به‌زراعی کشاورزی
دوره ۱۹ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۶
صفحه‌های ۲۵۵-۲۴۳

بررسی پاسخ‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه کاهو در تلقیح با قارچ *Piriformospora indica* تحت تنش شوری

سجاد فتاحی [۱]، مهدی صیدی [۲]* و محمد جواد زارع [۳]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۲. دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۳. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۴

چکیده

به‌منظور بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاهان کاهو تلقیح شده\نشده با قارچ *Piriformospora indica* تحت تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه اجرا گردید. فاکتور اول شامل تلقیح یا عدم تلقیح بذور با قارچ و فاکتور دوم شامل سه سطح شوری آب آبیاری (آب معمولی با هدایت الکتریکی هشت دهم دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان شاهد و آب شور با هدایت الکتریکی چهار و هشت دسی‌زیمنس بر متر) بود. تنش شوری به طور معنی‌داری اکثر صفات رشدی را کاهش داد و *P. indica* موجب تخفیف اثرات مضر شوری گردید. افزایش وزن تر شاخساره و سطح برگ برای گیاهان تلقیح شده با *P. indica* به‌دست آمد. این گیاهان خسارت برگی کمتری در شرایط تنش نشان دادند. تلقیح با قارچ به‌طور معنی‌داری حجم و طول ریشه را در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش داد. گیاهان تلقیح شده دارای بیشترین غلظت پرولین، رنگدانه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ نسبت به گیاهان شاهد بودند. کمترین نشت یونی در گیاهان تلقیح شده با *P. indica* در هدایت الکتریکی ۴ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. این نتایج بیانگر سودمندی قارچ *P. indica* در تولید گیاه کاهو تحت تنش شوری تا سطح چهار دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. اما، در شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر تلقیح با این قارچ، نتایج مطلوبی در پی نداشت.

کلیدواژه‌ها: آنزیم کاتالاز، پرولین، تلقیح، خسارت شوری، نشت یونی

* نویسنده مسئول
Email: msaidi@ilam.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

تنش‌های محیطی مهم‌ترین عامل محدود کننده تولید محصولات کشاورزی در سطح جهانی است. شوری ۷ درصد از اراضی دنیا یعنی ۹۳۰ میلیون هکتار را تحت تأثیر قرار داده و روز به روز بر وسعت خاک‌های شور در سراسر جهان افزوده می‌شود که در این بین سهم کشورهایی که در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارند بیشتر است [۸]. در این مناطق به دلیل آبیاری زیاد (با آب شور) و تبخیر و تعرق بیش از حد نسبت به نزولات آسمانی موجب تجمع املاحی می‌شود که از طریق آب آبیاری وارد خاک شده است [۳].

اثرات زیان‌آور شوری بر گیاه در همه سطوح از کاهش تولید تا مرگ مشاهده می‌شود. تنش نمک بر همه فرآیندهای اصلی مثل رشد، فتوسنتز، سنتز پروتئین و متابولیسم چربی اثر دارد [۲۹]. در شرایط شور ابتدا توسعه سطح برگ کاهش یافته و برگ‌ها کوچک می‌شوند و در پی آن جذب نور کاهش یافته و فتوسنتز تحت تأثیر قرار می‌گیرد و در نهایت رشد کاهش می‌یابد [۳۱]. همچنین شوری موجب کاهش و توقف رشد ریشه‌ها می‌گردد [۲۷]. در شوری کاهش وزن خشک بافت گیاهی اتفاق می‌افتد که علت آن افزایش هزینه متابولیک و کاهش استفاده از کربن گیاه برای تطابق با شوری است. همچنین کاهش ارتفاع گیاه توسط شوری را می‌توان به صدمات اسمزی و اختلال در جذب املاح نسبت داد [۳۲].

تاکنون راهکارهای مختلفی از جمله ایجاد گیاهان مقاوم به شوری از طریق مهندسی ژنتیک یا از بین بردن شوری خاک از طریق شستن نمک اضافی انجام شده است اما اقتصادی نمی‌باشند [۱۵]. اخیراً استفاده از روش‌های بیولوژیکی به‌عنوان یک روش عملی برای کاهش تنش شوری پیشنهاد شده است [۱۸].

از جمله میکروارگانیزم‌های مفید و همزیست با گیاهان، قارچ‌های میکوریز هستند. همزیستی میکوریزی (قارچ-ریشه[1]) از قدیمی‌ترین همزیستی‌ها است و شواهد نشان می‌دهد که این همزیستی قدمتی بیش از ۴۰۰ میلیون سال دارد و بیش از ۹۰ درصد از گونه‌های گیاهی جنگلی و چمنزارها از این رابطه همزیستی بهره مند هستند [۱۴]. قارچ‌های میکوریزی با تولید میسیلیوم‌هایی که دارای طول بیشتر و قطر کمتر نسبت به ریشه گیاه می‌باشند امکان دسترسی به منابع، در سطوحی که ریشه قادر به نفوذ در آن نمی‌باشد را فراهم می‌آورد [۶]. قارچ اندوفیت (درون زیست) *P. indica* برای اولین بار توسط وارما و همکاران گزارش گردید که دارای خصوصیاتی مشابه قارچ‌های میکوریز می‌باشد [۳۷]. افزایش سطوح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، اسمولیت‌ها (به خصوص پرولین) و حفظ رنگیزه‌های کلروفیلی در کاربرد قارچ *P. indica* گزارش گردیده است [۳۹].

در آزمایشی کاربرد قارچ *P. indica* موجب افزایش وزن تر بوته، افزایش ارتفاع و طول ریشه گیاهان کلم پیچ و اسفناج گردید [۳۳]. همچنین این قارچ افزایش عناصر غذایی و افزایش عملکرد در گیاه رازیانه را موجب شد [۴]. در شلغم و شاهی نیز افزایش ارتفاع و وزن خشک گیاه با کاربرد قارچ *P. indica* حاصل گردید [۲۶].

شوری باعث کاهش عملکرد اکثر محصولات کشاورزی به خصوص سبزیها می‌گردد. سبزیها در مقایسه با دیگر محصولات زراعی حساسیت بالاتری به تنش شوری دارند [۱]. از جمله این سبزیها کاهو می‌باشد که در ردیف سبزیهای حساس به شوری طبقه‌بندی شده است [۱۹]. از اینرو استفاده از روش‌های مختلف برای تولید بیشتر سبزیها در مناطق شور مهم می‌باشد. استفاده از کودهای شیمیایی در اراضی شور، به خاطر افزایش

1. Fungusroot

Archive of SID
www.SID.ir

محصول مفید می‌باشد ولی مصرف کودهای شیمیایی به نوعی باعث تشدید شوری خاک می‌شود [۱۱]. در کاهو بخش اقتصادی را برگ‌ها شکل می‌دهند، این گیاه با تیپ رشدی و تحمل به شوری متفاوت می‌تواند مدل جالبی برای به کارگیری اثرات میکروارگانیزم‌های محرک رشد بر گیاه باشد. بنابراین، با توجه به اثرهای مفید میکروارگانیزم‌های مفید خاکزیست در شرایط تنش شوری این آزمایش با هدف بررسی تأثیر کاربرد قارچ *P. indica* در شرایط تنش شوری روی گیاه کاهو انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش فروردین ماه ۱۳۹۲ در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام انجام گرفت. بذرهای کاهو (*Lactuca sativa* cv. heirloom) پس از ضد عفونی سطحی با هیپوکلریت سدیم دو درصد به مدت دو دقیقه، سه مرتبه با آب مقطر استریل شسته شدند. سپس بذرها در پتری دیش استریل (تلقیح و عدم تلقیح با قارچ) روی کاغذ صافی استریل قرار داده شدند و جهت جوانه‌زنی با مقداری آب مقطر استریل به‌طوری‌که محیط را مرطوب کند آبیاری شدند. درب پتری‌دیش‌ها بسته و تا دو روز بعد که جوانه زدند در دمای ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پس از جوانه‌زنی تلقیح با قارچ صورت گرفت، به این صورت که مقداری از سوسپانسیون قارچ به پتری‌دیش مربوط اضافه گردید و بذرها پس از حدود ۴ ساعت به داخل شاسی کشت که خاک آن از قبل اتوکلاو شده بود (دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه) منتقل شدند. مایه تلقیح قارچ *P. indica* در آزمایشگاه گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام تهیه و تکثیر شد. پس از انتقال بذرهای پیش جوانه زده و تیمار شده با قارچ (تلقیح و عدم تلقیح) به شاسی کشت، مدت ۴۰ روز بعد (مرحله دو تا چهار برگی) نشاهای کاهو آماده و به گلدان‌های اصلی منتقل و در هر گلدان یک عدد نشا کشت گردید.

برای انجام این آزمایش از گلدان‌هایی با ارتفاع ۲۴ سانتیمتر و قطر دهانه ۲۴ سانتی‌متر که حدود هفت کیلوگرم مخلوط خاکی ظرفیت داشتند استفاده شد. خاک مورد استفاده با نسبت ۲:۱:۱ خاک زراعی، کود حیوانی پوسیده و ماسه بادی بود که مشخصات خاک مورد آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. پس از انتقال نشاها به گلدان اصلی، حدود دو هفته بعد، آبیاری با تیمارهای شوری آغاز گردید. آب مورد استفاده آب معمولی بود. جهت ایجاد سطوح شوری چهار و هشت دسی‌زیمنس بر متر از نمک کلرید سدیم و برای شاهد از آب معمولی (با هدایت الکتریکی هشت دهم دسی‌زیمنس بر متر و پی اچ هفت و دو دهم) استفاده گردید. برای هر گلدان در هر دفعه ۳۰۰ میلی‌لیتر از غلظت‌های تهیه شده جهت آبیاری استفاده شد. از زمان انتقال نشا تا شروع آزمایش‌ها حدود سه ماه رشد بوته‌های کاهو به طول انجامید. گلخانه محل انجام آزمایش دارای پوشش پلی‌کربنات و متوسط دمای شبانه ۱۵–۱۳ و روزانه ۲۲–۱۸ درجه سلسیوس بود.

صفات مورفولوژیک مورد اندازه‌گیری شامل وزن تر شاخساره، وزن خشک شاخساره، تعداد برگ، سطح برگ، متوسط سطح برگ، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، طول ریشه، حجم ریشه و سطح برگ خسارت دیده در اثر شوری بود. برای توزین نمونه‌ها از ترازو با دقت ۰/۰۰۱ استفاده گردید. سطح برگ نیز با دستگاه سطح‌برگ‌سنج مدل CL-203 ساخت امریکا اندازه‌گیری و یادداشت گردید. جهت اندازه‌گیری سطح برگ خسارت دیده، برگ‌های آسیب دیده در اثر شوری جدا و سطح برگ آنها با دستگاه سطح‌برگ‌سنج مذکور اندازه‌گیری شد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱. تجزیه شیمیایی عناصر قابل دسترس خاک مورد استفاده

Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	K (mg/kg)	P (mg/kg)	N (%)	pH	EC (dS/m)
۱/۰۸	۰/۶۳	۷/۹۶	۱۶/۶	۵۹۰	۷	۰/۱۸	۷	۰/۳

برخی از صفات فیزیولوژیک همزمان با اندازه گیری صفات مورفولوژیک انجام شد و تعدادی نیز پس از فریزکردن نمونه و نگهداری در ۸۰- درجه سلسیوس اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی با روش لیشتنتالر و ولبورن (۱۹۸۳) انجام گردید [۲۸]. برای استخراج و اندازه‌گیری پرولین از روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد [۱۳]. سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از محاسبه کاهش جذب H_2O_2 در ۲۴۰ نانومتر مطابق با روش توصیف شده ولیکووا و همکاران (۲۰۰۰) انجام شد [۳۸].

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی صورت گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل قارچ *P. indica* (تلقیح و عدم تلقیح) و شوری آب آبیاری (شاهد، چهار و هشت دسی‌زیمنس بر متر) بود. هر تیمار دارای سه تکرار و هر تکرار دارای دو مشاهده بود.

تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD, $P\leq0.05$) محاسبه گردید.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. تجزیه واریانس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها در صفات مورفولوژیک نشان داد که اثر قارچ بر وزن تر شاخساره، حجم ریشه، سطح برگ بوته و سطح برگ خسارت دیده در اثر شوری در سطح آماری یک درصد و وزن تر و خشک ریشه در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار و در سایر صفات معنی‌دار نگردید. اثر شوری در تمام صفات غیر از طول ریشه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد و اثر قارچ×شوری در طول ریشه و سطح برگ خسارت دیده در اثر شوری در سطح آماری پنج و یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲).

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر کاربرد قارچ *P. indica* در سطوح مختلف شوری بر صفات مورفولوژیک کاهو

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		پرولین	نشت یونی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	فعالیت کاتالاز
بلوک	۲	۴۸۵۱۹/۵۲ ns	۲۴/۱۲ ns	۰/۱۰ ns	۰/۰۰ ns	۰/۰۹ ns	۰/۰۹ ns
قارچ	۱	۶۰۵۶۶۳۶/۱۷ **	۱۱۴/۴۲ **	۱/۲۱ **	۰/۳۵ **	۲/۸۶ **	۰/۸۵ **
شوری	۲	۱۳۷۶۸۴۷۸/۹۳ **	۲۹۴۱/۲۳ **	۰/۰۰ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۲ ns	۰/۲۵ **
قارچ *شوری	۲	۱۳۱۸۱۳۸/۸۱ *	۴۰/۲۵ *	۰/۰۶ ns	۰/۰۰ ns	۰/۱۰ ns	۰/۰۳ ns
خطا	–	۲۱۳۶۹۰/۵۷	۹/۱۸	۰/۰۴۸	۰/۰۱۳	۰/۰۹۱	۰/۰۲۸
C.V	–	۲۲/۰۲	۸/۱۴	۱۶/۸۶	۲۲/۱۵	۱۶/۴۵	۱۴/۰۸

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و ns غیر معنی‌داری را نشان می‌دهد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر کاربرد قارچ *P. indica* در سطوح مختلف شوری بر صفات فیزیولوژیک کاهو

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		پرولین	نشت یونی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	فعالیت کاتالاز
بلوک	۲	۴۸۵۱۹/۵۲ ns	۲۴/۱۲ ns	۰/۱۰ ns	۰/۰۰ ns	۰/۰۹ ns	۰/۰۹ ns
قارچ	۱	۶۰۵۶۶۳۶/۱۷ **	۱۱۴/۴۲ **	۱/۲۱ **	۰/۳۵ **	۲/۸۶ **	۰/۸۵ **
شوری	۲	۱۳۷۶۸۴۷۸/۹۳ **	۲۹۴۱/۲۳ **	۰/۰۰ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۲ ns	۰/۲۵ **
قارچ *شوری	۲	۱۳۱۸۱۳۸/۸۱ *	۴۰/۲۵ *	۰/۰۶ ns	۰/۰۰ ns	۰/۱۰ ns	۰/۰۳ ns
خطا	–	۲۱۳۶۹۰/۵۷	۹/۱۸	۰/۰۴۸	۰/۰۱۳	۰/۰۹۱	۰/۰۲۸
C.V	–	۲۲/۰۲	۸/۱۴	۱۶/۸۶	۲۲/۱۵	۱۶/۴۵	۱۴/۰۸

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و ns غیر معنی‌داری را نشان می‌دهد.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح مختلف شوری بر صفات مورفولوژیک کاهو در اثر کاربرد قارچ *P. indica*

پارامترها	وزن تر شاخساره (g)	وزن خشک شاخساره (g)	وزن تر ریشه (g)	وزن خشک ریشه (g)	حجم ریشه (ρ)	سطح برگ بوته (cm^2)	سطح برگ خسارت دیده در اثر شوری (cm^2)
شاهد	۲۲۸/۴۶ a	۳۷/۶۸ a	۹۴/۱۱ a	۲۰/۲۵ a	۸۳ a	۳۴۳۹/۵۰ a	۰ c
شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر	۱۶۵/۸۴ b	۲۹/۵۷ b	۸۴/۶۴ a	۱۳/۱۴ b	۷۶/۱۶ a	۲۵۷۷/۳۳ b	۱۰۶/۵۰ b
شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر	۱۳۶/۸۶ c	۲۶/۳۰ c	۶۲/۱۸ b	۹/۰۳ c	۵۸/۴۳ b	۱۸۵۵/۶۷ c	۱۴۱/۱۶ a

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ می‌باشد.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات اصلی کاربرد قارچ *P. indica* بر صفات مورفولوژیک کاهو در سطوح مختلف شوری

پارامترها	وزن تر شاخساره (g)	وزن خشک شاخساره (g)	وزن تر ریشه (g)	وزن خشک ریشه (g)	حجم ریشه (ρ)	سطح برگ بوته (cm^2)	سطح برگ خسارت دیده در اثر شوری (cm^2)
عدم کاربرد قارچ	۱۶۸/۹±۱۴	۳۱/۲±۲/۲	۷۵/۷±۵	۱۳/۰±۱/۳	۶۷/۱±۳	۲۴۹۹±۲۴۲	۱۰۲±۲۶/۴
کاربرد قارچ	۱۸۵/۲±۱۴/۱	۳۱/۲±۱/۷	۸۴/۹±۶	۱۵/۳±۲/۱	۷۷/۹±۵	۲۷۴۹±۲۳۶	۶۳±۱۶/۴

۲.۳. وزن تر و خشک شاخساره

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش شوری وزن تر و خشک شاخساره کاهو کاهش یافت (جدول ۴). شوری موجب کاهش وزن خشک کاهو گردید که دلیل آن می‌تواند ناشی از افزایش هزینه متابولیکی گیاه برای تطابق با شوری و کاهش فتوسنتز باشد که از علل آن کاهش سطح برگ، کاهش هدایت روزنه‌ای، تجمع کلر و سدیم در اندام‌ها و یا تخریب ساختمان کلروپلاست می‌باشد [۱۰]. مقایسه میانگین اثر قارچ نشان داد که کاربرد قارچ موجب افزایش وزن تر شاخساره کاهو گردید (جدول ۵).

Archive of SID
www.SID.ir

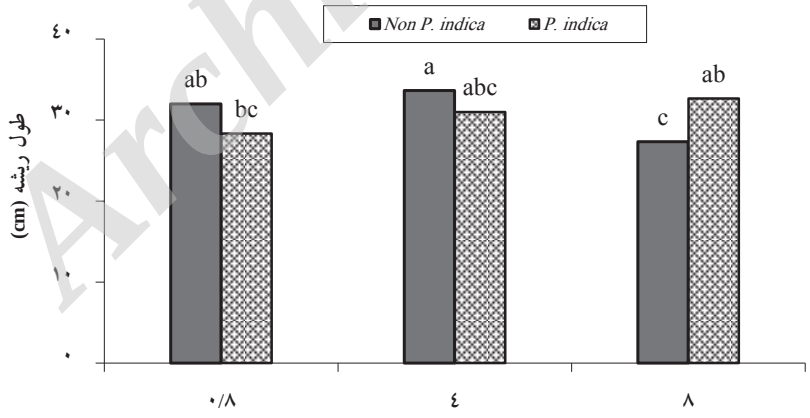
چنین نتایجی از سودمندی روابط قارچ-گیاه در سبزی‌های گشنیز، شنبلیله و هویج نیز گزارش شده است [۲۰]. افزایش وزن تر شاخساره کاهو احتمالاً به‌دلیل افزایش محتوای نسبی آب برگ است که موجب افزایش شادابی و طراوت برگ می‌شود که یکی از مزایای سبزی‌های برگی به شمار می‌آید. بنابراین، کاربرد قارچ در کاهو موجب افزایش کیفیت در این گیاه می‌شود.

۳.۳. وزن تر و خشک ریشه

با افزایش شوری وزن تر و خشک ریشه کاهو به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). همچنین کاربرد قارچ نسبت به عدم کاربرد آن موجب افزایش معنی‌دار در وزن تر و خشک ریشه کاهو گردید (جدول ۵). کاهش رشد ریشه تحت شرایط تنش شوری که در اثر افزایش پتانسیل اسمزی اطراف ریشه ایجاد می‌گردد، موجب کاهش ظرفیت جذب و انتقال آب و عناصر غذایی از خاک به طرف اندام هوایی می‌گردد [۱۰]. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که تلقیح گیاهان با قارچ‌های میکوریز موجب افزایش وزن ریشه [۲۲] می‌شود.

۴.۳. حجم و طول ریشه

با افزایش شوری روندی کاهشی در حجم ریشه کاهو مشاهده شد (جدول ۴). تلقیح با قارچ موجب افزایش حجم ریشه کاهو گردید (جدول ۵). نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین طول ریشه از گیاهان تلقیح شده با قارچ و شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر حاصل گردید (شکل ۱). اثر ساده کاربرد قارچ موجب افزایش حجم ریشه کاهو شد ولی در طول ریشه اثر معنی‌دار نداشت. به نظر می‌رسد با توجه به افشان بودن ریشه‌های کاهو، قارچ موجب افزایش ریشه‌های جانبی این گیاه گردیده است. در آزمایش‌های انجام شده کاربرد قارچ میکوریز باعث افزایش طول ریشه فلفل [۱۷] گردیده است.



شکل ۱. طول ریشه کاهو تحت تأثیر کاربرد قارچ *P. indica* در سطوح مختلف شوری.

Archive of SID
www.SID.ir

۵.۳. سطح برگ

سطح برگ کاهو با افزایش شوری به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). در آزمایشات انجام شده گزارش گردیده که شوری سطح و اندازه برگ را کاهش می‌دهد [۱۶ و ۳۰]. تحت تنش شوری توسعه سطح برگ کاهش و برگ‌ها کوچک می‌شوند و در پی کاهش سطح برگ از میزان جذب نور کاسته و ظرفیت کل فتوسنتزی کاهش می‌یابد و در نتیجه از میزان رشد به دلیل کاهش مواد پرورده فتوسنتزی کاسته می‌گردد. علاوه بر این پیر شدن سریع برگ‌ها ناشی از شوری دوام برگ را برای انجام فعالیت‌های فتوسنتزی کاهش می‌دهد [۲].

نتیجه آزمایش انجام شده نشان داد که کاهوهای تلقیح یافته با قارچ *P. indica* از سطح برگ بیشتری در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده برخوردار بودند (جدول ۵ و شکل ۲). در مطالعات دیگر روی گوجه‌فرنگی نیز افزایش سطح برگ در گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های میکوریز گزارش شده است [۱۲]. قارچ میکوریز با گسترش شبکه هیف‌های خود، افزایش جذب آب و عناصر غذایی را برای گیاه مهیا می‌کند [۹] و اثرات سوء تنش اسمزی را کاهش داده و موجب افزایش رشد و سطح برگ می‌شود.

۶.۳. سطح برگ خسارت دیده

در گیاهان آبیاری شده با آب شور (شوری چهار و هشت دسی‌زیمنس بر متر) کاهوهای تلقیح شده با قارچ در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد آن) از سطح برگ خسارت دیده کمتری برخوردار بودند (شکل ۳). خسارت شوری می‌تواند منجر به از دست رفتن کلروفیل (بی رنگ شدن برگ‌ها)، کاهش وزن خشک، کاهش توسعه برگ‌ها و آسیب به غشای سلولی گردد [۳]. قارچ میکوریز در شرایط شور با نفوذ ریسه‌های خود به ریشه‌های گیاه و محیط اطراف ریشه، با افزایش سطح جذب موجب بهبود جذب آب و املاح می‌گردد و در نتیجه سرعت رشد را افزایش می‌دهد [۳۵] و از این طریق موجب افزایش رشد کلی گیاه و کاهش خسارت ناشی از تنش شوری می‌شود. کاهش نشت یونی با کاربرد قارچ در این آزمایش نیز نشان دهنده اثر مثبت قارچ در کاهش خسارات ناشی از شوری بود (شکل ۵).

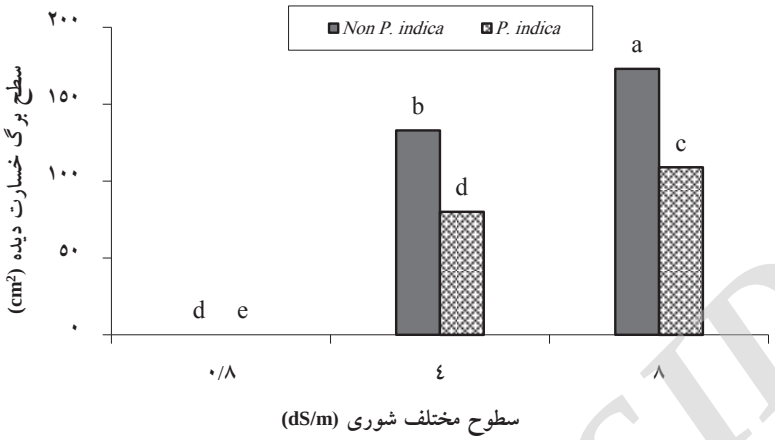
۷.۳. پرولین

نتایج نشان داد که تلقیح با قارچ موجب افزایش محتوای پرولین در شوری‌های چهار و هشت دسی‌زیمنس بر متر گردید (شکل ۴).

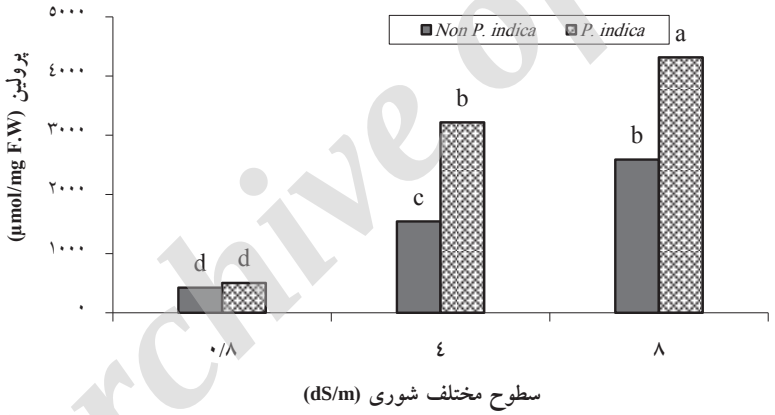
تجمع پرولین یکی از روش‌های متابولیکی بارز گیاهان در پاسخ به تنش اسمزی و یا سایر تنش‌ها توسط گیاهان عالی است [۷]. در شرایط تنش شوری گیاه با کمک اسملیت‌های چون پرولین پتانسیل اسمزی خود را نسبت به پتانسیل اسمزی محیط ریشه افزایش می‌دهد تا از این طریق آب و املاح مورد نیاز را جذب نماید [۳].

شکل ۲. مقایسه تأثیر کاربرد و عدم کاربرد قارچ در سطوح مختلف شوری

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳. سطح برگ خسارت دیده در اثر شوری کاهو تحت تأثیر کاربرد قارچ *P. indica* در سطوح مختلف شوری.



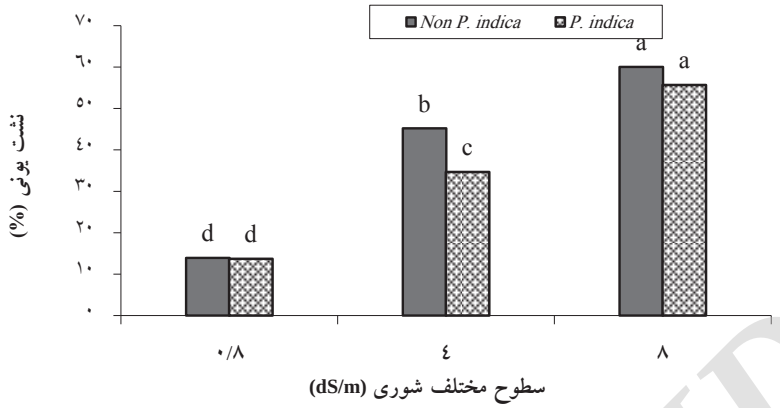
شکل ۴. محتوای پرولین کاهو تحت تأثیر کاربرد قارچ *P. indica* در سطوح مختلف شوری.

قارچ‌های میکوریز می‌توانند در شرایط تنش‌های محیطی موجب بهبود تنظیم فشار اسمزی شوند [۵]. نتایج برخی از آزمایش‌ها نشان داد که قارچ *P.indica* در شرایط شور موجب افزایش پرولین گردیده است [۲۳ و ۳۹].

۸.۳. نشت یونی

در گیاهان آبیاری شده با آب شور چهار دسی‌زیمنس بر متر، تلقیح قارچ به طور معنی‌داری میزان نشت یونی برگ کاهو را کاهش داد (شکل ۵). با افزایش میزان شوری (هشت دسی‌زیمنس بر متر) کارآمدی قارچ در کاهش نشت یونی کاهش یافت و تقریباً نشت یونی در گیاهان تلقیح شده و شاهد برابر بود (شکل ۵). در شرایط شور، سدیم جایگزین برخی از عناصر می‌شود که در ساختمان سلول و آنزیم‌ها حضور دارند.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۵. نشت یونی کاهو تحت تأثیر کاربرد قارچ *P. indica* در سطوح مختلف شوری.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح مختلف شوری بر صفات فیزیولوژیک کاهو در اثر کاربرد قارچ *P. indica*

پارامترها	پرولین (µmol/mg F.W)	نشت یونی (%)	کلروفیل a (µg/ml)	کلروفیل b (µg/ml)	کلروفیل کل (µg/ml)	فعالیت کاتالاز (u/mg protein)
شاهد	۴۶۲/۹^{c}	۱۳/۸۲^{c}	۱/۲۷^{a}	۰/۴۸^{a}	۱/۷۶^{a}	۱/۰۹^{b}
شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر	۲۳۸۱^{b}	۳۹/۹۵^{b}	۱/۲۹^{a}	۰/۵۷^{a}	۱/۸۷^{a}	۱/۴۳^{a}
شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر	۳۴۵۲/۹^{a}	۵۷/۸۴^{a}	۱/۳۴^{a}	۰/۵۲^{a}	۱/۸۷^{a}	۱/۰۶^{b}

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ می‌باشد

همچنین در شرایط تنش شوری میزان آنزیم رابیسکو کاهش یافته و در نتیجه به جای احیاء قندها به احیاء گونه‌های فعال اکسیژن چون آنیون سوپراکسید (O_2^-) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) که در سلول باعث صدمه به لیپیدها و اسیدهای چرب غشاء می‌شوند منجر می‌شود [۳ و ۳۶]. اما کاربرد قارچ با افزایش جذب سایر عناصر و همچنین افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی کاهش اثرات سمی سدیم را بدنبال دارد [۲۴]. در این آزمایش نیز نشت یونی در اثر کاربرد قارچ و تنش شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت که نشان دهنده اثرات مثبت قارچ در میزان متوسط شوری اعمال شده بود.

۹.۳. رنگیزه‌های فتوسنتزی

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با کاربرد قارچ افزایش معنی‌داری در کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل کاهو حاصل شد (جدول ۷). منیزیم در مسیر سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی به عنوان فلز مرکزی حلقه پورین نقش دارد [۲۵]. سدیم در شرایط تنش شوری بر جذب منیزیم اثر منفی دارد ولی قارچ میکوریز به علت جذب بیشتر منیزیم در شرایط شور موجب افزایش این یون در گیاه و به تبع آن افزایش مقدار کلروفیل می‌شود [۲۱]. میزان محتوای بالای کلروفیل در برگ گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزی تحت تنش شوری گزارش گردیده است [۳۴].

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۷. مقایسه میانگین اثرات اصلی کاربرد قارچ *P. indica* بر صفات فیزیولوژیک کاهو در سطوح مختلف شوری

پارامترها	پرولین (µmol/mg F.W)	نشت یونی (%)	کلروفیل a (µg/ml)	کلروفیل b (µg/ml)	کلروفیل کل (µg/ml)	فعالیت کاتالاز (u/mg protein)
عدم کاربرد قارچ	۱۵۱۸±۳۱۶	۳۹/۷±۷	۱/۰۴±۰/۱	۰/۳۹±۰/۰۴	۱/۴۳±۰/۱	۰/۹۸±۰/۱
کاربرد قارچ	۲۶۷۹±۵۹۱	۳۴/۷±۶	۱/۵۶±۰/۱	۰/۶۷±۰/۰۳	۲/۲۳±۰/۱	۱/۴۲±۰/۱

۱۰.۳. فعالیت آنزیم کاتالاز

شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز گردید (جدول ۶). همچنین کاربرد قارچ نسبت به عدم کاربرد آن موجب افزایش در صفت مذکور گردید (جدول ۷). فعالیت کاتالاز که یک آنتی‌اکسیدان آنزیمی است با کاربرد قارچ افزایش یافت که می‌توان تولید بیشتر آنها را به توان بیشتر گیاهان تلقیح شده با قارچ برای مقابله با رادیکال‌های آزاد تولید شده نسبت داد که از اثرات آن می‌توان به کاهش نشت یونی (شکل ۵) اشاره کرد. در مطالعات انجام شده افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی با کاربرد قارچ *P. indica* گزارش شده است [۳۹]. در شرایط شوری متوسط، فعالیت آنزیم کاتالاز گیاه افزایش یافت ولی با افزایش و تداوم شوری گیاه توان خود را برای انجام این فعالیت از دست داد.

۴. نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که قارچ در شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر اثر مطلوبی بر رشد گیاه نداشت ولی در شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر سبب تعدیل اثرات منفی تنش شوری بر گیاه کاهو گردید. این اثرات می‌تواند به دلیل افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، افزایش پرولین و همچنین افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل کاتالاز در اثر کاربرد این قارچ باشد. شاید یکی از علل پاسخ کم این گیاه به تلقیح با قارچ در شوری بالا در این آزمایش، به طبیعت ژنتیکی این گیاه که متحمل به شوری‌های بالا نیست برگردد.

منابع

۱. پیوست غ (۱۳۸۸) سبزیکاری. انتشارات دانش پذیر ، تهران. ۵۷۸ صفحه.

۲. جعفری شبستری ج (۱۳۸۲) بررسی مقاومت به شوری ارقام برخی گندم هگزاپلوئید و تتراپلوئید در شرایط عادی و تنش شوری. مجله علوم کشاورزی ایران. ۲۵: ۵۳-۴۵.

۳. جلیلی مرندی ر (۱۳۸۹) فیزیولوژی تنش‌های محیطی و مکانیزم‌های مقاومت در گیاهان باغی. جلد اول، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد ارومیه، ارومیه. ۳۶۲ صفحه.

۴. جمشیدی الف، قلاوند الف، سفید کن ف و محمدی گل تپه الف (۱۳۹۰) تأثیر کاربرد سیستم های مختلف تغذیه ای (آلی، شیمیایی، بیولوژیک وتلفیقی) بر عملکرد و غلظت عناصر شاخ و برگ و دانه رازیانه. مجله علوم محیطی. ۸(۴): ۷۲-۵۹.

۵. خاوازی ک، اسدی رحمانی ه و ملکوتی م ج (۱۳۸۴) ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور. انتشارات سنا، تهران. ۳۴۰ صفحه.

۶. زارع م ج، قلاوند الف و محمدی گل تپه الف (۱۳۸۹)

Archive of SID
www.SID.ir

بـوم شناسـی ریزوسـفر (روش‌هـای آزمایشـگاهی در بیولـوژی خـاک). انتشـارات آوای نـور، تهـران. ۱۹۲ صفحه.

۷. سپهری م، صالح راستین ن، حسینی سالکده ق و خیام نکـویی م (۱۳۸۸) بررسـی تـأثیر قـارچ انـدوفیت *Piriformospora indica* بـر بهبـود رشـد و افـزایش مقاومت گیاه جو به تنش شوری. مجله علمی پژوهشی مرتع. ۳(۲) : ۵۱۳-۵۰۸.

۸. کافی م، برزویی الف ، صالحی م، کمندی ع، معصومی ع و نباتی ج (۱۳۸۸) فیزیولوژی تنش‌های محیطـی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشـهد. ۵۰۴ صفحه.

۹. ملکـوتی م ج (۱۳۷۸) کشـاورزی پایـدار و افـزایش عملکرد به بهینه سازی مصرف کود در ایران. انتشارات آمـوزش کشـاورزی (دفتـر خـدمات و تکنولـوژی آموزش). ۴۶۰ صفحه.

۱۰. میرمحمدی میبـدی س ع م و قـره یاضـی ب (۱۳۸۱) جنبه‌های فیزیولوژیک و به‌نژادی تنش شوری گیاهـان. انتشـارات دانشـگاه صـنعتی اصـفهان، اصـفهان. ۲۸۸ صفحه.

۱۱. همایی م (۱۳۸۱) واکنش گیاهان به شوری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۲۰ صفحه.

12. Al-Karaki GN (2000) Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. Mycorrhiza.10(2): 51-54.

13. Bates LS, Waldren RP and Teare ID (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39(1): 205-207.

14. Brundrett MC (2002) Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. New Phytologist. 154(2): 275-304.

15. Cantrell IC and Linderman RG (2001) Preinoculation of lettuce and onion with VA mycorrhizal fungireduces deleterious effects of soil salinity. Plant and Soil. 233(2): 269-281.

16. Cheng Z, Park E and Glick BR (2007) 1-Aminocyclopropane- 1- carboxylate deaminase from Pseudomonas putida UW4 facilitates the growth of canola in the presence of salt. Canadian Journal of Microbiology. 53(7): 912-918.

17. Davies FT Jr, Olalde-Portugal V, Aguilera-Gomez L, Alvarado MJ, Ferrera-Cerrato RC and Boutton TW (2002) Alleviation of drought stress of Chile ancho pepper (*Capsicum annuum* L. cv. San Luis) with arbuscular mycorrhiza indigenous to Mexico. Scientia Horticulturae. 92(3-4): 347-359.

18. Evelin H, Kapoor R, Giri B (2009) Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. Annals of Botany. 104(7): 1263–1280.

19. Ayers RS, Westcot DW (1976) Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper No 29 FAO Rome Italy.

20. Gaur A, Adholeya A and MukerJi KG (2000) On-farm production of VAM inoculum and vegetable crops in marginal soil amended with organic matter. Tropical Agriculture. (Trinidad). 77(1): 21-26.

21. Giri B, Kapoor R and Mukerji KG (2002) VA mycorrhizal techniques/VAM technology in establishment of plants under salinity stress conditions. *In*: Mukerji KG, Manorachari C and Singh J (Eds.), Techniques in mycorrhizal studies. Kluwer, Dordrecht, pp. 313-327.

22. Gupta N and Rutaray S (2005) Growth and development of AM fungi and maize under salt and acid stress. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science. 55(2): 151-157.

Archive of SID
www.SID.ir

23. Hajinia S, Zarea MJ, Mohammadi Goltapeh E and Rejali FA (2011) Investigating the efficacy of endophytic fungus *Piriformospora indica* and *Azospirillum* strains on alleviation of detrimental effect of salt stress on wheat (*Triticum aestivum* cv. Sardari). Environmental Stresses in Crop Sciences. 4(1): 21-31.

24. Jeffries P, Gianinazzi S, Peretto S, Turnau K and Barea JM (2003) The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. Biology and Fertility of Soils. 37: 1-16.

25. Jentschke G, Brandes B, Kuhn AJ, Schroder WH, Becker JS and Godbold DL (2000) The mycorrhizal fungus *Paxillus involutus* transports magnesium to Norway spruce seedlings Evidence from stable isotope labeling. Plant and Soil. 220: 243-246.

26. Kari Dolatabadi H and Mohammadi Goltapeh E (2013) Effect of inoculation with *Piriformospora indica* and *Sebacina vermifera* on growth of selected Brassicaceae plant under greenhouse conditions. Journal of Horticultural Research. 21(2): 115-124.

27. Lauchli A and Epstein E (1990) Plant responses to saline and sodic conditions. *In*: Agricultural Salinity Assessment and Management (Ed. Tanij KK), Manuals and Reports on Engineering Practice, American Society of Civil Engineers (ASCE), New York. Pp. 113–137.

28. Lichtenthaler HK and Wellburn AR (1983) Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions. 11(5):591- 592.

29. Ma JF (2004) Role of silicon in enhancing the resistance of plant to biotic and abiotic stresses. Soil Science and Plant Nutrition. 50: 11-18.

30. Mayak S, Tirosh T and Glick BR (2004) Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. Plant Physiology and Biochemistry. 42(6): 565-572.

31. Munns R (1993) Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. Plant, Cell & Environment. 16(1): 15-24.

32. Netondo GF, Onyango JC and Beck E (2004) Sorghum and Salinity I. Response of Growth, Water Relations, and Ion Accumulation to NaCl Salinity. CROP Physiology & Metabolism. Crop Science Society of America. 44:797–805. 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711 USA.

33. Rashmi k, Naveena Lavania Latha J, Naga Sowjanya T, Kiranmayi P, Venugopal Rao M, Menon CPS and Maruthi Mohan P (2003) Colonization of cruciferous plants by *Piriformospora indica*. Scientific Correspondence. 85(12): 1672-1674.

34. Sannazzaro AI, Echeverria M, Alberto EO, Ruiz OA and Menendez AB (2007) Modulation of polyamine balance in *Lotus glaber* by salinity and arbuscular mycorrhiza. Plant Physiology and Biochemistry. 45 (1): 39-46.

35. Simpson D and Daft MJ (1990) Interactions between water-stress and different mycorrhizal inocula on plant growth and mycorrhizal development in maize and sorghum. Plant and Soil. 121(2): 179-186.

36. Sofo A, Dichio B, Xiloyannis C and Masia A (2004) Effects of different irradiance levels on some antioxidant enzymes and on malondealdehyde content during rewatering in olive tree. Plant Science. 166: 293-302.

37. Varma A, Singh A, Sudha N, Sharma J, Roy A, Kumari M, Rana D, Thakran S, Deka D, Bharti K, Franken P, Hurek T, Blechert O, Rexer KH,

Archive of SID
www.SID.ir

Kost G, Hahn A, Hock B, Maier W, Walter M, Strack D and Kranner I (2001) *Piriformospora indica*: A cultivable mycorrhiza-like endosymbiotic fungus. *In*: Hock B (Ed.), Mycota IX. Springer, Berlin Heidelberg, New York, pp 123-150.

38. Velikova V, Yordanov I and Edreva A (2000) Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain treated bean plants. Protective role of exogenous polyamines. Plant Science. 151(1): 59-66.

39. Zarea MJ, Chordia P and Varma A (2012) *Piriformospora indica* versus Salt Stress. *In*: Varma A, Kost G and Oelmuller R (Eds.) *Piriformospora indica*. Soil Biology, vol 33. Springer, Berlin, Heidelberg

Archive of SID

www.SID.ir