم و ۲/۶ برابر شرایط بدون تنش بود. قارچ میکوریزا بویژه در شرایط تنش شدید خشکی فعالیت آسکوربات پراکسیداز را در برگ چمن‌های مورد آزمایش افزایش داد. در چمن آگروپرون، قارچ گلوموس موسه‌آ و در چمن پوآی چندساله، قارچ گلوموس کلاروم سبب بیشترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز گردید. در مجموع در هر دو گونه‌ی چمن اختلاف بین دو قارچ گلوموس کلاروم و گلوموس موسه‌آ به خصوص در شرایط تنش خشکی بر فعالیت آسکوربات پراکسیداز معنی‌دار نبود. ولی بدون لحاظ اثرات متقابل، قارچ گلوموس کلاروم بیشترین تاثیر را بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز داشت. میزان فعالیت آسکوربات پراکسیداز در چمن پوآی چندساله بیشتر از چمن آگروپرون بود ولی این اختلاف معنی‌دار نبود (شکل ۱). آسکوربات پراکسیداز از ترکیبات کلیدی سیستم آنتی‌اکسیدانی در گیاهان عالی هستند. حساسیت زیاد آسکوربات پراکسیداز به غلظت پراکسید هیدروژن و توانایی افزایش فعالیت آن در پاسخ به تنش‌ها از دلایلی است که نشان می‌دهد، این آنزیم نه فقط آنتی‌اکسیدانی کلیدی است بلکه کنترل کننده‌ی میزان پراکسید هیدروژن برای فرآیند پیام‌رسانی است (۳۴).

طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. از محلول پرولین خالص با غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میکرومولار جهت رسم منحنی استاندارد استفاده شد (۷).

درصد کلنی‌سازی میکوریزایی ریشه‌ها: جهت تعیین درصد کلنی‌سازی، ریشه‌های نمونه‌برداری شده با آب به خوبی شسته و سپس در محلول ۵۰ درصد الکل اتیلیک نگهداری شدند. پس از خارج کردن ریشه‌ها از محلول، سه بار با آب معمولی شسته و سپس به آن‌ها هیدروکسید پتاسیم ۱۰ درصد اضافه و به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس و فشار ۱/۲ اتمسفر، اتوکلاو گردیدند. پس از اتوکلاو، ریشه‌ها را سه مرتبه با آب معمولی شسته و به مدت سه دقیقه در داخل کلریدریک اسید یک درصد قرار گرفتند. بعد از خارج کردن نمونه‌ها از اسید، در محلول تریپان بلو (به نسبت ۱:۱ لاکتیک اسید، گلیسرول، آب مقطر و ۰/۰۵ درصد وزنی-حجمی تریپان بلو) به مدت ۴۸ ساعت و در دمای اتاق به منظور رنگ‌پذیری ساختمان‌های قارچی میکوریزا (آرباسکول، وزیکول و هیف) نگهداری شدند (۳۸). سپس ریشه‌ها از محلول تریپان بلو خارج شده و شش قطعه چهار سانتی متری از ریشه‌های رنگ آمیزی شده به صورت تصادفی انتخاب و روی دو عدد لام قرار گرفتند و پس از اضافه کردن گلیسرول ۵۰ درصد و قرار دادن لام روی آن‌ها، در زیر میکروسکوپ مجهز به عدسی چشمی مدرج و با بزرگ‌نمایی ۲۰۰ برابر ارزیابی شدند. میزان کلنی‌سازی ریشه با برآورد طولی از ریشه که به ساختمان‌های قارچی وزیکول و آرباسکول آلوده باشند بصورت درصد محاسبه گردید (۳۱). تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم افزار SAS 9 و MSTAT-C و رسم نمودار با استفاده از Excel و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

جدول ۲: اثر متقابل گونه‌های چمن، گونه‌های قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر فعالیت آنزیم کاتالاز.

Table 2. Interaction of grass species, mycorrhizae fungi species and drought stress on Catalase activity.

جنس چمن Turfgrass species	گونه‌ی قارچ میکوریزا Mycorrhizae species	تنش خشکی Drought stress	فعالیت کاتالاز (واحد آنزیم بر گرم وزن تر) Catalase activity (U g ⁻¹ FW)
اگرویپرون (<i>A. elongatum</i>)	گلموس کلاروم (<i>G. clarum</i>)	30 % FC	1.230 ± 0.156 c-g
		55 % FC	1.383 ± 0.195 bcd
		80 % FC	1.070 ± 0.082 dhi
	گلموس فسیکولاتوم (<i>G. fasciculatum</i>)	30 % FC	1.350 ± 0.155 bde
		55 % FC	1.530 ± 0.167 abc
		80 % FC	0.893 ± 0.104 dhi
	گلموس موسه‌آ (<i>G. mosseae</i>)	30 % FC	1.210 ± 0.191 dhi
		55 % FC	1.640 ± 0.139 ab
		80 % FC	1.037 ± 0.187 dhi
	بدون کاربرد قارچ (Non fungi)	30 % FC	1.033 ± 0.175 ehi
		55 % FC	1.130 ± 0.171 dfh
		80 % FC	1.047 ± 0.185 dhi
پوآی چندساله (<i>P. pratensis</i>)	گلموس کلاروم (<i>G. clarum</i>)	30 % FC	0.780 ± 0.056 i
		55 % FC	1.243 ± 0.040 c-g
		80 % FC	1.107 ± 0.092 dfh
	گلموس فسیکولاتوم (<i>G. fasciculatum</i>)	30 % FC	0.993 ± 0.121 fhi
		55 % FC	1.293 ± 0.045 cdf
		80 % FC	1.147 ± 0.047 dfh
	گلموس موسه‌آ (<i>G. mosseae</i>)	30 % FC	1.047 ± 0.114 dhi
		55 % FC	1.300 ± 0.122cdf
		80 % FC	0.953 ± 0.106 ghi
	بدون کاربرد قارچ (Non fungi)	30 % FC	1.103 ± 0.186 dhi
		55 % FC	1.747 ± 0.050 a
		80 % FC	1.100 ± 0.106 dhi

بر مبنای آزمون دانکن، میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار نداشتند.

Means followed by the same letters are not significantly different according to the Duncan test at P = 0.05.

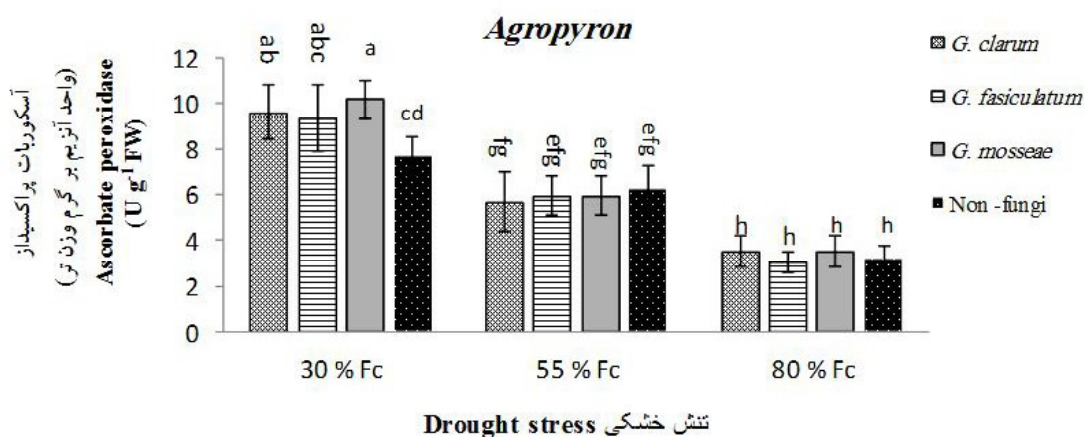
جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس اثر قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر صفات بیوشیمیایی برگ دو گونه چمن سردسیری.

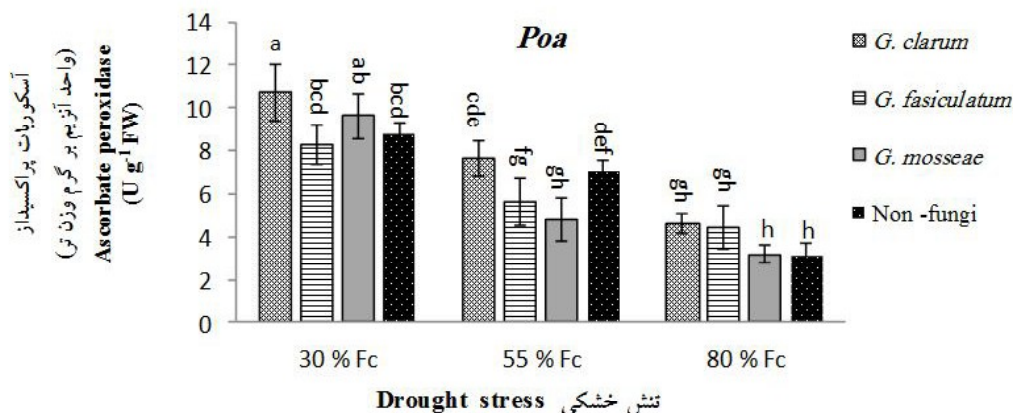
Table 3. Analysis of variance of mycorrhizae symbiosis and drought stress levels on biochemical traits in two cool season turfgrass leaf

میانگین مربعات Mean squares							درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V
درصد کلنی سازی ریشه Root colonization percent	پرولین Proline	مالون دی آلدهید Malondialdehyde	پروتئین Protein	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase		
1.22	18.02	17.37	1.12	0.15	2.975	0.826	2	بلوک Block
228.73**	1.04 ^{ns}	16.59 ^{ns}	7.27**	0.068 ^{ns}	20.06**	2.067 ^{ns}	1	چمن Turfgrass (T)
4027.94**	18.61*	75.6**	0.946**	0.017 ^{ns}	1.911*	3.313*	3	میکوریزا Mycorrhizae (M)
103.49**	683.8**	1115.76**	4.78**	0.937**	97.65**	195.5**	2	تنش خشکی Drought stress (D)
68.67**	2.32 ^{ns}	2.26 ^{ns}	0.028 ^{ns}	0.196**	0.148 ^{ns}	3.489*	3	چمن × میکوریزا T × M
71.47**	14.31*	18.85**	0.204 ^{ns}	0.027 ^{ns}	2.669**	2.601*	6	میکوریزا × تنش خشکی M × D
1.43 ^{ns}	6.74 ^{ns}	0.77 ^{ns}	0.223 ^{ns}	0.132*	2.784**	0.217 ^{ns}	2	چمن × تنش خشکی T × D
1.55 ^{ns}	0.76 ^{ns}	0.54 ^{ns}	0.038 ^{ns}	0.099**	0.828 ^{ns}	1.149 ^{ns}	6	اثرات متقابل سه گانه T × M × D
3.83	5.1	5.25	0.117	0.028	0.473	0.924	46	اشتباه آزمایش Error
12.95	14.58	14.04	8.7	14.2	14.4	15.19		ضریب تغییرات CV (%)

***، *، ns به ترتیب مبین معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱، ۰/۰۵ و غیر معنی‌دار است.

***, *, ns showed significant at 1 %, 5 % probability levels and non-significant respectively.





شکل ۱: اثر متقابل گونه‌های چمن، گونه‌های قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز. ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار نداشتند. میله خطا نشان‌دهنده خطا استاندارد است.

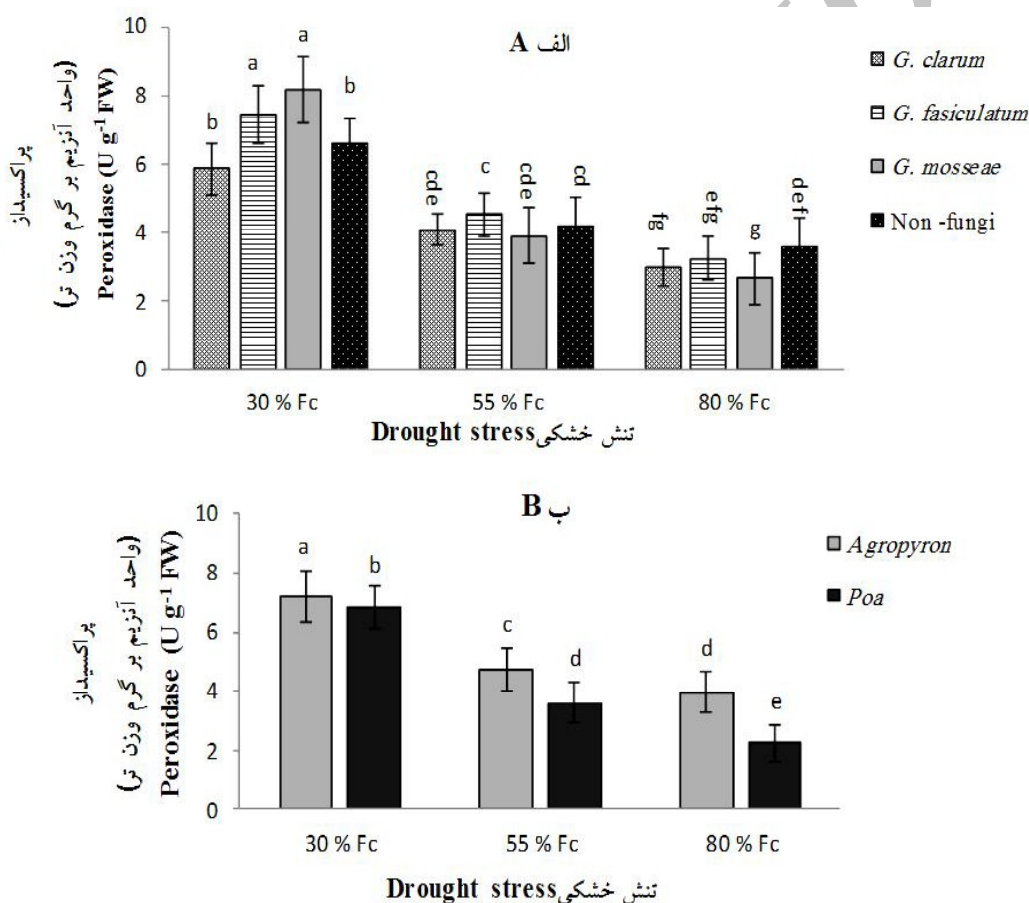
Figure 1. Interaction effect of grass species, mycorrhizal fungi species and drought stress on Ascorbate peroxidase activity. Bars with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan test. Vertical bars represent standard errors.

فعالیت آنزیم پراکسیداز: نتایج نشان داد که اثرات متقابل گونه‌های چمن با سطوح مختلف تنش خشکی و همچنین گونه‌های قارچ میکوریزا با سطوح مختلف تنش خشکی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در برگ چمن‌های مورد آزمایش معنی‌دار بود (جدول ۳). فعالیت پراکسیداز در برگ چمن اگر پیرون ۲۵ درصد بیشتر از چمن پوآی معمولی بود. تنش خشکی سبب افزایش فعالیت این آنزیم در برگ چمن‌های مورد آزمایش گردید به طوری که در بالاترین سطح تنش فعالیت آن ۱۲۵ درصد بیش از شرایط بدون تنش و ۶۷ درصد بیش از تنش ملایم بود (شکل ۲ب). پاسخ قارچ میکوریزا به سطح تنش خشکی بستگی داشت. در بالاترین سطح تنش چمن‌های همزیست با قارچ گلوبوس موسه‌آ بیشترین فعالیت پراکسیداز را دارا بودند در حالی که در تنش ملایم بیشترین فعالیت آنزیم در برگ چمن‌های همزیست با قارچ گلوبوس فسیکولاتوم مشاهده گردید و در شرایط بدون تنش بیشترین فعالیت آنزیم مربوط به چمن‌هایی بود که با قارچ میکوریزا تلقیح نشده بودند. پراکسیداز در برگ اگر پیرون‌های همزیست با قارچ گلوبوس موسه‌آ در بالاترین سطح تنش بیشترین فعالیت را داشت و

در منابع علمی، به رابطه‌ی تنگاتنگ بین فعالیت بالای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و افزایش مقاومت به تنش خشکی اشاره شده است (۵۵). به طوری که در برگ چمن پوآی چندساله فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در شرایط تنش خشکی ۷۰ درصد افزایش یافته است (۱۲). همچنین تنش خشکی تا فشار ۴۰ سانتی‌بار فعالیت آسکوربات پراکسیداز را در برگ چمن‌های فستوکای پابلند و اگر وستیس خزننده افزایش داده است (۵). بر اساس نتایج این تحقیق، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در برگ چمن‌های مورد مطالعه با افزایش شدت تنش خشکی افزایش یافت. نتیجه افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز حذف آب اکسیژنه‌ی سیتوسولی و کلروپلاستی و افزایش مقاومت گیاه به تنش اکسیداتیو است (۳۴). فعالیت آسکوربات پراکسیداز در ریشه‌ی گندم و ذرت میکوریزایی بیشتر از گندم غیره همزیست با میکوریزا است (۲۹ و ۵۷). بر اساس نتایج این تحقیق نیز قارچ میکوریزا فعالیت این آنزیم را در برگ چمن‌های مورد مطالعه به ویژه در شرایط تنش شدید خشکی افزایش داد.

پراکسید هیدروژن را با استفاده از ترکیبات فنلی مانند گایاکول (به‌عنوان دهنده الکترون) کاتالیز کند (۴۵). با افزایش تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در دو گونه‌ی چمن فستوکای پابلند و آگروستیس خزنده افزایش یافته است (۵). فعالیت آنزیم پراکسیداز در گندم مقاوم به خشکی بیشتر از ارقام حساس به خشکی بوده است (۲۸). میکوریزا فعالیت آنزیم پراکسیداز را در برگ ذرت‌های همزیست با آن در شرایط تنش خشکی افزایش داده بود (۵۷).

کمترین فعالیت مربوط به پوآی چند ساله همزیست با قارچ گلووموس کلاروم در شرایط بدون تنش بود (شکل ۲ الف). در شرایط بدون تنش فعالیت این آنزیم در آگروپیرون ۷۴ درصد بیش از پوآی چندساله بود در حالی که در بالاترین سطح تنش فقط ۵ درصد فعالیت آن در آگروپیرون بیشتر بود. به عبارتی شیب افزایش فعالیت پراکسیداز در شرایط تنش خشکی در چمن پوآی چندساله بیشتر از چمن آگروپیرون بوده است (شکل ۲ ب). آنزیم پراکسیداز بخشی از ساز و کار دفاعی سلول‌های گیاهی است که قادر است



شکل ۲: اثر متقابل گونه‌های قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز (الف). اثر متقابل گونه‌های چمن بر فعالیت آنزیم پراکسیداز (ب). ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار نداشتند. میله عمودی نشان‌دهنده خطا استاندارد است.

Figure 2. Interaction between mycorrhizae fungi species and drought stress on Peroxidase activity (A). Interaction between grass species and drought stress on Peroxidase activity (B). Bars with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan test. Vertical bars represent standard errors.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت پراکسیداز در برگ چمن با افزایش شدت تنش خشکی افزایش می‌یابد ولی شیب این افزایش در چمن‌های مختلف متفاوت است و همچنین قارچ میکوریزا فعالیت این آنزیم را به‌ویژه در شرایط تنش خشکی افزایش می‌دهد ولی تاثیر گونه‌های آن یکسان نیست.

کاتالاز: نتایج نشان داد که اثر متقابل قارچ میکوریزا، تنش خشکی و گونه‌های چمن بر فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار است (جدول ۳). فعالیت آنزیم برگ چمن‌های مورد آزمایش در شرایط تنش خشکی افزایش معنی‌دار داشت. به‌طوری‌که فعالیت این آنزیم در تنش ملایم نسبت به تنش شدید ۲۹ درصد و نسبت به شرایط بدون تنش ۳۵ درصد، بیشتر بود. به عبارتی با کاهش رطوبت خاک تا ۵۵ درصد ظرفیت زراعی فعالیت کاتالاز افزایش و پس از آن با کاهش رطوبت خاک فعالیت کاتالاز نیز کاهش یافت. واکنش گونه‌های چمن به قارچ میکوریزا در خصوص فعالیت کاتالاز و در سطوح مختلف تنش خشکی متفاوت بود. در چمن آگروپیرون، در شرایط تنش ملایم چمن‌های همزیست با قارچ گلوموس موسه‌آ بیشترین فعالیت کاتالاز را دارا بودند درحالی‌که در بالاترین سطح تنش بیشترین فعالیت آنزیم در برگ چمن‌های همزیست با قارچ گلوموس فسیکولاتوم مشاهده گردید ولی در چمن پوآی چندساله در هر دو شرایط تنش شدید و ملایم بیشترین فعالیت آنزیم مربوط به چمن‌هایی بود که با قارچ میکوریزا تلقیح نشده بودند. در چمن پوآی چندساله، چمن‌های همزیست با قارچ گلوموس کلاروم در بالاترین سطح تنش کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز را داشتند. درحالی‌که در چمن آگروپیرون، کمترین فعالیت کاتالاز را چمن‌های همزیست با قارچ گلوموس فسیکولاتوم و در شرایط بدون تنش خشکی مشاهده گردید (جدول ۲).

کاتالاز آنزیمی منحصر به فرد با ضریب تبدیل بالا است که جهت تجزیه‌ی پراکسید هیدروژن، نیازی به ترکیبات کاهنده‌ی سلولی ندارد و به‌طوری‌که می‌تواند در هر دقیقه ۶ میلیون مولکول پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن تبدیل کند (۴۵).

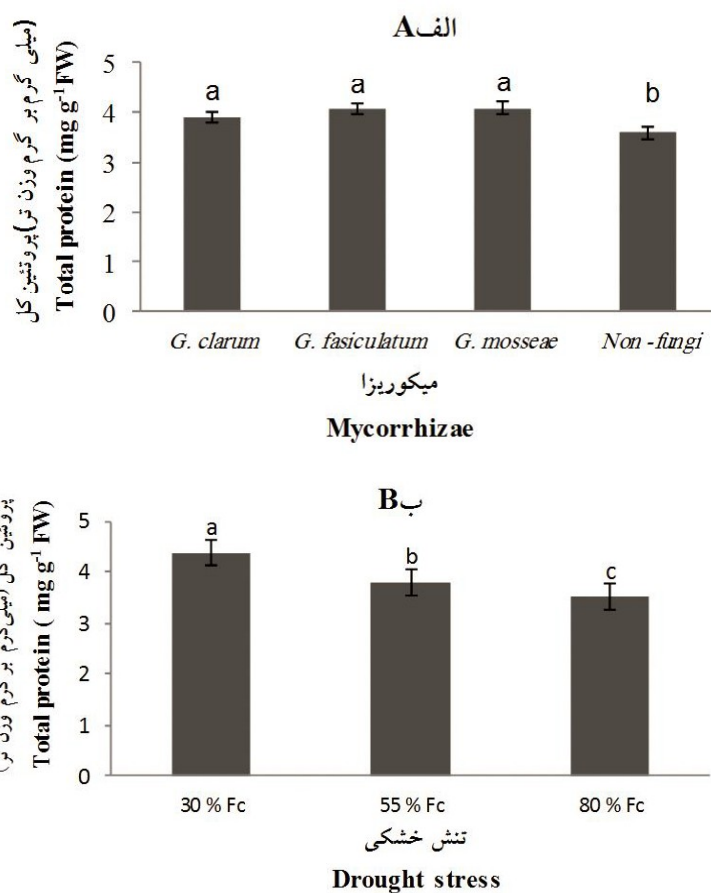
آنزیم کاتالاز نقش مهمی در جاروبگری پراکسید هیدروژن تولید شده به‌وسیله‌ی فرآیندهایی مانند بتا-اکسیداسیون اسیدهای چرب دارد (۱۵). در مطالعه‌ی فعالیت آنزیم کاتالاز در آگروپیرون (*Agropyron desertorum*) بیشتر از علف‌پشمکی (*Bromus inermis*) و پوآی چندساله بوده است ولی روند تغییر فعالیت آن در هر سه گونه چمن الگوی مشابهی داشته است به‌طوری‌که فعالیت کاتالاز جهت حذف پراکسید هیدروژن در مراحل اولیه تنش خشکی افزایش ولی با طولانی شدن تنش کاهش یافته است (۵۲). احتمال دارد که ترکیبات بازدارنده فعالیت کاتالاز مانند اسید سالیسیلیک سبب کاهش فعالیت این آنزیم در تنش شدید خشکی شده باشند زیرا مشاهده شده که کاهش فعالیت کاتالاز در گیاهان زیادی که تحت تنش اکسیداتیو بوده‌اند به افزایش میزان سالیسیلیک اسید مرتبط بوده است (۴۸). فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ ذرت‌های همزیست با میکوریزا در شرایط تنش خشکی بیشتر از ذرت‌های غیره همزیست بوده است (۵۷). فعالیت کاتالاز در شاخساره‌ی گیاه سویا که همزیست با میکوریزا بودند بیشتر از گیاهان غیره همزیست بوده است (۳۹). آب اکسیژنه‌ی تولید شده در قسمت‌های مختلف سلول به وسیله آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز حذف شده‌اند (۵۵).

غلظت پروتئین کل: اثرات متقابل قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر میزان پروتئین برگ معنی‌دار نبود (جدول ۳). تنش خشکی سبب افزایش میزان پروتئین برگ گردید. به‌طوری‌که پروتئین برگ چمن‌های مورد آزمایش در بالاترین سطح تنش ۱۵ درصد بیشتر از

میلی‌گرم در گرم وزن تازه‌ی برگ مربوط به آگروپیرون‌های همزیست با قارچ گلموس موسه‌آ در بالاترین سطح تنش بود که ۶۰ درصد بیشتر از میزان پروتئین چمن پوآی چندساله‌ی همزیست با قارچ گلموس کلاروم در شرایط بدون تنش خشکی (با کمترین پروتئین به میزان ۳/۱۳ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ) بود (شکل ۳A).

تنش ملایم و ۲۵ درصد بیشتر از شرایط بدون تنش بود. (شکل ۳B).

قارچ میکوریزا میزان پروتئین برگ چمن‌های مورد آزمایش را بیش از ۱۲ درصد افزایش داد و از این نظر بین گونه‌های مختلف آن اختلاف معنی‌دار وجود نداشت ولی میزان پروتئین برگ چمن‌های همزیست با قارچ گلموس موسه‌آ بیش از سایر گونه‌های قارچ بود. به‌طوری‌که بیشترین میزان پروتئین به میزان ۴/۹۸



شکل ۳: اثر گونه‌های قارچ میکوریزا بر میزان پروتئین کل محلول در برگ چمن‌های مورد مطالعه (الف). اثر تنش خشکی بر میزان پروتئین کل محلول در برگ چمن‌های مورد مطالعه (ب). ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار نداشته‌اند. میله خط نشان‌دهنده خطا استاندارد است.

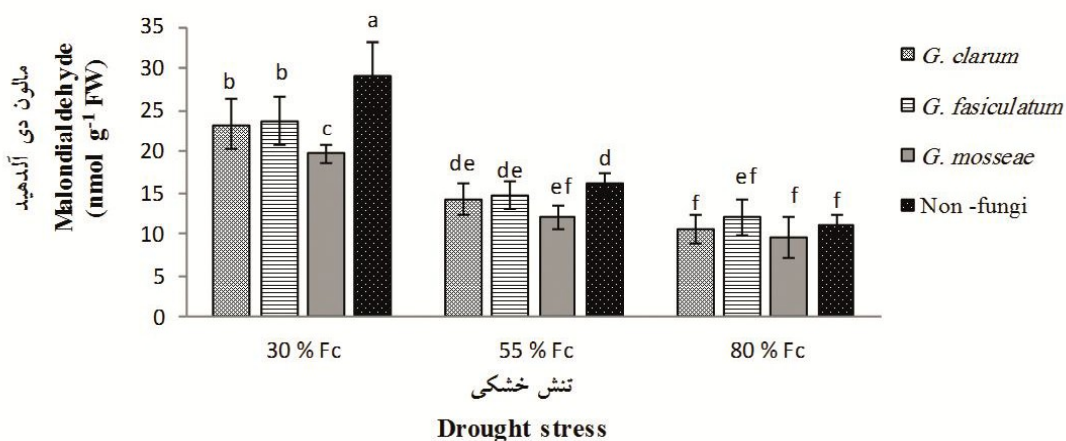
Figure 3. The effect of mycorrhizae fungi species on total soluble protein in leaves of studied grasses (A). The effect of drought stress on total soluble protein in leaves of studied grasses (B). Bars with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan test. Vertical bars represent standard errors.

بستگی دارد. بنابراین بر همین اساس برخی محققین کاهش و برخی دیگر افزایش میزان آن را در شرایط

تغییرات میزان پروتئین کل محلول در گیاه به گونه، بافت مورد مطالعه و شدت تنش خشکی

غلظت مالون دی آلدئید: اثرات متقابل قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر میزان مالون دی آلدئید برگ معنی دار بود (جدول ۳). میزان مالون دی آلدئید برگ چمن های مورد آزمایش در شرایط تنش خشکی افزایش معنی دار نشان داد. به طوری که در بالاترین سطح تنش (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) میزان مالون دی آلدئید برگ چمن های مورد آزمایش ۱/۷ شرایط تنش ملایم (۵۵ درصد ظرفیت زراعی) و ۲/۲ برابر شرایط بدون تنش بود. میزان مالون دی آلدئید چمن آگروپیرون بیش از چمن پوآی چندساله بود ولی این اختلاف معنی دار نبود. قارچ میکوریزا سبب کاهش میزان مالون دی آلدئید برگ چمن های مورد آزمایش به ویژه در شرایط تنش شدید خشکی گردید. بین گونه های مختلف قارچ، گونه ی گلوموس موسه آ سبب گردید که میزان مالون دی آلدئید برگ در بالاترین سطح تنش خشکی بیش از ۳۲ درصد و در تنش متوسط بیش از ۲۵ درصد نسبت به شرایط بدون قارچ کاهش یابد و از این نظر نسبت به دیگر گونه های قارچ موثرتر بود (شکل ۴).

تنش خشکی گزارش کرده اند. میزان پروتئین کل محلول در ذرت های مقاوم به خشکی که تحت پتانسیل اسمزی ۱ تا ۱۰ اتمسفر پرورش یافته بودند ۱۹۰ درصد بیش از شاهد افزایش یافته بود (۴۶). میزان پروتئین برگ گیاه *Sporobolus elongatus* در شرایط تنش خشکی تا محتوای نسبی آب ۳۸ درصد سیر صعودی داشت و پس از آن کاهش یافته بود (۱۷). به احتمال زیاد در شرایط تنش خشکی گیاهانی که مقاومت بیشتری به کم آبی دارند، برای مقابله و تحمل شرایط تنش، فعالیت ها و واکنش های متابولیسمی خود را بالا می برند که در این مسیر پروتئین ها و آنزیم های متنوع آنابولیسمی و کاتابولیسمی ممکن است فعال شوند که نتیجه آن افزایش پروتئین های محلول در سلول گیاهی است. قارچ میکوریزا مقدار پروتئین کل اندام هوایی گیاه پروانش را افزایش داده بود و از این نظر بین گونه های این قارچ نیز اختلاف معنی دار ملاحظه شده بود (۴۰). نشان داده شده که تلقیح میکوریزایی غلظت اسیدهای آمینه و مقدار پروتئین کل را در گیاهان همزیست با آنها افزایش می دهند (۴۴).

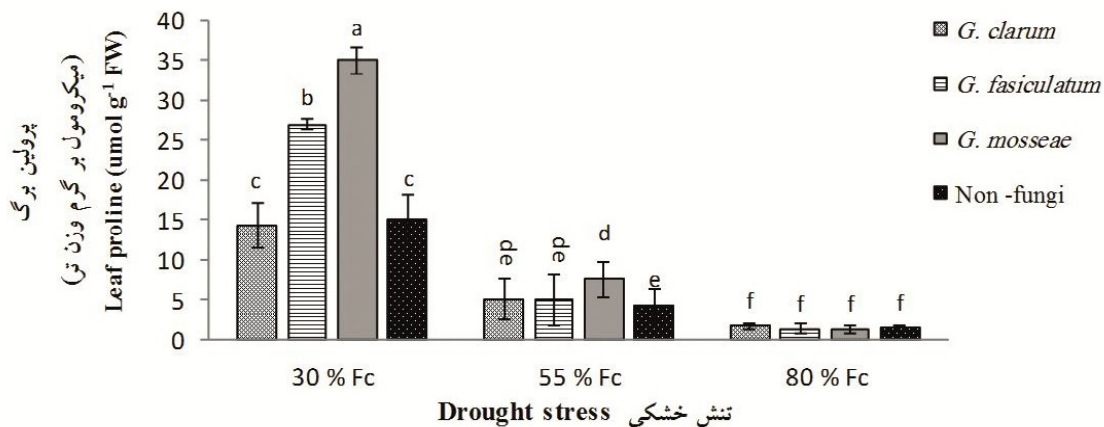


شکل ۴: اثر متقابل گونه های قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر میزان مالون دی آلدئید برگ چمن های مورد مطالعه. ستون های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی دار نداشتند. میله عمودی نشان دهنده خطا استاندارد است.

Figure 4. Interaction between mycorrhizae fungi species and drought stress on Malondialdehyde content in leaves of studied grasses. Bars with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan test. Vertical bars represent standard errors.

پرولین برگ: میزان پرولین برگ چمن‌های مورد آزمایش در شرایط تنش خشکی و کاربرد میکوریزا افزایش معنی‌دار نشان داد. به طوری که در بالاترین سطح تنش (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) میزان پرولین برگ چمن‌های مورد آزمایش چهار برابر شرایط تنش ملایم (۵۵ درصد ظرفیت زراعی) و ۱۷ برابر شرایط بدون تنش بود. میزان پرولین برگ چمن پوآی چندساله بیش از چمن اگروپیرون بود ولی این اختلاف معنی‌دار نبود. قارچ میکوریزا سبب افزایش میزان پرولین برگ چمن‌های مورد آزمایش به ویژه در شرایط تنش شدید خشکی گردید. بین گونه‌های مختلف قارچ، گونه‌ی گلوموس موسه‌آ سبب گردید که میزان پرولین برگ در بالاترین سطح تنش خشکی بیش از ۱۳۰ درصد و در تنش متوسط بیش از ۷۰ درصد نسبت به شرایط بدون قارچ افزایش یابد (شکل ۵). پرولین به عنوان ماده اسمولیتیک سلولی عمل کرده و باعث ثبات و پایداری غشاءها و ماکروملکول‌ها (به ویژه آنزیم‌ها) شده و همچنین به علت خواص آنتی‌اکسیدانی خود یک عمل حفاظتی غیره مستقیم نیز بروز می‌دهد (۲۰). در گیاهان تحت تنش، افزایش ساخت اسید آمینه پرولین سریع‌تر از سایر آمینواسیدها است، به همین دلیل بررسی تولید میزان پرولین یکی از شاخص‌های مورد مطالعه در تنش‌های محیطی است (۷).

پراکسیداسیون لیپید و تولید محصولی مانند مالون‌دی‌آلدهید نتیجه حمله رادیکال‌های فعال اکسیژن به اسیدهای چرب غیراشباع بوده که شاخصی زیستی برای سنجش میزان تاثیر تنش اکسیداتیو در گیاهان است (۴۷). میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ چمن پوآی چندساله با افزایش سطح تنش خشکی افزایش یافته و در بالاترین سطح تنش میزان آن ۴/۲۳ برابر شرایط بدون تنش بوده است (۵۳). در یک گونه لوبیای مقاوم به خشکی (*Phaseolus acutifolius*) در مقایسه با گونه حساس به خشکی (*Phaseolus vulgaris*) فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بالاتر و میزان پراکسیداسیون لیپید پایتتر بوده است (۵۴). میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ گیاهان زوفا (*Hyssopus officinalis*) با افزایش تنش آبی در کلیه تیمارهای بدون میکوریزا نسبت به زوفای همزیست با میکوریزا افزایش بیشتری نشان داده است. به طوری که در سطح تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ گیاهان زوفای همزیست با قارچ‌های گلوموس فسیکولاتوم، گلوموس موسه‌آ و بدون قارچ به ترتیب ۱۱۴/۱، ۱۰۶/۳ و ۱۲۶/۹ نانومول بر گرم وزن تازه برگ بوده است (۵۰). میزان مالون‌دی‌آلدهید موجود در برگ ذرت‌های همزیست با میکوریزا در شرایط تنش خشکی ۱۷/۵ درصد کمتر از ذرت‌های غیره همزیست بوده است (۵۷). نتایج بیانگر این مطلب است که در گیاهان همزیست با میکوریزا تجمع رادیکال‌های فعال اکسیژن کمتر است.



شکل ۵: اثر متقابل گونه‌های قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر میزان پرولین برگ چمن‌های مورد مطالعه. ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار نداشتند. میله عمودی نشان‌دهنده خطا استاندارد است.

Figure 5. Interaction between mycorrhizae fungi species and drought stress on proline in leaves of studied grasses. Bars with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan test. Vertical bars represent standard errors.

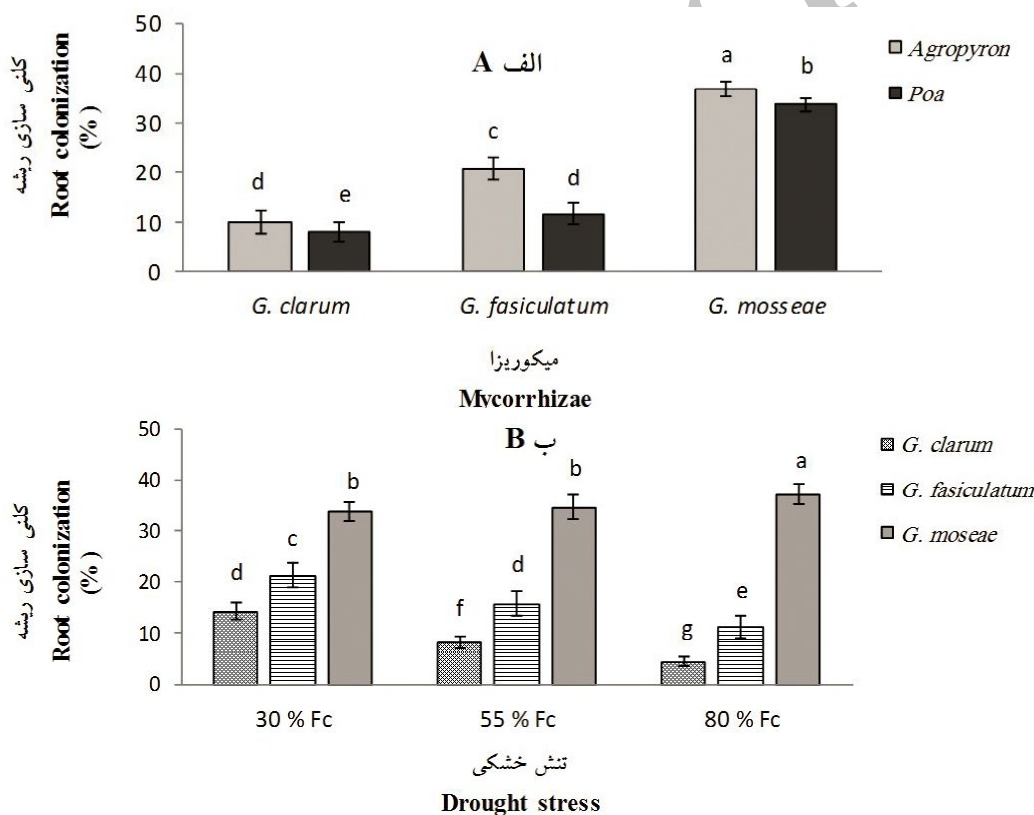
همزیست با میکوریزا در شرایط تنش خشکی بستگی به گونه قارچ همزیست با آن‌ها دارد (۴۱). در این آزمایش نیز قارچ میکوریزا میزان پرولین برگ چمن‌های مورد مطالعه را به ویژه در شرایط تنش خشکی افزایش داد ولی کارایی گونه‌های این قارچ در افزایش میزان پرولین متفاوت بود.

درصد کلنی‌سازی ریشه: نتایج نشان داد که گونه‌های چمن با گونه‌های قارچ و همچنین گونه‌های قارچ با سطوح مختلف تنش خشکی بر درصد کلنی‌سازی ریشه اثرات متقابل معنی‌دار دارند (جدول ۳). گلوموس موسه‌آ در تمامی سطوح تنش خشکی، بیشترین درصد کلنی‌سازی ریشه را با چمن‌های مورد آزمایش نشان داد و با ۳۹/۴ درصد، بیشترین کلنی‌سازی را با ریشه‌ی چمن اگروپیرون در شرایط بدون تنش خشکی داشت. گونه‌ی گلوموس کلاروم در تمامی سطوح تنش و نسبت به دیگر گونه‌های قارچ کمترین درصد کلنی‌سازی ریشه را با چمن‌های مورد آزمایش نشان داد و از این نظر با ۴/۱۳ درصد، کمترین میزان کلنی‌سازی را با ریشه چمن پوآی چندساله در شرایط بدون تنش خشکی نشان داد

میزان پرولین برگ پوآی چندساله و اگروپیرون در زرتوروم در بالاترین سطح تنش به ترتیب ۴/۲۳ و ۸/۷۳ برابر گیاهان شاهد بوده است (۵۲). در این آزمایش نیز میزان پرولین برگ هر دو گونه چمن در شرایط تنش خشکی افزایش نشان داد. اگرچه تلاش‌های فراوانی برای مرتبط ساختن انباشت پرولین در شرایط کمبود آب با میزان حساسیت و یا تحمل به تنش خشکی در گونه‌های گیاهی مختلف انجام گرفته است، اما مدارک قانع‌کننده زیادی در تأیید این ادعا وجود ندارد. وجود گزارش‌های متناقض در این زمینه نتیجه‌گیری در مورد ارتباط پرولین با مقاومت یا حساسیت به خشکی را مشکل ساخته است. همچنین، واضح نیست که آیا تجمع پرولین یک واکنش سازگاری به تنش خشکی است یا اینکه یک تغییر زیست-شیمیایی حاصل از آسیب تنش است (۲۳). میزان پرولین برگ ذرت‌های همزیست با میکوریزا نسبت به عدم حضور قارچ ۵۶/۰۸ درصد بیشتر بوده است (۵۷). گیاهان زوفای همزیست با میکوریزا در بالاترین سطح تنش بیشترین میزان پرولین را داشته‌اند (۵۰). میزان پرولین تجمع یافته در بافت گیاهان

نتایج این آزمایش نیز نشان داد که تمایل به همزیستی و قابلیت گونه‌های قارچ جهت همزیستی با چمن‌های مورد آزمایش بسیار متفاوت است. توانایی گونه‌های مختلف قارچ بویژه تحت تنش محیطی در آلوده‌سازی گیاه میزبان متفاوت است (۲۴). برخی از گونه‌های قارچ میکوریزا می‌توانند به سرعت با تنش خشکی سازگار شده و گیاه میزبان را از مزیت‌های خود بهره‌مند سازند (۵۶). تاثیر تنش خشکی بر درصد کلنی‌سازی ریشه گیاهان توسط میکوریزا، به دوره و شدت تنش، شرایط کاشت (مزرعه‌ای یا گلدانی) گونه-ی گیاه و قارچ بستگی دارد (۶).

(شکل ۶ الف). تنش خشکی درصد کلنی‌سازی ریشه چمن‌های آگروپیرون و پوآی چندساله با گونه‌های گلوموس کلاروم و گلوموس فسسیکولانوم را افزایش داد به طوری که درصد کلنی‌سازی گلوموس کلاروم با ریشه چمن پوآی چندساله را با ۲۲۰/۳۴ درصد افزایش، از ۴/۱۳ درصد به ۱۳/۲۳ درصد رساند. درصد کلنی‌سازی گلوموس موسه‌آ با ریشه چمن‌های مورد آزمایش در شرایط تنش خشکی کاهش نشان داد (شکل ۶ ب). در مطالعه‌ای، قابلیت گونه‌های قارچ میکوریزا جهت همزیستی با چمن‌های آگروستیس و لولیوم متفاوت بوده است (۱۹).



شکل ۶: اثر متقابل گونه‌های قارچ میکوریزا و گونه‌های چمن بر درصد کلنی‌سازی ریشه (A). اثر متقابل تنش خشکی و گونه‌های قارچ میکوریزا بر درصد کلنی‌سازی ریشه (B). ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار نداشتند. میله عمودی نشان‌دهنده خطا استاندارد است.

Figure 6. Interaction between mycorrhizae fungi species and grass species on root colonization percent (A). Interaction between mycorrhizae fungi species and drought stress on root colonization percent (B). Bars with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan test. Vertical bars represent standard errors.

میزان تولید اسپور و همچنین غنای گونه‌ای قارچ میکوریزا در اقلیم‌های خشک کمتر از سایر اقلیم‌ها است و تولید اسپور با افزایش خشکی، کاهش بیشتری یافته است (۶). با کاهش رطوبت خاک کمیت و کیفیت ترشحات ریشه‌ای تغییر می‌کند که بر جوانه‌زنی اسپور موثر است و کاهش رطوبت خاک همچنین به طور مستقیم بر جوانه‌زنی اسپور موثر است (۴۹). اثر رطوبت خاک بر جوانه زدن اسپور در گونه‌ها و جنس‌های مختلف قارچ میکوریزا متفاوت است (۱۸). پتانسیل رطوبتی ۰/۵- تا ۲/۲- مگا پاسکال از جوانه زنی اسپور گونه‌های گلوموس موسه‌آ و گلوموس اینترآدیسز ممانعت کرده است (۱۳). در شرایط تنش خشکی دسترسی به فسفر برای گیاه مشکل‌تر است لذا تمایل گیاه برای همزیستی با میکوریزا در چنین شرایطی بیشتر است (۶). به احتمال زیاد علت افزایش درصد کلنی‌سازی ریشه‌ی آگروپیرون و پوآی چندساله‌ی همزیست با گونه‌های گلوموس کلاروم و گلوموس فسیکولاتوم تحت تنش خشکی ناشی از نیازمندی بیشتر گیاه به قارچ جهت تامین فسفر مورد نیاز خود باشد. اما کاهش درصد کلنی‌سازی چمن‌هایی که همزیستی خوبی با میکوریزا داشتند می‌تواند به جهت کاهش میزان کربوهیدرات در دسترس و همچنین کاهش میزان تولید و جوانه‌زنی اسپور قارچ باشد.

نتیجه‌گیری کلی

هر دو گونه چمن با گونه‌های قارچ میکوریزا همزیستی نشان دادند. بالاترین درصد کلنی‌سازی ریشه را چمن آگروپیرون با گونه‌ی گلوموس موسه‌آ و کمترین درصد کلنی‌سازی را چمن پوآی چندساله با گونه‌ی گلوموس کلاروم داشتند. تنش خشکی درصد کلنی‌سازی گونه‌ی گلوموس موسه‌آ با ریشه‌ی هر دو گونه‌ی چمن را کاهش ولی درصد کلنی‌سازی گونه‌های گلوموس کلاروم و گلوموس فسیکولاتوم

با ریشه آن‌ها را افزایش داد. در شرایط تنش خشکی الگوی افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز با کاتالاز متفاوت بود به طوری که در کاتالاز با افزایش تنش تا رطوبت ۵۵ درصد ظرفیت زراعی فعالیت کاتالاز افزایش یافت و با افزایش هرچه بیشتر سطح تنش تا رطوبت ۳۰ درصد ظرفیت زراعی این فعالیت کاهش یافت ولی فعالیت دو آنزیم دیگر با افزایش شدت تنش تا بالاترین سطح، افزایش نشان دادند. قارچ میکوریزا بویژه در شرایط تنش خشکی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، میزان پرولین و پروتئین را افزایش ولی میزان مالون‌دی‌آلدهید را کاهش داد. به طوری که در چمن آگروپیرون، قارچ گلوموس موسه‌آ و در چمن پوآی چندساله، قارچ گلوموس کلاروم سبب بیشترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز گردیدند. در بالاترین سطح تنش چمن‌های همزیست با قارچ گلوموس موسه‌آ بیشترین فعالیت پراکسیداز را دارا بودند در حالی که در تنش ملایم بیشترین فعالیت آنزیم در برگ چمن‌های همزیست با قارچ گلوموس فسیکولاتوم مشاهده شد. در چمن آگروپیرون، در شرایط تنش ملایم چمن‌های همزیست با قارچ گلوموس موسه‌آ بیشترین فعالیت کاتالاز را دارا بودند. گونه‌ی گلوموس موسه‌آ سبب گردید که میزان پرولین برگ چمن در بالاترین سطح تنش خشکی بیش از ۱۳۰ درصد نسبت به شرایط بدون قارچ افزایش ولی میزان مالون‌دی‌آلدهید بیش از ۳۲ درصد کاهش یابد. در مجموع میکوریزا توانست با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و میزان پرولین اثرات سوء تنش خشکی بر صفات زیست - شیمیایی برگ چمن مانند پراکسیداسیون لپید را کاهش دهد و بدینوسیله مقاومت چمن‌های سردسیری مورد مطالعه را به تنش اکسیداتیو افزایش دهد. تاثیر گونه‌های میکوریزا بر چمن‌های رشد یافته تحت شرایط تنش خشکی متفاوت بود و بیشترین میزان تاثیر مثبت را گونه گلوموس موسه‌آ داشت.

منابع

1. Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. *Methods Enzymol.* 105: 121-126.
2. Allen, R.D. 1995. Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. *Plant Physiol.* 57: 1049-1054.
3. Alizadeh, A. 2004. Soil and plant water relationships. Imam Reza Univ. Press. (In Persian)
4. Aslani, Z., Hassani, A., Rasooli Sadaghiyani M., Sefidkon, F. and Barin, M. 2011. Effect of two fungi species of arbuscular mycorrhizal (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*) on growth, chlorophyll contents and P concentration in Basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. *Iran. J. Med. Aromat. Plants.* 27: 3. 471-486. (In Persian)
5. Amiri Nasab, K., Ghasemnezhad, M., Zakizadeh, H. and Biglouei, M.H. 2015. Effect of drought preconditioning on antioxidant enzymes activity and reducing drought stress damage in two turfgrass species, creeping bentgrass and tall fescue. *Iran J. Hort. Sci.* 45: 429-440.
6. Auge, R.M. 2001. Water relation, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza.* 11: 3-42.
7. Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil.* 39: 205-207.
8. Bian, S. and Jiang, Y. 2009. Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of Kentucky bluegrass in response to drought stress and recovery. *Sci. Hort.* 120: 264-270.
9. Blokhin, O., Virolainen, E. and Fagerstedt, K. 2003. Antioxidant oxidative damage and oxygen deprivation stress. *Ann. Rev. Bot.* 91:179-194.
10. Bradford, M.M. 1976. A dye binding assay for protein. *Anal. Biochem.* 72:248-254.
11. Chance, B. and Maehly, C. 1955. Assay of catalase and peroxidases. *Methods Enzymol.* 2: 764-775.
12. Di, J.J. and Allen, E.B. 1991. Physiological responses of six wheatgrass cultivars to mycorrhizae. *J. Range Manage.* 44: 336-341.
13. Douds, D.D. and Schenck, N.C. 1991. Germination and hyphal growth of vsm fungi during and after storage in soil at five matric potentials. *Soil Biol. Biochem.* 23:2. 177-183.
14. Esmaeelpour, B., Jalilvand, P. and Hadian, J. 2013. Effect of drought stress and mycorrhizal fungi on some morpho-physiological traits and performance of Summer Savory (*Satureja hortensis* L.). *J. Agroecol.* 5: 2. 169-177. (In Persian)
15. Feierabend, J. 2005. Catalases in plants: molecular and functional properties and role in stress defence. P 101-140, In: N. Smirnov (eds.) *Antioxidants and reactive oxygen Species in plants*, Blackwell Publishing Ltd.
16. Gemma, J.N., Koske R.E., Roberts E.M., Jackson, N. and De Antonis, K.M. 1997. Mycorrhizal fungi improve drought resistance in creeping bentgrass. *J. Turfgrass Sci.* 73: 15-29.
17. Ghasempour, H.R. and Kianian, J. 2001. Drought stress induction of free proline, total proteins, soluble sugars and its protein profile in drought tolerant grass *Sporobolus elongatus*. *J. Sci. (KHU).* 1: 2. 111-118.
18. Giovannetti, M. 2000. Spore germination and pre-symbiotic mycelial growth. P 47-68, In: Y. Kapulnik and D.D. Douds (eds.), *Arbuscular mycorrhizas: physiology and function*. Dordrecht: Springer Netherlands.
19. Gollotte, A., Van Tuinen, D. and Atkinson, D. 2004. Diversity of Arbuscular mycorrhizal fungi colonising roots of the grass species *Agrostis capillaris* and *Lolium perenne* in a field experiment. *Mycorrhiza.* 14: 2. 111-117.
20. Hare, P.D., Cress, W.A. and Van Staden, J. 1998. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant Cell Environ.* 21: 535-553.
21. Heath, R.L. and Parker, L. 1968. Photo peroxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Arch. Biochem. Biophys.* 125: 189-198.
22. Huang B. and Fry J.D. 2004. *Applied turfgrass science and physiology*. 1th Ed. John Wiley, New York. 320 p.

23. Irigoyen, J.J., Einerich, D.W. and Sanchez, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiol. Plant.* 84:58-60.
24. Jacobsen, I., Abbott, L.K. and Robson, A. 1992. External hyphae of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trofoluim subterraneum* L. I. Spread of hyphae and phosphorus inflow into roots. *New Phytol.* 120: 371-380.
25. Jinrong L., Xiaorong X., Jianxiong D., Jixiong S. and Xiaomin B. 2008. Effects of simultaneous drought and heat stress on Kentucky bluegrass. *Sci. Hort.* 115: 190-195.
26. Kafi, M., Daneshvar Hakimi Meybodi, N., Nikbakht A., Rejali, F. and Deneshkhah, M. 2013. Effect of humic acid and mycorrhiza fungi on some characteristics of "Speedy green" perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *J. of Sci. Technol. Greenh. Culture.* 4: 13. 49-59. (In Persian)
27. Kafi, M. and Kaviani, S.H. 2002. Establishment management and turf maintenance. Cultural and Artistic Institution Shaghayegh Rusta, 230p. (In Persian)
28. Khanna-Chopra, R. and Selote D.S. 2007. Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than susceptible wheat cultivar under field conditions. *Environ. Exp. Bot.* 60: 276-283.
29. Khalighi Jamal-Abad, A. and Khara, J. 2009. The effect of arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* on some growth and physiological parameters in wheat (cv. Azar2) plants under cadmium toxicity. *Iran. J. Biol.* 21: 5. 216-230. (In Persian)
30. Lu S., Wang Z., Niu Y., Guo Z. and Huang, B. 2008. Antioxidant responses of radiation-induced dwarf mutants of Bermuda grass to drought stress. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 133, 360-366.
31. Mcgonigle T.P., Miller M.H., Evans D.G., Fairchild G.L. and Swan, J.A. 1990. A new method which gives an objective-measure of colonization of roots by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 115: 3. 495-501.
32. Millar, A.H., and Leaver, C.J. 2000. The cytotoxic lipid peroxidation product, 4-hydroxy-2-nonenal specifically inhibits decarboxylating dehydrogenase in the matrix of plant mitochondria. *FEBS Letters.* 481: 117-121.
33. Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidant and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 7: 405-415.
34. Mittler, R. and Poulos, T.L. 2005. Ascorbate peroxidase. P 87-100, In: N. Smirnoff (eds.) *Antioxidants and reactive oxygen species in plants*, Blackwell Publishing Ltd.
35. Nakano, Y. and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiol.* 22: 867-880.
36. Ondrasek, G. 2014. Water scarcity and water stress in agriculture. Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment: Volume 1. P. Ahmad and R. M. Wani. New York, NY, Springer New York, Pp: 75-96.
37. Pelletier, S. and Dionne, J. 2004. Inoculation rate of arbuscular-mycorrhizal fungi *Glomus intraradices* and *Glomus etunicatum* affects establishment of landscape turf with no irrigation or fertilizer inputs. *Crop Sci.* 44: 1. 335-338.
38. Phillips, J.M. and Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *T. Brit. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
39. Porcel, R. and Ruiz-Lozano, J.M. 2004. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. *J. Exp. Bot.* 55: 1743-1750.
40. Rahmatzadeh, S., Khara, J. and Kazemitabar, S.K. 2013. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth improvement and biochemical factors of regenerated *Catharanthus roseus* L. plants under tryptophan treatment during acclimatization process. *Iran. J. Plant Biol.* 5: (16): 27-40. (In Persian)

41. Ruiz-Lozano, J.M., Gomez, M. and Azcon, R. 1995. Influence of different *Glomus* species on the time- course of physiological plant responses of lettuce to progressive drought stress periods. *Plant Sci.* 110: 37-44.
42. Sairam, R.K. and Saxena, D.C. 2000. Oxidative stress and antioxidant in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. *J. Agron. Crop Sci.* 184: 55-61.
43. Scandalios, J.G. 1993. Oxygen stress and superoxide dismutases. *Plant Physiol.* 101: 7-12.
44. Selvaraj, T. and Chellappan, P. 2006. Arbuscular mycorrhizae: A diverse personality. *J. Cent. Eur. Agric.* 7: 349-358.
45. Şen, A. 2012. Oxidative stress Studies in Plant tissue culture. P 59-88, In: M.A. El-Missiry (eds.), *Antioxidant enzyme*, Intech, Rijeka.
46. Sharma, P. and Dubey, R.S. 2010. Protein synthesis by plants under stressful conditions. P 465-518, In: M. Pessarakli (eds.), *Handbook of plant and crop stress*, Third Edition, CRC Press.
47. Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S. and Pessarakli, M. 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *J. Bot.* 26p.
48. Shim, I.S., Momose, Y., Yamamoto, A., Kim, D.W. and Usui, K. 2003. Inhibition of catalase activity by oxidative stress and its relationship to salicylic acid accumulation in plants. *Plant Growth Reg.* 39: 3. 285-292.
49. Smith, S.E., and Read, D.J. 2008. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, London, 800p.
50. Soleymani, F. and Pirzad, A. 2015. The effect of mycorrhizal fungi on malondialdehyde concentration and some metabolic processes in hyssop (*Hyssopus officinalis*) under water deficit stress. *Iran. J. Plant Biol.* 7: 15-26.
51. Song, H. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its Mechanisms. *Elec. J. Biol.* 1: 3. 44-48.
52. Tatari, M., Fotouhi Ghazvini, R., Etemadi, N., Ahadi, A.M. and Mousavi, A. 2013. Study of some physiological responses in three species of turfgrass in drought stress conditions. *J. Plant Prod. Res.* 20: 1. 63-88. (In Persian)
53. Tatari, M., Fotouhi Ghazvini, R., Etemadi, N., Ahadi, A.M. and Mousavi, A. 2013. A study of morphological, physiological and biochemical responses of *Poa pratensis* L. (Kentucky bluegrass) cv. 'Barimpala' to drought stress conditions. *Iran J. Hort. Sci.* 44: 3. 329-340. (In Persian)
54. Turkan, I., Bor, M., Ozdemir, F. and Koca, H. 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought - tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Sci.* 168: 223-231.
55. Wang, W.B., Kim, Y.H., Lee, H.S., Kim, K.Y., Deng, X.P. and Kwak, S.S. 2009. Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. *Plant Physiol. Biochem.* 47: 570-577.
56. Wu, Q.S., Srivastava, A.K. and Zou, Y.N. 2013. AMF-induced tolerance to drought stress in citrus: A review. *Sci. Hort.* 164: 77-87.
57. Zhu, X., Song, F. and Liu, S. 2001. Arbuscular mycorrhiza impacts on drought stress of maize plants by lipid peroxidation, proline content and activity of antioxidant system. *J. Food Agric. and Environ.* 9: 2. 583-587.