تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸
۴۹۵-۵۰۵
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2018.1348.1283

ارزیابی اثر قارچ میکوریزا *Glomus fascollaria* بر برخی خصوصیات مورفولوژیک، رنگیزه‌های نورساختی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاسنی (*Cichorium intybus* L.) تحت تنش خشکی

رقیه رئیسی[۱]، براتعلی فاخری[۲]، نفیسه مهدی‌نژاد[۳*]
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
۲. استاد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
۳. استادیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۳/۰۷

چکیده

به‌منظور بررسی اثر قارچ میکوریزا بر برخی خصوصیات مورفولوژیک، رنگیزه‌های نورساختی و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه کاسنی تحت تنش خشکی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل انجام شد. عوامل آزمایشی شامل تنش خشکی در چهار سطح ۹۰، ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب به‌عنوان شاهد، تنش ملایم، تنش متوسط و تنش شدید و تیمار با قارچ میکوریزا در دو سطح تلقیح با قارچ میکوریزا و عدم تلقیح با قارچ میکوریزا بود. در این بررسی وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنزیم کاتالاز، پلی فنل اکسیداز و گایاکول پراکسیداز مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی متعلق به تنش ۹۰ درصد و تلقیح با قارچ میکوریزا بود و بیشترین میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید متعلق به تنش ۹۰ درصد و تلقیح با قارچ میکوریزا بود. حداکثر فعالیت آنزیم کاتالاز، پلی فنل اکسیداز و گایاکول پراکسیداز متعلق به تیمار تنش خشکی ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و تلقیح با قارچ میکوریزا و کمترین میزان آن در گیاه شاهد بود. از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت قارچ میکوریزا آربوسکولار به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی خطرات ناشی از تنش خشکی بر رشد و عملکرد گیاه کاسنی را کاهش می‌دهد.

***واژه‌های کلیدی*: آنزیم، خشکی، کاسنی، کلروفیل، میکوریزا**

مقدمه

کاسنی با نام علمی *Cichorium intybus* L.، گیاهی یک‌ساله، علفی و گل‌دار و متعلق به خانواده گل‌ستاره‌ای‌ها (Asteraceae) است و بومی مناطق کوهستانی آسیای مرکزی است (Malarz et al., 2002). به دلیل داشتن ترکیبات فتوشیمیایی متنوع، در طب سنتی و مدرن و همچنین به علت ارزش علوفه‌ای آن در زراعت کاربرد زیادی دارد (Bais et al., 2001). کاسنی حاوی ترکیباتی مانند آلکالوئیدها، اینولین، لاکتون‌ها، سزکوئی‌ترپن، کومارین‌ها، فلاونوئیدها، شیکوریک‌اسید و ویتامین‌ها (Nandagopal and Ranjitha Kumari, 2007)، و نیز منبع غنی از پتاسیم، کلسیم و فسفر است (Mulabagal et al., 2009). به دلیل وجود ترکیبات آنتی‌رادیکالی و آنتی‌اکسیدانی، از این گیاه برای درمان ایدز، دیابت و سرطان استفاده می‌شود (Lee and Scagel, 2010; Cook et al., 2005).

در طبیعت، گیاهان اغلب در معرض تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند، تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌ها است که بر رشد و عملکرد گیاهان تأثیر می‌گذارد (Reddy et al., 2004). به‌طور میانگین عملکرد بیش از ۵۰ درصد محصولات

* نگارنده پاسخگو: نفیسه مهدی‌نژاد. پست الکترونیک: Nmahdinezhad@uoz.ac.ir

گیاهی در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد (Zlatev and Lidon, 2012). ازجمله بارزترین اثرات خشکی در اکثر گیاهان می‌توان به تخریب کلروپلاست و کاهش محتوای کلروفیل برگ اشاره کرد (Kafi et al., 2003). همچنین تنش خشکی با کاهش سطح برگ و هدایت روزنه‌ای به‌طور مستقیم بر فرایندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز اثر گذاشته و با ممانعت از ورود دی‌اکسید کربن به داخل روزنه‌ها منجر به کاهش میزان فتوسنتز گردد (Auge et al., 2015). تنش خشکی با احیای ناقص اکسیژن در فرایندهای فتوسنتز و تنفس از طریق افزایش انتقال الکترون به مولکول اکسیژن، باعث شکل‌گیری گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود (Asada, 1999)، گیاهان برای کاهش دادن اثر مخرب گونه‌های اکسیژن فعال سازوکارهای متفاوتی دارند ازجمله این سازوکارها می‌توان به سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی از طریق آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، پلی فنل اکسیداز، گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز اشاره کرد (Agarwal and Pandey, 2004). آنتی‌اکسیدان‌ها مولکول‌هایی هستند که مانع از فعالیت رادیکال‌های آزاد می‌شوند و از تخریب سلول‌ها جلوگیری می‌کنند. این مواد می‌توانند با دادن الکترون به رادیکال آزاد، آن را به شکل پایدار خود تبدیل کنند و مانع از اثرات مخرب آن شوند (Blokhin et al., 2003). تحمل به تنش خشکی با تغییر متابولیسم آنتی‌اکسیدان در گونه‌های گیاهی مختلف ازجمله گیاهان علفی و چندساله همراه است (DaCosta and Huang, 2007). در سال‌های اخیر به علت تغییر شرایط آب و هوایی تنش خشکی شدیدتر شده است. بر این اساس بررسی مکانیسم‌های که گیاهان را قادر می‌سازد تا با تنش خشکی سازش پیدا کند، درنهایت می‌تواند به تولید گیاهان مقاوم به تنش در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک کند (Hassani et al., 2003).

قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار از مهم‌ترین قارچ‌های اندومیکوریزا می‌باشند که با بیش از ۹۰ درصد گیاهان زراعی ارتباط همزیستی برقرار می‌کنند. قارچ‌های میکوریزا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ریزجانداران خاک با گستره وسیعی از گیاهان همزیست هستند (Smith and Read, 2010) و با انتشار شبکه‌ی گسترده هیف‌های خارجی خود به درون خاک به‌طور مستقیم باعث بهبود تغذیه گیاهان از طریق جذب عناصر غذایی مانند فسفر (Maiquetia et al., 2009)، روی (Burkert and Robson, 1994) و جذب آب توسط گیاه می‌شود و همچنین به‌طور غیرمستقیم در تنش‌های زیستی (بیماری‌های گیاهی) و غیر زیستی (شوری، خشکی، فلزات سنگین و غیره)، سبب افزایش رشد گیاه می‌شوند (Feng et al., 2002). همزیستی قارچ علاوه بر بهبود تغذیه گیاه قادر است از راه‌های مختلف مانند افزایش سطوح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و حفظ رنگیزه‌های کلروفیلی (Zarea, 2012) اثرهای منفی تنش‌های محیطی در گیاه میزبان را کاهش دهد. به‌طور مثال باعث کاهش اثر تنش شوری (Evelin et al., 2009) و تنش خشکی در گیاه میزبان می‌شود (Sun, 2010). در مطالعه‌ای که روی تأثیر قارچ میکوریزا بر فعالیت ترکیبات فنلی، تانن و آنتی‌اکسیدان در گیاه سنبل انجام دادند نتایج نشان داد که قارچ میکوریزا باعث افزایش فنل و تانن و همچنین باعث تحریک فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه می‌شود (Jugran et al., 2015). همچنین در مطالعه‌ای که روی کاهو تلقیح شده با قارچ میکوریزا تحت تنش خشکی انجام شد نتایج نشان داد که گیاهان تلقیح یافته با قارچ میکوریزا در شرایط تنش خشکی نسبت به گیاهان تلقیح نشده با قارچ میکوریزا (شاهد) از محتوای کلروفیل بیشتری برخوردار بودند (Sabramanianand and Charest, 1999). در این پژوهش به بررسی تأثیر قارچ میکوریزا بر برخی خصوصیات مورفولوژیک، میزان رنگیزه‌های نورساختی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در کاسنی تحت تنش خشکی پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور برر سی اثر قارچ میکوریزا بر رنگیزه‌های نور ساختی و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی کاسنی تحت تنش خشکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به صورت گلدانی در گلخانه پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل در سال ۱۳۹۵ انجام شد. عوامل آزمایشی شامل چهار سطح تنش خشکی ۹۰ (شاهد)، ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار قارچ میکوریزا *Glomus fascollaria* در دو سطح تلقیح و عدم تلقیح بود. پس از آماده‌سازی خاک در داخل هر گلدان ۴ کیلوگرم خاک با نسبت مساوی خاک زراعی و ماسه (Tarahomi et al., 2011) دارای بافت لومی رسی قرار داده شد. گلدان‌های مورداستفاده از نوع پلاستیکی با قطر دهانه ۲۳ سانتی‌متری و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر بودند. قبل از کاشت مقدار ۵۰ گرم از قارچ میکوریزا (از شرکت زیست فناور توران تهیه شد) به خاک هر گلدان اضافه شد و سپس بذرها در عمق یک سانتی

متر خاک کشت شدند (در هر گلدان چهار بذر). بعد از سبز شـــدن، بوته‌ها در طی چند مرحله تنک گردید و درنهایت، داخل هر گلدان دو بوته نگهداری شـــد. از زمان کاشـــت تا ابتدای هفته پنجم، گلدان‌ها به‌طور مرتب روزی ســـه بار آبیاری گردید. از ابتدای هفته پنجم در مرحله‌ی ۴ تا ۶ برگی، تنش خشکی به روش وزنی اعمال شد.

به‌منظور تعیین منحنی رطوبتی، دو نمونه از خاک موردنظر به آزمایشگاه منتقل شد، نمونه‌های خاک اشباع روی صفحات اشباع‌شده دستگاه فشاری قرار داده شد. با ایجاد مکش توسط دستگاه صفحات فشاری، خاک تحت تنش قرار گرفت. بدین ترتیب در دو نمونه خاک، پتانسیل‌های آبی مدنظر ایجاد گردید. بعد از ۲۴ ساعت نمونه‌ها به دستگاه آون برده شده و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید. بدین گونه در دو پتانسیل، درصد رطوبت وزنی خاک با استفاده از فرمول (۱) تعیین شد.

درصد رطوبت وزنی٪ =
وزن خشک / وزن خشک- وزن مرطوب ×۱۰۰ [۱]

در یک دستگاه محور مختصات مقادیر رطوبت و پتانسیل نسبت به یکدیگر رسم و بدین ترتیب منحنی رطوبتی خاک ترسیم گردید. تا ۲۸ روز پس از کاشت، گلدان‌ها به مقدار مساوی آبیاری گردیدند و از این مرحله به بعد، برای محاسبه میزان آب موردنیاز هر گلدان از روش توزین گلدان‌ها و تعیین میانگین آن به‌عنوان آب مصرفی تیمارها، استفاده گردید (Daneshmandi and Azizi, 2009). در طول دوره رشد، هرروزه گلدان‌ها با ترازوی حساس توزین و هر گلدان در وزن تیمار مربوطه ثابت نگه‌داشته شد

در پایان پارامترهای رویشی شامل وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌های گیاهی در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرارگرفته و سپس وزن آن‌ها تعیین شد.

برای اندازه‌گیری کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید از روش آرنون (Arnon, 1976) استفاده شد. مقدار ۰/۱ گرم از ماده‌تر (برگ‌های تازه گیاه) گیاه را جدا کرده و در هاون چینی ریخته ۲-۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به نمونه اضافه، سپس در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه در مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد. عصاره جداشده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ را به بالون شیشه‌ای منتقل گردید. سپس مقداری از نمونه داخل بالون را در کووت اسپکتروفتومتر و سپس به‌طور جداگانه در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر برای کلروفیل a، b و کارتنوئید توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مقدار جذب قرائت گردید.

استخراج عصاره آنزیمی

به‌منظور ارزیابی فعالیت آنزیمی و پروتئین کل ابتدا استخراج عصاره آنزیمی صورت گرفت. به این منظور دودهم گرم از نمونه برگی با دو میلی‌لیتر بافر استخراج (بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH = ۷)) سائیده و به تیوپ دو میلی‌لیتر انتقال داده شدند. مخلوط حاصل به لوله‌های سانتریفیوژ انتقال داده شد و در ۸۰۰۰ rpm و دمای چهار درجه سانتی گراد به مدت ۱۰ دقیقه (Eppendorf مدل D-۳۷۵۲۰) سانتریفیوژ شدند. درنهایت فاز بالایی عصاره (سوپرناتانت) به‌دست‌آمده در داخل تیوب‌های جداگانه یک و نیم میلی‌لیتری ریخته شده و در ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. استخراج همه نمونه‌ها در مدت کوتاهی انجام و همواره از بافر تازه استفاده شد. از عصاره به‌دست‌آمده برای قرائت مقدار پروتئین کل و سنجش کمی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (CAT)، گایاکول پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز استفاده شد.

آنزیم گایاگول پراکسیداز به روش (Cam-mada and Nelson Shspra, 1999)، آنزیم پلی فنل اکسیداز به روش (Janovitz-Klapp et al., 1990) و اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز به روش بیرس و سیزر (Beers and Sizer, 1952) اندازه‌گیری شد.

آنالیزهای آماری

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ و مقایسات میانگین داده‌ها توسط آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و ترسیم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک اندام هوایی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و اثر متقابل تیمارهای قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر میزان وزن تر و خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۱). نتایج حاصل از این آزمایش نشان داده بیشترین میزان وزن تر اندام هوایی در تنش ۹۰ و

تیمار تلقیح قارچ میکوریزا با میزان ۴/۵۷ گرم و کمترین مقدار آن در تیمار تنش خشکی ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار عدم تلقیح با قارچ میکوریزا با میزان ۱/۳۵ گرم به دست آمد (جدول ۲). بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی گیاه در تنش ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار تلقیح قارچ میکوریزا با میزان ۰/۷۵ گرم و کمترین میزان آن با ۰/۲۶ گرم در تیمار تنش خشکی ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار عدم تلقیح با قارچ میکوریزا به دست آمد (جدول ۲). در تحقیقی بر روی کاهو در شرایط تنش خشکی و تیمار با قارچ میکوریزا، وزن‌تر گیاهان میکوریزای نسبت به گیاهان شاهد بیشتر بود و همچنین اثر تلقیح قارچ میکوریزا بر وزن خشک شاخساره کاهو نشان داد که بیشترین میزان وزن خشک در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا و کمترین میزان در گیاهان شاهد به دست آمد (Azcon et al., 2008). تنش خشکی منجر به کاهش قابل‌توجه بیوماس ماده خشک گیاه کاهو می‌شود. به نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی توسعه سلولی کاهش‌یافته و این امر منجر به کاهش رشد و وزن تر شاخساره گیاهان می‌شود، کاهش وزن تر شاخساره می‌تواند به دلیل کاهش سطح برگ، فتوسنتز، ساخت و انتقال مواد است (Ruiz-Lozano et al., 2001).

وزن تر و خشک ریشه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و اثر متقابل تیمارهای قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر میزان وزن تر و خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۱). نتایج آزمایش‌های ما نشان داد بیشترین میزان وزن تر ریشه در تنش ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار تلقیح قارچ میکوریزا با میزان ۶/۶۵ گرم و کمترین میزان آن با ۱/۸۳ گرم در تیمار تنش خشکی ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار عدم تلقیح با قارچ میکوریزا به دست آمد (جدول ۲). بیشترین میزان وزن خشک ریشه در تنش ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار تلقیح قارچ میکوریزا با میزان ۲/۲۲ گرم و کمترین میزان آن با ۰/۳۶ گرم در تیمار تنش خشکی ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار عدم تلقیح قارچ میکوریزا به دست آمد (جدول ۲). پسرکلی و همکاران (Pessarakli et al., 1998) و باهر و همکاران (Baher et al., 2002) کاهش وزن خشک ریشه، ساقه و برگ را در گیاهان لوبیا و مرزه را در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. دلیل آن را چنین توجیه کرده‌اند که رشد کم، یک حالت سازگار کننده برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش است، به این دلیل که گیاه، مواد غذایی و انرژی را به‌جای استفاده برای رشد شاخساره‌ها به سمت مولکول‌های نگه‌دار کننده در برابر تنش هدایت می‌کند (Khalid, 2006) نتایج سایر تحقیقات نشان داده است که در اثر کم شدن میزان آب درون خاک، رشد ریشه و درنتیجه آن وزن گیاه کاهش می‌یابد. گیاه در برابر خشکی،

جدول ۱. تجزیه واریانس محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، برخی صفات فیزیولوژیکی و برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاسنی تیمار شده با قارچ میکوریزا تحت تنش خشکی

Table 1. Analysis of variance of photosynthetic pigmentation, of some physiological and some antioxidant enzymes of chicory treated with mycorrhiza fungi under drought stress

			میانگین مربعات (MS)				
S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	وزن تر ساقه Shoot fresh weight	وزن خشک ساقه Shoot dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	کلروفیل a Chlorophyll a
Drought	خشکی	1	13.5**	0.71**	35.89**	6.77**	134.5**
Mycorrhiza	میکوریزا	3	23.18**	0.1**	56.76**	3.94**	134.5**
Mycorrhiza× Drought	خشکی×میکوریزا	3	0.37**	0.04**	4.54**	0.11**	2.12*
Error	خطا	46	0.01	0.02	0.03	0.03	0.34
CV (%)	ضریب تغییرات (٪)	-	*4.57*	*4.70*	*5.23*	*2.24*	*3.69*

* و** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و ns عدم معنی‌داری

* and ** non- significant, significant at the 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ۱. ادامه

Table 1. Continued

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS) کلروفیل b Chlorophyll b	کارتنوئید Carotenoid	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاتالاز Catalase	پلی فنول اکسیداز Polyphenol oxidase	گایاکول پراکسیداز Guaiacol peroxidase
Drought	**خشکی**	1	18.20**	14.56**	106.73**	730.43**	0.71**	153.99**
Mycorrhiza	**میکوریزا**	3	18.20**	14.56**	106.73**	5285.9**	1.93**	925.3**
Mycorrhiza× Drought	**خشکی×میکوریزا**	3	0.84**	0.46**	12.48*	269.48**	0.03**	72.38**
Error	**خطا**	46	0.01	0.008	0.45	0.66	0.008	0.27
CV (%)	**ضریب تغییرات (٪)**	-	*1.70*	*1.84*	*2.27*	*1.85*	*1.8*	*3.46*

* و** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و ^{ns} عدم معنی‌داری

* and ** non- significant, significant at the 5 and 1% probability levels, respectively

ترجیح می‌دهد بیشتر تولید فتوسنتز خود را به تجمع ماده خشک در ریشه اختصاص دهد تا این ماده را در ساقه و اندام هوایی ذخیره کند، زیرا با این کار توانایی خود را برای جذب مقدار بیشتری از آب موجود در خاک حفظ خواهد کرد (Asseng et al., 1998; Gregory et al., 1991). کمبود آب در هر مرحله از رشد گیاه، جذب، انتقال و مصرف عناصر غذایی را کاهش می‌دهد که پیامد آن کم شدن ذخیره کربن و کاهش ماده خشک است (Hu and Schmidhalter, 2005). درنتیجه میکوریزا با افزایش جذب آب و مواد غذایی و فتوسنتز برگ، اختصاص کربن به ریشه در افزایش وزن خشک ریشه مؤثر است.

کلروفیل a، b و کل

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و اثر متقابل تیمارهای قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر محتوای کلروفیل a و کلروفیل کل در سطح احتمال ۵ درصد و کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۱). با توجه با نتایج به‌دست‌آمده از برهمکنش تیمار قارچ میکوریزا و تنش خشکی بیشترین میزان کلروفیل a در تنش ۹۰ درصد (شاهد) و تلقیح با قارچ با میانگین ۲۱/۹۸ (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) و کمترین میزان کلروفیل a در تیمار تنش خشکی ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم تلقیح با قارچ با میانگین ۱۲/۸۳ (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) به دست آمد (جدول ۲). بیشترین میزان کلروفیل b در تنش ۹۰ درصد (شاهد) و تلقیح با قارچ میکوریزا با میانگین ۸/۳۲ (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) و کمترین میزان کلروفیل b در تیمار تنش خشکی ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم تلقیح با قارچ با میانگین ۴/۹۵ (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) به دست آمد (جدول ۲). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از برهمکنش تیمار قارچ و تنش خشکی بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار تنش ۹۰ درصد (شاهد) و تلقیح با قارچ با میانگین ۳۵/۴۲ (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) و کمترین میزان کلروفیل در تیمار تنش خشکی ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم تلقیح با قارچ با میانگین ۲۳/۶۷ (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) به دست آمد (جدول ۲). نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق با نتایج موراس و همکاران (Morase et al., 2004) در گیاه پودوفیلوم[1] و کریشنا و همکاران (Krishna et al., 2005) در گیاه انگور (*Vitis vinifera L.*) مطابقت داشت. در گیاه آفتابگردان تنش خشکی از طریق فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز در گیاه باعث تخریب کلروپلاست و کاهش میزان کلروفیل شد (Misra and Sricastatva, 2000).

به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر محتوای کلروفیل گیاه ریحان مشخص شد که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل در این گیاه داشت، با افزایش شدت تنش خشکی محتوای کلروفیل a و b کاهش پیدا کرد (Aslani et al., 2011). در گیاه ذرت تلقیح قارچ میکوریزا باعث افزایش میزان کلروفیل می‌گردد، افزایش در میزان کلروفیل را به افزایش جذب نیتروژن توسط قارچ میکوریزا می‌توان نسبت داد (Tang et al., 2009). گزارش شده است که

[1] *Podophyllum peltatum L.*

محتوای کلروفیل در گیاهچه‌های تانجرین[۲] تلقیح شده با قارچ تحت شرایط آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری با محتوای کلروفیل در گیاهچه‌های تلقیح نشده با قارچ میکوریزا داشت، همچنین در شرایط تنش خشکی شدید نیز کلروفیل در گیاهچه‌های تلقیح شده با قارچ میکوریزا بیشتر از گیاهان تلقیح نشده با قارچ میکوریزا بود (Wu and Xia, 2006). در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا با افزایش تنش خشکی قارچ میکوریزا میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی را افزایش می‌دهد و باعث کاهش اثرات تنش خشکی بر روی گیاه می‌شود (Bijani et al., 2015). تحقیقات نشان داده است قارچ‌های میکوریزا می‌توانند موجب افزایش در هدایت روزنه‌ها و فتوسنتز و درنهایت افزایش در غلظت کلروفیل a و b در گیاهان پس از تنش خشکی شوند (Selvaraj and Chellappan, 2006).

جدول ۲. مقایسه میانگین محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، برخی صفات فیزیولوژیکی و برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاسنی تیمار شده با قارچ میکوریزا تحت تنش خشکی

Table 2. Mean comparisons of the average content of photosynthetic pigments, of some physiological and some antioxidant enzymes in chicory treated with mycorrhiza fungus under drought stress.

تیمار قارچ میکوریزا Mycorrhiza fungus	تیمار تنش خشکی (٪ از ظرفیت زراعی) Drought (% FC)	وزن تر ساقه Shoot fresh Weight	وزن خشک ساقه Shoot dry weight	وزن تر ریشه Root fresh Weigh	وزن خشک ریشه Root dry weight	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b
	(%)	---------- (g plant^{-1}) ----------				-------- (µmol g FW^{-1}) -------	
Non Mycorrhiza (عدم تلقیح قارچ میکوریزا)	30	1.35g	0.26f	1.83f	0.36h	12.83f	4.95f
	50	1.97f	0.31e	2.20e	0.75g	15.44e	5.78e
	70	2.54d	0.41d	2.71d	1.05e	17.3de	6.39d
	90	3.05c	0.70b	4.05c	1.66b	20.1b	7.37c
Mycorrhiza (تلقیح قارچ میکوریزا)	30	2.22e	0.27fe	2.23e	0.64f	16.33de	5.64e
	50	2.96c	0.39d	3.86c	1.20d	18.01c	6.53d
	70	3.70b	0.56c	5.16b	1.46c	20.29b	8.02b
	90	4.57a	0.75a	6.65a	2.22a	21.98a	8.32a

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

تیمار قارچ میکوریزا Mycorrhiza fungus	تیمار تنش خشکی Drought	کارتنوئید Carotenoid	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاتالاز Catalase	پلی فنول اکسیداز Polyphenol oxidase	گایاکول پراکسیداز Polyphenol oxidase
	(%)	---------- (µmol g FW^{-1}) ----------			---------- (u/ml) ----------	
Non Mycorrhiza (عدم تلقیح قارچ میکوریزا)	30	3.90g	23.67f	62.04b	5.30b	20.97b
	50	4.40f	25.25e	37.66d	4.94c	13.47d
	70	4.87d	29.87c	34.11e	4.74d	11.50e
	90	5.05c	31.39b	28.82f	4.46e	7.46g
Mycorrhiza (تلقیح قارچ میکوریزا)	30	4.61e	27.49d	72.88a	5.49a	28.15a
	50	5.03c	29.11c	52.62c	5.05c	18.93c
	70	5.78b	34.87a	33.37e	4.92c	11.57e
	90	6.40a	35.42a	29.24f	4.78d	8.47f

*میانگین دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون چند دامنه دانکن (P≤ ۰/۰۵) و (P≤ ۰/۰۱) تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

*The mean of the common alphabets in each column based on Duncan's multiple range test (p≤0.05) and (p≤0.01) do not differ significantly

[۲] *Citrus tangerine*

کارتنوئید

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و اثر متقابل تیمارهای قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر محتوای کارتنوئید در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۱). با توجه به نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمار قارچ و تنش خشکی، بیشترین میزان کارتنوئید در تیمار تنش ۹۰ درصد و تلقیح با قارچ با میانگین ۶/۴۰ (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) و کمترین میزان کلروفیل b در تیمار تنش خشکی ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم تلقیح با قارچ با میانگین ۹۰/ ۳ (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) به دست آمد (جدول ۲). گزارش‌شده در گیاهان گوجه‌فرنگی تلقیح شده با قارچ میکوریزا محتوای کارتنوئید نسبت به گیاهان تلقیح نشده با قارچ افزایش یافت (Abdel Latef and chaoxing, 2011). کارتنوئیدها به‌عنوان رنگیزه‌های جذب‌کننده نور در فتوسنتز عمل می‌کنند، می‌توانند به‌عنوان یک عامل آنتی‌اکسیدانی در از بین بردن اثر رادیکال‌های آزاد در گیاه به کار بروند و درنتیجه موجب بهبود تنش‌های اکسیداتیو واردشده بر گیاه طی سازگاری می‌شود (Krishna et al., 2005; Kapoor et al., 2008).

آنزیم کاتالاز (CAT)

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و اثر متقابل تیمارهای قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر آنزیم کاتالاز در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۱). نتایج نشان داد در برهمکنش تیمار قارچ میکوریزا و تنش خشکی بیشترین میزان آنزیم کاتالاز در تیمار تنش خشکی ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و تلقیح با قارچ با میانگین ۷۲/۸۸ (یونیت بر پروتئین) و کمترین میزان آن در تیمار تنش ۹۰ درصد (شاهد) و عدم تلقیح با قارچ با میانگین ۲۸/۸۲ (یونیت بر پروتئین) به دست آمد (جدول ۲). نتایج این تحقیق با یافته‌های بکانا و همکاران (Becana et al., 2000) هم‌خوانی دارد که گزارش کردند فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا آربوسکولار نسبت به گیاهان تلقیح نشده افزایش بیشتری داشته است. در مطالعات انجام‌شده روی گیاه زوفا بالاترین فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا تحت تنش خشکی به دست آمد (Suleimani and Pirzad, 2016). تولید گونه‌های فعال اکسیژن از مهم‌ترین عوامل آسیب‌رسان به سیستم فتوسنتزی در شرایط تنش‌های محیطی ازجمله تنش خشکی است. یکی از راه‌های مقابله گیاهان برای کاهش آثار مخرب گونه‌های اکسیژن فعال، تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان است که در این میان کاتالاز، گایاکول‌پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز از مهم‌ترین آنزیم‌های زداینده پر اکسید هیدروژن به شمار می‌آیند (Hong and Ji-Yan, 2007).

آنزیم پلی فنل اکسیداز

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و اثر متقابل تیمارهای قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر آنزیم پلی فنول اکسیداز در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۱). نتایج نشان داد در برهمکنش تیمار قارچ میکوریزا و تنش خشکی بیشترین میزان آنزیم در تیمار تنش خشکی ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و تلقیح با قارچ با میانگین ۵/۴۹ (یونیت بر پروتئین) و کمترین میزان آن در تیمار تنش ۹۰ درصد (شاهد) و عدم تلقیح با قارچ با میانگین ۴/۴۶ (یونیت بر پروتئین) به دست آمد (جدول ۲). افزایش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز تحت تنش اکسیداتیو ناشی از خشکی در لوبیا گزارش شده است (Demir and Kocacaliskan, 2001). افزایش فعالیت این آنزیم در شرایط خشکی به دلیل افزایش سوبسترای آن ازجمله ترکیبات اکسیژن فعال هست که نشان‌دهنده نقش مهم این آنزیم جهت مقابله با رادیکال‌های آزاد اکسیژن است. گزارش شده است که رقم کنجد متحمل به خشکی در شرایط تنش خشکی دارای فعالیت پلی فنل اکسیداز بیشتری بود (Fazel et al., 2007).

آنزیم گایاکول پراکسیداز

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و اثر متقابل تیمارهای قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر آنزیم گایاکول پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۱). با توجه به نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمار قارچ و تنش خشکی بیشترین میزان آنزیم گایاکول پراکسیداز در تیمار تنش خشکی ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و تلقیح با قارچ با میانگین ۲۸/۱۵ (یونیت بر پروتئین) و کمترین میزان آن در تیمار تنش ۹۰ درصد (شاهد) و عدم تلقیح با قارچ با میانگین ۷/۴۶ (یونیت بر پروتئین) به دست آمد (جدول ۲). در مطالعه‌ای که بر تأثیر تنش خشکی روی فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی در گیاه کلزا (*Brassica napus*) انجام شد گزارش شد تنش خشکی باعث افزایش فعالیت چندین آنزیم آنتی‌اکسیدانی ازجمله گایاکول

پراکسیداز می‌شود (Abedi et al., 2010). گایاکول پراکسیداز یکی از مهم‌ترین گروه‌های پراکسیداز بوده (Amiri et al., 2011) که در فعالیت‌های متابولیکی ازجمله پاسخ به تنش‌های غیرزیستی دخالت دارند (Jimenez et al., 1997). بالا بودن میزان فعالیت پراکسیدازی گیاه ممکن است با میزان تحمل به تنش‌ها مرتبط باشد. یکی از وظایف پراکسیداز، شرکت در سیستم دفاعی سلول و سم‌زدایی اکسیژن‌های واکنش‌گر است که موجب حذف آب‌اکسیژنه تولیدی به‌وسیله عوامل تنش‌زا می‌شود که قارچ‌های میکوریزا این عمل را از طریق افزایش فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر گایاکول پراکسیداز و کاتالاز انجام می‌دهند (Younesi *et al*., 2013). در مطالعه‌ای که روی گندم تلقیح شده با قارچ میکوریزا تحت تنش شوری انجام شد فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا در شرایط شاهد و شوری از گیاهان غیر میکوریزایی بالاتر بود (Younesi and Moradi, 2016).

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، با افزایش شدت تنش خشکی، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه کاهش یافت. تلقیح با قارچ میکوریزا (*Glomus fascollaria*) در زمان بروز تنش خشکی باعث کاهش خسارت تنش خشکی و افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و افزایش وزن تر و خشک ریشه شد. تلقیح گیاه کاسنی با قارچ میکوریزا در شرایط تنش خشکی با تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت مانند کاتالاز، پلی فنول اکسیداز و گایاکول پراکسیداز باعث جلوگیری از اثرات اکسیداتیو ROS شده درنتیجه می‌توان گفت کاربرد قارچ میکوریزا باعث بهبود عملکرد فیزیولوژیک و تحمل گیاه کاسنی به تنش خشکی شد.

منابع

Abedi, T., Pakniyat, H., 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Czech Journal of Genetics and Plant Breeding. 46(1), pp.27-34.

Agarwal, S., Pandey, V., 2004. Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in Cassia angustifolia. Biologia Plantarum. 48(4), 555-560.

Amiri, A., Parsa, S.R., Nezami, M., Ganjeali, A., 2011. The effects of drought stress at different phenological stages onrowth indices of chickpea (*Cicer arietinum* g L.) in greenhouse conditions. Iranian Journal of Pulses Research.1, 69-84. [In Persian with English summary]

Asada, K., 1999. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. Annual review of plant biology. 50(1), 601-639.

Aslani, Z., A. Hasani, M.H. Rasouli Sedgheiani, F. Sefidkan., M. Berom., 2011. Effect of Arbuscular mycorhiza (*Glomus intraradices* and *Glomus mosseae*) on growth, chlorophyll and phosphorus uptake in basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 27, 486-471. [In Persian with English summary]

Asseng, S., Ritchie, J.T., Smucker, A.J.M., Robertson, M.J., 1998. Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat. Plant and Soil. 201(2), 265-273.

Augé, R.M., Toler, H.D., Saxton, A.M., 2015. *Arbuscular mycorrhiza* symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. Mycorrhiza. 25(1), 13-24.

Azcón, R., Rodríguez, R., Amora-Lazcano, E., Ambrosano, E., 2008. Uptake and metabolism of nitrate in mycorrhizal plants as affected by water availability and N concentration in soil. European Journal of Soil Science. 59(2), 131-138.

Baher, Z.F., Mirza, M., Ghorbanli, M., BagherRezaii, M., 2002. The influence of water stress on plant height, herbal and essential oil yield and composition in *Satureja hortensis* L. Flavour and Fragrance Journal. 17(4), 275-277.

Bais H.P., Vepachedu, R., Gilroy, S., Callaway, R.M, Vivanco, J.M., 2001. Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and

genes to species interactions. Science. 301, 1377–1380.

Burkert, B., Robson, A. 1994. ^{65}Zn uptake in subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) by three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a root-free sandy soil. Soil Biology and Biochemistry. 26, 1117- 1124.

Cook, B.G., Pengelly, B.C., Brown, S.D., Donnelly, J.L., Eagles, D.A., Franco, M.A., Hanson, J., Mullen, B.F., Partridge, I.J., Peters, M., Schultze-Kraft, R., 2005. Tropical forages: an interactive selection tool. Lablab purpureus. CSIRO, DPI&F (Qld), CIAT, and ILRI, Brisbane, Australia. 540-542.

DaCosta, M., Huang, B., 2007. Changes in antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation for bent grass species in response to drought stress. Journal of the American Society for Horticultural Science. 132(3), 319-326.

Daneshmandi, M.S., Azizi, M.A.J.I.D., 2009. Allelopathic effect of *Eucalyptus globulus* Labill. on bermuda grass (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) germination and rhizome growth. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, *25*(3), 333-346. . [In Persian with English summary]

Delfine, S., Loreto, F., Pinelli, P., Tognetti, R., Alvino, A., 2005. Isoprenoids content and photosynthetic limitations in rosemary and spearmint plants under water stress. Agriculture, ecosystems & environment. 106(2), 243-252.

Demir, Y., Kocacaliskan, I., 2001. Effects of NaCl and proline on polyphenol oxidase activity in bean seedling. Biologia Plantarum. 44(4), 607-609.

Evelin, H., Kapoor, R., Giri, B.m 2009. *Arbuscular mycorrhizal* fungi in alleviation of salt stress: A review. Annals of Botany. 104, 1263-1280.

Fazeli, A., Ghorbani, M., Niknam, V., 2007. Effect of drought on biomass, protein content, lipid peroxdation and antioxidant enzymes in two sesame cultivars. Biologia Plantarum. 51 (1), 98-103

Feng, G., Zhang, F.S., Li, X.L., Tian, C.Y., Tang, C., 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by *arbuscular mycorrhiza* is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. Mycorrhiza. 12, 185–190.

Gianinazzi-Pearson, V., Gianinazzi, S., 1983. The physiology of vesicular-*arbuscular mycorrhizal* roots. Plant and Soil. 71, 197-209.

Gregory, P.J., Atwell, B.J., 1991. The fate of carbon in pulse-labelled crops of barley and wheat. Plant and Soil. 136(2), 205-213.

Hassani, A., Omydbygy, R., Heidari Sharief Abad, H., 2003. Effect of different soil moisture levels on growth, yield and metabolite adaptate accumulation in Basil. Journal of Soil and Water Science. 17(2), 67-76. [In Persian with English summary]

Hong, W., Ji-Yan, J., 2007. Effects of zinc deficiency and drought stress on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays L.*). Agricultural Science in China. 6(8), 988-995.

Hu, Y., Schmidhalter, U., 2005. Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 168(4), 541-549.

Jimenez, A., Hernandez, J.A., Del Río, L.A., Sevilla, F., 1997. Evidence for the presence of the ascorbate-glutathione cycle in mitochondria and peroxisomes of pea leaves. Plant Physiology. 114(1), 275-284.

Jugran, A.K., Bahukhandi A., Dhyani, P., Bhatt, I.D., Rawal, R.S., Nandi, S.K., Palni, L.M.S., 2015. The effect of inoculation with mycorrhize: AM on growth, composition and antiozxidant activity phenolies, tannins, phenolic in *Valeriana jatamansi* Jones. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 15(4), 1036-1049.

Kapoor, R., Sharma, D., Bhatnagar, A.K., 2008. *Arbuscular mycorrhizae* in micropropagation systems and their potential applications. Scientia Horticulturae. 116(3), 227-239.

Khalid, K.A., 2006. Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (*Ocimum sp*.). International Agrophysiscs. 20(4), 289-296.

Krishna, H., Singh, S.K., Sharma, R.R., Khawale, R.N., Grover, M., Patel, V.B., 2005. Biochemical changes in micropropagated grape (*Vitis vinifera* L.) plantlets due to *arbuscular-mycorrhizal* fungi (AMF) inoculation during ex vitro acclimatization. Scientia Horticulturae. 106(4), 554-567.

Lambers, H., Raven, J.A., Shaver, G.R., Smith, S.E., 2008. Plant nutrient-acquisition strategies

change with soil age. Trends in Ecology and Evolution. 23(2), 95-103.

Latef, A.A.H.A., Chaoxing, H., 2011. *Arbuscular mycorrhizal* influence on growth, photosynthetic pigments, osmotic adjustment and oxidative stress in tomato plants subjected to low temperature stress. Acta Physiologiae Plantarum. 33(4), 1217-1225.

Lee, J., Scagel, C.F., 2010. Chicoric acid levels in commercial basil (*Ocimum basilicum*) and Echinacea purpurea products. Journal of Functional Foods. 2(1), 77-84.

Maiquetia, M., Caceres, A., Herrera, A., 2009. Mycorrhization and phosphorus nutrition affect water relations and CAM induction by drought in seedlings of *clusia minor*. Annals of Botany. 103(3), 525-532.

Malarz, J., Stojakowska, A., Kisiel, W., 2002. Sesquiterpene lactones in a hairy root culture of *Cichorium intybus*. Zeitschrift für Naturforschung *C*. 57(11-12), 994-997.

Misra, A., Srivastava, N.K., 2000. Influence of water stress on Japanese mint. Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants. 7(1), 51-58.

Moraes, R.M., Andrade, Z.D., Bedir, E., Dayan, F.E., Lata, H., Khan, I., Pereira, A.M.S., 2004. Arbuscular mycorrhiza improves acclimatization and increases lignin content of micropropagated mayapple (*Podophyllum peltatum* L.). Plant Science. 166, 23-29.

Younesi, O., Moradi, A., 2016. Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungus (AMF) on antioxidant enzyme activities in salt-stressed wheat. Agricultural Crop Management. 18(1), 21-30. [In Persian with English summary]

Mulabagal, V., Wang, H., Ngouajio, M., Nair, M.G., 2009. Characterization and quantification of health beneficial anthocyanins in leaf chicory (*Cichorium intybus*) varieties. European Food Research and Technology. 230(1), 47.

Nandagopal, S., Kumari, B.R., 2007. Phytochemical and antibacterial studies of Chicory (*Cichorium intybus* L.)-A multipurpose medicinal plant. Advances in Biological Research. 1(1-2), 17-21.

Pessarakli, M., Huber, J.T., Tucker, T.C., 1989. Protein synthesis in green-beans under salt stress with two nitrogen sources. Journal of Plant Nutrition. 12(11), 1361-1377.

Reddy, A. R., Chaitanya, k. v., Vivekanandan, M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal plant physiol. 161, 1189-1202.

Rivera- Becerril, F., Calantzis, C., Turnau, K., Caussanel, J. P., Belimoy, A.A., Gianinazzi, S., Strasser, R. J., Gianinazzi- Pearson, V., 2002. Cadmium accumulation and buffering of cadmium- induced stress by *arbuscular mycorrhiza* in three *Pisum sativum* L. genotypes. Journal of Experimental Botany. 104, 1263-1280.

Ruiz-Lozano, J.M., Collados, C., Barea, J.M., Azcón, R., 2001. Cloning of cDNAs encoding SODs from lettuce plants which show differential regulation by *arbuscular mycorrhizal* symbiosis and by drought stress. Journal of Experimental Botany. 52(364), 2241-2242.

Safarnejad, A., 2008. Morphological and biochemical response to osmotic stress in alfalfa (*Medicago sativa L.*). Pakistan Journal of Botany. 40(2), 735-746.

Sajedi, N.A., Ferasat, M., Mirzakhani, M., Boojar, M.M.A., 2012. Impact of water deficit stress on biochemical characteristics of safflower cultivars. Physiology and Molecular Biology of Plants. 18(4), 323-329.

Selvaraj, T., Chellappan, P., 2006. *Arbuscular mycorrhizae*: a diverse personality. Journal of Central European Agriculture. 7(2), 349-358.

Soleimanzadeh, H., 2010. Effect of VA-Mycorrhiza on growth and yield of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) at different phosphorus levels. International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering. 71, 414-417.

Subramanian, K.S., Charest, C., 1999. Acquisition of N by external hyphae of an arbuscular mycorrhizal fungus and its impact on physiological responses in maize under drought-stressed and well-watered conditions. Mycorrhiza. 9(2), 69-75.

Sun, C., Johnson, J.M., Cai, D., Sherameti, I., Oelmüller, R., Lou, B., 2010. Piriformospora indica confers drought tolerance in Chinese cabbage leaves by stimulating antioxidant enzymes, the expression of drought-related genes and the plastid-localized CAS protein. Journal of Plant Physiology. 167(12), 1009-1017.

Tang, M., H. Chen, G.C. Huang., Z.Q. Tian., 2009. Am fungi effects on the growth and physiology of *Zea mays L.* seedlings under

diesel stress. Soil Biology and Biochemistry. 41,936- 940.

Wu, Q.S., Xia, R.X., 2006. *Arbuscular mycorrhizal* fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. Journal of Plant Physiology. 163(4), 417-425.

Younesi, O., Moradi, A., Namdari, A., 2013. Influence of arbuscular mycorrhiza on osmotic adjustment compounds and antioxidant enzyme activity in nodules of salt-stressed soybean (*Glycine max*). Acta Agriculturae Slovenica, 101(2), 219.

Zarea, M.J., Hajinia, S., Karimi, N., Goltapeh, E.M., Rejali, F., Varma, A., 2012. Effect of Piriformospora indica and Azospirillum strains from saline or non-saline soil on mitigation of the effects of NaCl. Soil Biology and Biochemistry. 45, 139-146

Zlatev, Z., Lidon, F.C., 2012. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. Emirates Journal of Food and Agriculture. 24(1), 57-72.