Archive of SID

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و سوم، شماره چهارم، ۱۳۹۵
http://jopp.gau.ac.ir

اثر همزیستی *Piriformospora indica* بر عملکرد کنگرفرنگی در شرایط تنش شوری و کم‌آبی

شیوا رحیمی تنها[۱]، *عظیم قاسم‌نژاد[۲]، ولی‌ا.. بابایی‌زاد[۳] و محمدزمان علاالدین[۴]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد علوم باغبانی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]دانشیار علوم باغبانی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳]دانشیار گیاهپزشکی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، [۴]مربی علوم خاکشناسی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/٦/٥؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۸/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: خشکسالی به‌علت تغییرات آب و هوایی، پدیده شوری خاک را نیز به‌دنبال دارد و گیاهان در مقابل اثرات اسمزی ناشی از تنش شوری و تنش خشکی از طریق تغییرات ریخت‌شناختی، فیزیولوژیکی و متابولیکی در تمام اندام‌های خود پاسخ می‌دهند. در تحقیقات گذشته ثابت گردید که قارچ اندوفیت تحت نام *Piriformospora indica* توانمندی همزیستی با ریشه بسیاری از گیاهان دارد و نیز در محیط کشت اختصاصی خود قادر است بدون احتیاج به حضور گیاه میزبان چرخه زندگی خود را تکمیل کند. همزیستی این قارچ با ریشه گیاه در تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده مثمرثمر بوده که این تحمل با تغییراتی در عملکرد و اجزای عملکرد هر گیاه همراه است. هدف پژوهش حاضر بررسی تغییرات عملکرد و خصوصیات ظاهری کنگرفرنگی پس از اثبات توانمندی همزیستی قارچ اندوفیت پیریفورموسپوا با گیاه در شرایط تنش شوری و کم‌آبی است.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. پس از غوطه‌ور ساختن ریشه‌چه‌های کنگرفرنگی در سوسپانسیون اسپورهای قارچ اندوفیت (*P. indica*)، به‌منظور اطمینان از

*مسئول مکاتبه: aghasemnajad@hotmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

استقرار و کلونیزاسیون اسپورها در بافت گیاه، رنگ‌آمیزی ریشه‌چه با استفاده از روش ویرهیلیگ انجام گردید. سپس طی دو آزمایش جداگانه، شوری با سه سطح ۰/۷، ٦ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و کم‌آبی با سه دوره آبیاری هر ۳، ٦ و ۱۲ روز، شرایط تنش تحت عنوان شاهد، متوسط (ملایم) و شدید برای دو تیمار گیاهان همزیست و شاهد اعمال گردید. همچنین آزمایش در چهار تکرار و به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام شد.

یافته‌ها: نتایج بررسی‌های مورفولوژیکی نشان داد که در اکثر شاخص‌های عملکردی، برتری گیاهان همزیست شده نسبت به شاهد وجود دارد. وزن تر و خشک ریشه در آزمایش کم‌آبی و طول برگ و ریشه در آزمایش تنش شوری تحت تأثیر تیمار قارچی تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد داشتند. اگرچه همزیستی این قارچ سبب افزایش عملکرد در سطوح مختلف شوری نگردید، اما در برخی از شاخص‌های ریخت‌شناسی از جمله در طول برگ، طول ریشه و نیز در حجم ریشه تغییرات قابل توجهی را در پی داشته است. همچنین طی اثر متقابل دور آبیاری و قارچ، وزن خشک برگ، وزن تر بوته، طول و حجم ریشه افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: برآیند نتایج نشان می‌دهد که گیاهان همزیست شده نسبت به انواع شاهد قابلیت سازگاری بیشتری با استرس‌های غیرزنده دارند. لذا استفاده از راه کار ساده آلوده‌سازی گیاهچه‌ها به قارچ اندوفیت همزیست ریشه، امکان کشت و کار کنگر فرنگی در خاک‌های خشک و کم آب را افزایش خواهد داد.

واژه‌های کلیدی: تنش اسمزی، تغییرات ریخت‌شناسی، اندوفیت قارچی، *Piriformospora indica*، کنگرفرنگی

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

امروزه، تغییرات اقلیمی با منشا دست‌ورزی‌های انسانی، سبب بروز مشکلاتی چون کاهش میزان بارندگی در مناطق مستعد شده که کاهش کمی و کیفی آب موردنیاز برای کشاورزی را به دنبال داشته است. به‌عنوان مثال، از ۷/۲٦ میلیون هکتار زمین تحت آبیاری در ایران، ۲/۱ میلیون هکتار (حدود ۲۹ درصد) به‌طور مستقیم تحت تأثیر آبیاری با آب شور قرار دارند (۹). کنگرفرنگی با نام علمی *Cynara scolymus* L. گیاهی علفی و چند ساله از خانواده Asteraceae است که به‌منظور استفاده از بخش نهنج رشد نیافته (برگچه‌ها و براکته‌های گوشتی) کشت می‌گردد (۱۹). برگ‌های جوان این گیاه در صنایع داروسازی استفاده می‌شود. بهترین زمان برداشت برگ‌ها زمانی است که برگ‌های این گیاه به طول ۳۵-۳۰ سانتی‌متر رسیده و ساقه و پیکره‌ی اصلی و شکل دهنده گیاه، ترد و آبدار باشد. در این صورت هر سال، ٤-۵ برداشت از برگ قابل انجام است (۱۹). برگ گیاه کنگرفرنگی دارای خواص دارویی بسیار از جمله ترکیبات پلی فنولیکی و آنتی‌اکسیدانی قوی است. همچنین دارای ترکیبات فنلی راست زنجیر همانند سینارین (ماده محافظ کبدی) می‌باشد. به‌علاوه دارای سیناروپیکرین و لاکتون‌های سزکوئی‌ترپن است که در ردیف ترکیبات کاهنده قند[1] و چربی[2] قرار دارند (١٦). قارچ *Piriformospora indica*، از رده Basidiomycetes و راسته Sebacinales، به‌عنوان یک اندوفیت به‌دلیل اثرات مهم ریخت‌شناسی که بر گیاهان میزبان دارد، طی دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است (۲۷ و ٣٦). این قارچ با خصوصیات مشابه قارچ‌های آربوسکولار میکوریز (AMF)، در سال ۱۹۹۸ توسط وارما و همکاران کشف شد (۳۳) که قادر است طیف وسیعی از گیاهان را کلونیزه نماید و همچنین در محیط کشت اختصاصی خود بدون احتیاج به حضور گیاه میزبان رشد کرده و اسپوردهی نماید (٣٤). این قارچ همانند سایر اندوفیت‌های گیاهی قادر است بدون هیچ گونه علائم قابل رویت بیماری‌زایی، میزبان خود را کلونیزه نماید (٢٦).

گیاه کنگرفرنگی سرشار از ترکیبات پلی‌فنولی است که باعث تقویت سیستم دفاعی گیاه در برابر تنش‌های محیطی غیرزنده و زنده و همچنین افزایش شانس بقای گیاه می‌شود (۵). بررسی‌های رضازاده و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که میزان رشد و تغییرات ریخت‌شناسی در گیاه با تجمع حداکثر ترکیبات ثانویه در برگ همراه است، این تغییرات در سطح شوری متوسط (٦/۵ دسی‌زیمنس بر متر)

1- Hypoglycemic
2- Hypolipidemic

www.SID.ir

Archive of SID

پدیدار می‌گردد. بالاتر از این سطح شوری، رشد رویشی گیاه همراه با کاهش تعداد، طول و عرض برگ، ارتفاع گیاه و عملکرد تک بوته همراه است (۲۳)؛ با توجه به نقش ریزجانداران، به‌عنوان عوامل اصلی تنظیم‌کننده رشدی و یا تغذیه کنندگان زیستی که در دهه‌های اخیر مورد توجه علم کشاورزی پایدار قرار گرفته است، این بررسی با هدف اندازه‌گیری عملکرد کمی گیاه، نحوه تأثیر تنش‌های غیرزنده کم‌آبی و شوری را طی اثر متقابل با قارچ همزیست پیریفورموسپورا مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی قارچ: قارچ پیریفورموسپورا بر روی محیط کشت ترکیبی آسپیرژیلوس CM[1] قابلیت رشد و اسپوردهی دارد. ایزوله قارچ از گروه گیاهپزشکی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری تهیه و بازکشت شد. سپس سوسپانسیون قارچ با استفاده از خراش‌دهی سطح محیط کشت به همراه آب مقطر و توئین۲۰ تهیه گردید. بذور کنگرفرنگی به‌منظور کشت در محیط 1/2MS، با محلول وگلی (گارلیکوم) با غلظت ۵ پی‌پی‌ام به مدت ۱۵ دقیقه غوطه‌ور و استریل شده سپس با آب مقطر سه مرتبه شستشو گردید. یک هفته پس از کشت بذور در محیط 1/2MS و نگه‌داری آن‌ها در تاریکی به‌همراه دمای ۲٦ درجه سانتی‌گراد اتاقک رشد، بذور جوانه زده و سپس اعمال روشنایی به مدت ۱۲ ساعت به گیاهچه‌هایی صورت گرفت، پس از آن که گیاهچه‌ها به طول ۱۰-۷ سانتی‌متر رسیدند، ریشه‌چه‌ها با قارچ تلقیح شدند. برای این منظور ریشه‌چه‌ها در سوسپانسیون اسپور قارچ، با غلظت سوسپانسیون ۵×۱۰^{۵} اسپور در هر میلی‌لیتر به‌مدت ۸-۳ ساعت بر روی شیکر با دور ۷۵ غوطه‌ور گردیدند (۸). پس از سپری شدن این مدت اسپورها به‌منظور استقرار در داخل بافت ریشه‌چه‌ها، به‌مدت چند ساعت بر روی کاغذ صافی و دور از نور نگهداری شدند. سپس هر یک از گیاهچه‌ها در گلدان‌های محتوای پرلیت، کوکوپیت و پوکه معدنی استریل به نسبت یکسان کشت شدند و به‌مدت ۲۰-۱۵ روز، گیاهچه‌ها با آب مقطر و یک مرتبه با محلول غذایی فوسامکو (۰/۵ در ۱۰۰۰) محتوای عناصر غذایی ضروری آبیاری شدند.

1- Aspergillus Complex Medium

www.SID.ir

Archive of SID

شرایط گلخانه: اعمال تنش‌های شوری و کم‌آبی به‌صورت جداگانه در هر آزمایش و ۲۰ روز پس از اطمینان از استقرار قارچ پیریفورموسپورا در ریشه‌چه‌های گیاهان همزیست به‌طور هم‌زمان آغاز گردید. آزمایش در طول فصل پاییز با متوسط دمای ۲۸-۱۹ درجه سانتی‌گراد در طول شبانه روز، میزان رطوبت ٦۰ درصد و روشنایی ١٦ ساعت معادل ۱۷۰۰۰ لوکس انجام شد. همچنین در هر دو آزمایش از گلدان‌های پلاستیکی به ابعاد ۳۰×۱۷ سانتی‌متر استفاده شد. مخلوط خاک مورد آزمایش از سه قسمت ماسه- پرلیت، خاک مزرعه‌ای الک‌شده پردیس دانشکده و نیز یک قسمت خاک برگ (۱:۱:۱) تهیه گردید (جدول ۱). نمونه خاکی قبل از استفاده به مدت یک هفته در اتاق گرم با دمای ٦۰ درجه سانتی‌گراد پاستوریزه گردید. سپس گلدان‌های محتوای خاک و گیاهچه‌های منتقل شده در گلخانه به صورت تصادفی چیده شده و به‌منظور اطمینان از قرارگیری گیاهان در شرایط یکسان، گلدان‌ها هفته‌ای یک مرتبه به‌صورت تصادفی جابجا شدند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک مورد استفاده در این تحقیق.

Table 1. Soil physic-chemical properties in this experiment.

ازت کل (درصد) N	فسفر قابل جذب (ppm) P	پتاسیم قابل جذب (ppm) K	کربنات (meq/L) CO_3^{2-}	بیکربنات (meq/L) HCO^{3-}	کلر (meq/L) Cl^-	سولفات (meq/L) $SO4^{2-}$	آنیون‌ها (meq/L) Anions	کاتیون‌ها (meq/L) Cations	کلسیم (meq/L) $Ca2^+$
0.22	107.5	440	0.1	5.4	44.6	1.6	51.7	51.7	30.4
منیزیوم (meq/L) Mg^{2+}	**سدیم (meq/L) Na^+**	**هدایت الکتریکی EC**	**اسیدیته pH**	**آهک CaCo3**	**کربن‌آلی Organic Carbon**	**رس (درصد) Clay**	**سیلت (درصد) Silt**	**ماسه (درصد) Sand**	**بافت Soil Texture**	**درصد رطوبت اشباع (درصد) SP**
14.8	6.5	3.7	8.3	30%	2.01%	26%	41%	33%	loam	53%

نحوه اعمال دور آبیاری: به‌منظور ایجاد شرایط بهینه برای انجام آزمایش، گلدان‌ها قبل از شروع تنش‌دهی، چندین مرحله آبیاری شدند. سپس بعد از ظهور اولین برگچه‌های حقیقی (۲۰ روز بعد)، آبیاری با آب لوله‌کشی شهری در سه سطح و به فواصل ۳ روزه (تنش بسیار ملایم یا شاهد)، شش روزه (تنش متوسط) و دوازده روزه (تنش شدید) برای گلدان‌های محتوای گیاهچه‌های آلوده به پیریفورموسپورا و شاهد به میزان هر بار به‌طور متوسط ۱۷۵ سی‌سی آبیاری انجام شد.

نحوه اعمال تنش شوری: تنش شوری نیز در سه سطح آب لوله کشی شهری به عنوان شاهد (۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر)، تنش در آستانه تحمل گیاه کنگرفرنگی (٦ دسی‌زیمنس بر متر) و تنش شدید (۱۲

www.SID.ir

Archive of SID

دسی‌زیمنس بر متر) اعمال گردید. به منظور تهیه آب شور از نمک آزمایشگاهی (NaCl) استفاده شد و تعیین هدایت الکتریکی با EC متر مدل WTW (Cond 330i) انجام پذیرفت.

رنگ‌آمیزی ریشه‌چه: به‌منظور بررسی پذیرش و تعیین درصد همزیست‌پذیری، گیاهچه‌های آلوده شده دو هفته‌ای طبق روش ویرهیلیگ رنگ‌آمیزی شدند (۳۵). به‌این منظور، ۲۰ قطعه ریشه‌چه به طول ۲ سانتی‌متر به‌طور تصادفی از تعدادی گیاه انتخاب شدند و پس از شست‌وشوی بقایای خاک از سطح ریشه، قطعات ریشه در محلول پتاسیم هیدروکسید ۱۰ درصد به‌مدت ٦ دقیقه بر روی شعله قرار گرفتند و با آب مقطر آبکشی شدند. سپس محلول محتوای ۱۹ سی‌سی اسید استیک و ۱ سی‌سی جوهر سیاهرنگ (استمپ) به‌مدت ۵ دقیقه روی شعله قرار گرفت تا بافت‌ها رنگی گردند. پس از آن از اسید استیک و آب مقطر به‌مدت ٤ دقیقه به‌منظور شست‌وشوی رنگ استفاده گردید. کلامیدوسپورها توسط میکروسکوپ فلورسانس OLYMPUS-BX51(DICimaging) عکس‌برداری شدند. همچنین جهت تعیین درصد کلونیزاسیون از رابطه گیووانتی و موس (۱۹۸۰) استفاده گردید (۱۱).

$$\text{درصد کلونیزاسیون} = \frac{\text{تعداد ریشه‌چه کلونیزه شده}}{\text{تعداد ریشه‌چه رنگ آمیزی شده}} \times ۱۰۰ \qquad \text{رابطه (۱)}$$

اندازه‌گیری‌های صفات کمی: پس از گذشت ۱۲۰ روز از اولین اعمال تنش آبیاری، در هر دو دسته از گیاهان شاهد و میزبان، خصوصیات فیزیولوژیکی شامل میانگین طول برگ، وزن تر برگ، وزن تر ریشه با ترازوی دیجیتال با دقت صدهزارم گرم اندازه‌گیری شد. همچنین، وزن خشک اندام هوایی گیاه، طول ریشه، حجم ریشه اندازه‌گیری شد. مجموع کل وزن تر پیکره گیاهی و وزن خشک آن از طریق محاسبه مجموع وزن ریشه و برگ به‌دست آمد (٦).

تعیین میزان رطوبت نسبی برگ (RWC): به‌منظور تعیین رطوبت نسبی برگ، یک گرم برگ تازه به مدت ٤ ساعت در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شد تا وزن تورژسانسی برگ به‌دست آید. سپس نمونه برگ در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٤۸ ساعت خشک شده و پس از به‌دست آوردن وزن خشک، از رابطه زیر جهت محاسبه رطوبت نسبی برگ استفاده شد (۲۵).

$$RWC = \left(\frac{FW-DW}{TW-DW}\right) \times 100 \qquad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن FW= وزن تر برگ، DW= وزن خشک برگ، TW= وزن تورژسانسی برگ اعمال گردید.

www.SID.ir

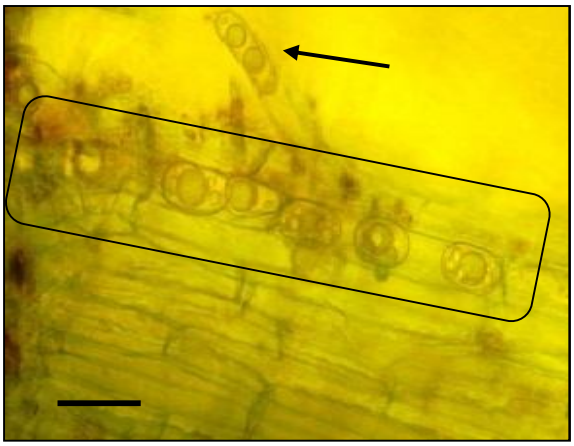
Archive of SID

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کرت کاملاً تصادفی صورت گرفت. آزمایش خشکی با سه سطح دور آبیاری و دو تیمار شاهد و قارچی در چهار تکرار انجام گرفت، آزمایش شوری نیز با سه سطح شوری و به‌صورت مشابه با آزمایش کم‌آبی در شرایط یکسان انجام گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و همچنین مقایسه میانگین داده‌ها به روش آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتیجه‌گیری و بحث

رنگ‌آمیزی: نتایج رنگ‌آمیزی وجود کلامیدوسپورهای Piriformospora indica در بافت کورتکس ریشه را نشان داد. بررسی‌های انجام شده پیشین به کمک ردیابی‌های میکروسکوپ نوری و الکترونی نشان داد که میسیلیوم‌های این قارچ از محدوده پریسکل ریشه عبور نکرده و در نتیجه به بافت آبکش نفوذ نمی‌کند (۱۸). کلامیدوسپورهای گلابی شکل روئیده از انتهای میسیلیوم‌ها پس از رنگ‌آمیزی به کمک میکروسکوپ نوری مجهز به فلورسانس در ریشه‌چه‌های گیاه کنگرفرنگی در آزمایش حاضر مشاهده شدند (شکل ۱). محاسبه درصد کلونیزاسیون نیز طبق رابطه گیووانتی و موس نشان داد که تعداد ریشه‌هایی که در چهاردهمین روز پس از تلقیح، کلامیدوسپور در آن‌ها رویت گردید نسبت به تعداد کل تکه ریشه‌چه‌ها، به میزان ۷۲ درصد توانایی همزیستی داشتند (۱۱).



شکل ۱- حضور کلامیدوسپورها در سلول‌های کورتکس ریشه (خط مقیاس= ۳۰ میکرون).

Figure 1. Chlamydospores in the cortex of the root (×30µm).

www.SID.ir

Archive of SID

اثر کم‌آبی و شوری بر طول برگ: نتایج بررسی‌ها نشان داد که اغلب شاخص‌های اندازه‌گیری شده به شکل معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده قرار داشتند (جداول ۱ و ۲). با افزایش فاصله دور آبیاری و سطوح تنش شوری، رشد طولی برگ کاهش یافت (جدول ۲). اگرچه کاهش رشد برگ تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده در هر دو گروه گیاهان همزیست و غیر همزیست مشاهده شد، با این وجود این کاهش در گیاهان غیر همزیست از فاصله آبیاری ٦ به ۱۲ روز در تنش کم‌آبی و ٦ به ۱۲ دسی‌زیمنس در آزمایش شوری شدیدتر بود (جداول ۳ و ٤). به‌عبارتی شدت تنش در گیاهان همزیست شده نسبت به شاهد در هر دو آزمایش کمتر محسوس است. طبق جدول تجزیه واریانس شوری در تحقیق حاضر اثر معنی‌دار متقابل تیمار شوری و قارچ پیریفورموسپورا قابل توجه است (جدول ۲). در صورتی‌که جوگوارت و همکاران (۲۰۱۳) تفاوت معنی‌داری در اندازه طول برگ در گیاهان برنج همزیست شده و شاهد در سطح شوری ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار NaCl نیافتند (١٤).

جدول ۲- تجزیه واریانس تعدادی از صفات ریخت‌شناسی کنگرفرنگی تحت تأثیر تیمار قارچی و دور آبیاری.

Table 1. Influence of *P.indica* and water day intervals on morphological properties.

وزن خشک بوته Dry plant weight	وزن تر بوته Fresh plant weight	حجم ریشه Root volume	طول ریشه Root length	میانگین طول سه برگ the mean of 3 leaves length	محتوای رطوبت نسبی RWC	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
2.036^{ns}	935.12^{**}	23157.38^{**}	4.22^{ns}	55.33^{**}	327.16^{**}	2	تغییرات دور آبیاری Water day intervals
0.022^{ns}	133.17^{**}	48153.38^{**}	180.5^{**}	81.28^{**}	555.55^{**}	1	تیمار قارچی *P. indica*
0.155^{ns}	15.84^{*}	10030.38^{*}	52.66^{**}	2.04^{ns}	12.05^{*}	2	دور آبیاری×تیمار قارچی WD*i***P. indica*
0.63	3.76	2452.22	7.61	7.16	2.5	18	خطا Error
11.41	14.39	14.25	12.14	7.81	2.2	-	ضریب تغییرات C.V%

** (P<۰/۰۱)، * (P<۰/۰۵)، ns معنی‌دار نیست.

ns= Not Significant, *Significant at the 0.05 probability level, **Significant at the 0.01 probability level.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- تجزیه واریانس تعدادی از صفات ریخت‌شناسی کنگرفرنگی تحت تأثیر تیمار قارچی و شوری.

Table 2. Influence of *P.indica* and salinity on morphological properties.

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	محتوای رطوبت نسبی RWC (%)	میانگین طول سه برگ 3 leaves length (the mean)	طول ریشه Root length	حجم ریشه Root volume	وزن تر بوته Fresh plant weight	وزن خشک بوته Dry plant weight
تیمار شوری Salinity	2	105.43^{**}	43.7^{**}	131.68^{**}	5249.68^{**}	1223.57^{**}	16.77^{**}
تیمار قارچی *P. indica*	1	110.01^{**}	25.43^{**}	12.19^{**}	16140.05^{**}	742.6^{**}	16.51^{*}
شوری× قارچ S* *P. indica*	2	17.59^{*}	56.82^{**}	63.54^{**}	6052.26^{**}	20.04^{ns}	3.88^{ns}
خطا Error	18	2.83	2.27	3.0	94.37	24.23	1.84
ضریب تغییرات C.V%	–	1.17	5.41	12.83	14.35	12.32	10.17

** ($P<۰/۰۱$)، * ($P<۰/۰۵$)، ^{ns} معنی‌دار نیست.

ns= Not Significant, *Significant at the 0.05 probability level, **Significant at the 0.01 probability level.

اثر کم‌آبی و شوری بر میزان رطوبت برگ: درصد رطوبت برگ، طی هر دو آزمایش با افزایش میزان استرس اسمزی کاهش می‌یابد (جداول ۳ و ٤)، این میزان طی اثر متقابل تنش کم‌آبی و شوری به همراه تیمار قارچی معنی‌دار شده است (جداول ۱ و ۲). زیرا قارچ به سبب کمک به افزایش و یا به عبارتی حفظ میزان فشار تورژسانسی و هدایت متعادل آن، در سطح وسیع‌تری از بافت برگ منتشر شده و کارآیی آب در تقسیم شدن[1] در بین سلول‌های گیاهی بهتر بوده است. علاوه‌بر این اثر، سبب پراکنش بهتر عناصر غذایی محلول در آب سلول گشته و فشار اسمزی یکنواخت می‌گردد. به این ترتیب که با حفظ فشار تورژسانسی بیشتر در یک مقطع مشخصی از پتانسیل اسمزی، فعال شدن تنظیم‌کننده‌های اسمزی[2] موجب شده که در پتانسیل آب کمتری از برگ و خاک، روزنه‌ها باز بمانند و به‌این ترتیب نقش تنظیم‌کننده‌ها در حفظ رطوبت برگ پررنگ می‌گردد (۱). چنین روندی در آزمایشات گلخانه‌ای و مزرعه‌ای گیاه رز (*Rosa hybrida*) به اثبات رسیده است (۳۲، ۳ و ۱۷). به علاوه، حضور تنظیم‌کننده‌های اسمزی، به میزان فشار تورژسانسی وابسته است، زیرا بسته به نوع گیاه، پاسخ به تنش اسمزی و میزان تقسیم‌بندی نسبی آب در مسیر آپوپلاستی (عبور بین سلولی) و

1- Partitioning
2- Osmotic Adjustment

www.SID.ir

Archive of SID

سیمپلاستی (عبور از غشا و به‌صورت فعال) حاصل عملکرد آن‌ها می‌باشد (۳۲، ۳، ۱۷). طبق یافته‌های ثوگ (۲۰۰۸)، حضور مایکوریزای *Glomus* sp. سبب شد تا مواد محلول و تنظیم‌کننده‌های اسمزی ظرفیت تحمل گیاه رز را نسبت به تنش اسمزی افزایش دهند (۲). این پژوهشگر معتقد است که در برخی روابط مایکوریزایی، حضور قارچ سبب تعادل آب‌رسانی به سلول‌های گیاهی در شرایط تنش اسمزی شده که این وابستگی مدیون جذب بیشتر عنصر فسفر از خاک است. بنابراین طبق یافته‌ها، گیاه کنگرفرنگی کلونیزه شده، در اثر فعالیت بیشتر تنظیم‌کننده‌های اسمزی، در حفظ فشار تورژسانسی در سیتوپلاسم سلول‌ها، در زمان کم آبی متحمل‌تر شد (۲۱). بنابراین، این سیستم متعادل‌سازی آب‌رسانی در گیاهان تلقیح شده و تحت تنش، سبب می‌گردد که مصرف آب نیز کمتر گردد و در عوض کارآیی مصرف آب[1] افزایش یابد. پر واضح است که مقیاس RWC معیاری مناسب جهت تعیین آب بالقوه موردنیاز گیاه است که با حضور مایکوریزا کارآمدتر می‌گردد. پس بهتر است که به عنوان معیار مدیریت آبیاری جایگزین اندازه‌گیری رطوبت خاک گردد (۲۰).

جدول ٤- مقایسه میانگین صفات ریخت‌شناسی برگ کنگرفرنگی تحت تأثیر تیمار قارچی و تنش کم‌آبی.

Table 3. Mean comparisons of treatment interactions of water-shortage and *P. indica* inoculation on morphological properties.

وزن خشک بوته (g) Dry plant weight	وزن تر بوته (g) Fresh plant weight	حجم ریشه $(mm)^3$ Root volume	طول ریشه (cm) Root length	محتوای رطوبت نسبی (RWC)	طول برگ (cm) Leaf length	دور آبیاری Water day lntervals	تیمار قارچی/ شاهد +*P.indica*/Control
3.57^{a}	54.03^{a}	341.66^{a}	21.66^{b}	83.33^{a}	39.14^{a}	3days	تیمار قارچی +*P.indica*
2.95^{a}	40.9^{c}	263.33^{b}	27.66^{a}	75^{b}	36.16^{a}	6days	تیمار قارچی +*P.indica*
2.65^{a}	27.83^{d}	274^{b}	28.33^{a}	71.33^{c}	33.83^{b}	12days	تیمار قارچی +*P.indica*
3.76^{a}	45.5^{b}	260.33^{b}	22^{b}	74.33^{b}	35.1^{a}	3days	شاهد Control
3.26^{a}	38.84^{c}	228.33^{b}	19.33^{b}	65^{d}	32.9^{b}	6days	شاهد Control
2.36^{a}	22.1^{c}	80^{c}	17.33^{c}	57^{e}	28.32^{c}	12days	شاهد Control

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means within each column of each section followed by the same letter are not significantly different (P<0.05).

1- Water use efficiency

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات ریخت‌شناسی برگ کنگرفرنگی تحت تأثیر تیمار قارچی و تنش شوری.

Table 4. Mean comparisons of treatment interactions of salinity and *P. indica* inoculation on morphological properties.

تیمار قارچی/ شاهد +*P.indica*/ Control	تیمار شوری (dS/m) Salinity	طول برگ (cm) Leaf length	محتوای رطوبت نسبی برگ (RWC)	طول ریشه (cm) Root length	حجم ریشه $(mm)^3$ Root Volume	وزن تر بوته (g) Fresh plant weight	وزن خشک بوته (g) Dry plant weight
تیمار قارچی +*P.indica*	0.7	40.11 ^{a}	85^{a}	37.16^{a}	266.6 ^{a}	78.93^{a}	11.86^{a}
تیمار قارچی +*P.indica*	6	38.5^{a}	77.66^{b}	24.33^{b}	189.16^{c}	66.11^{b}	11.11^{a}
تیمار قارچی +*P.indica*	12	40.09^{a}	73.33^{c}	22.66^{cb}	259.66^{a}	53.69^{c}	9.88^{ab}
شاهد Control	0.7	41.0^{a}	76.5^{b}	23.16^{cb}	218.16^{b}	70.3 ^{b}	11.79 ^{a}
شاهد Control	6	39.95^{a}	73^{dc}	21.16^{bc}	186.33^{c}	51.34^{c}	8.11^{ab}
شاهد Control	12	30.62^{b}	71.66^{d}	20.33^{c}	131.33^{d}	38.55^{d}	7.21^{b}

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means within each column of each section followed by the same letter are not significantly different (P<0.05)

اثر کم‌آبی و شوری بر طول و حجم ریشه: تغییرات طول و حجم ریشه طی اثر منفرد تیمار قارچی کم‌آبی و شوری معنی‌دار بود (جدول ۱ و ۲). طول ریشه در آزمایش کم‌آبی با افزایش مدت زمان دور آبیاری کاهش یافت (جدول ۳). هرچند میزان کاهش در هر دو نوع آزمایش در گیاهان شاهد بیشتر محسوس بود (جدول ۳ و ٤)، اما گیاهان همزیست شده با قارچ در آزمایش تنش شوری نیز با افزایش شدت تنش اسمزی، دچار کاهش در طول ریشه شدند که البته این میزان با افزایش ریشه‌های مویین و نهایتاً فزونی حجم ریشه جبران گردید. طبق جدول ٤، افزایش حجم ریشه‌ها در آزمایش شوری از ٦ به ۱۲ دسی زیمنس بر متر ۷۰/۵ میلی‌متر مکعب افزایش یافت (P-value<۰/۰۰۰۱). با وجود این‌که در شرایط کم‌آبی حجم ریشه با افزایش فواصل دور آبیاری در تیمارهای شاهد و همزیست روند کاهشی داشته ولی در عوض واکنش ریخت‌شناسی گیاه برای جبران این کاهش در چنین شرایط تنش‌زایی، سبب افزایش طول ریشه‌ها گردید. این افزایش در تیمارهای همزیست شده با قارچ واضح‌تر است (جدول ۳). اثر قارچ اندومیکوریزای پیریفورموسپورا به تنهایی بر افزایش طول ریشه در بسیاری از آزمایشات گلخانه‌ای به اثبات رسیده است. مثلاً؛ در آزمایشی که توسط بارازانی و همکاران

www.SID.ir

Archive of SID

(۲۰۰۵) روی Nicotiana attenuata در گلخانه انجام شد، طول ریشه گیاهان تیمار شده با قارچ پیریفورموسپورا ۱/۲ برابر نسبت به شاهد افزایش یافت (٤). همچنین، تفاوت معنی‌دار در حجم ریشه تحت تاثیر اثر متقابل قارچ و شوری، از طریق افزایش در ریشه‌های مویین نمایان شد. البته تغییرات ریخت‌شناسی ریشه گیاه میزبان در فرایند پذیرش قارچ متفاوت بوده و به تقابل هورمون اکسین و اتیلن که در انگیزش و رشد ریشه دخالت دارند، بستگی زیادی دارد (۲۹). در آزمایشی دیگر که پسکان برگوفر و همکاران (۲۰۰٤) روی تلقیح گیاه آرابیدوپسیس از این قارچ انجام دادند، اظهار کردند که ریشه‌های موئین در گیاهان تلقیح شده طویل‌تر و نازک‌تر نسبت به گیاهان شاهد بود (۱۸). جوگوارت و همکاران (۲۰۱۳)، نیز نشان دادند که اثر متقابل قارچ *P.indica* و تنش شوری در گیاه برنج سبب بروز تغییرات ریخت‌شناسی قابل توجهی در ریشه گیاه می‌شوند. از جمله آن‌که، ریشه‌ها ضخیم‌تر، قهوه‌ای و به تعداد و حجم بیشتری نسبت به گیاهان شاهد بودند. همچنین طول، وزن تر و خشک ریشه افزایش معنی‌داری داشت (١٤). سیرنبرگ و همکاران (۲۰۰۷)، یکی از عوامل افزایش رشد طولی ریشه را افزایش اکسین برون‌زاد دانسته، که در نتیجه این افزایش نشانه‌های تنش اکسیداتیو همچون H_2O_2 به محض ورود قارچ، فعال شده که در ادامه روند، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به عنوان سیگنال سنتز متیونین ترشح می‌گردند که این اسید آمینه خود، پیش‌ساز اتیلن در ریشه گیاه است (۳۰). در بررسی دیگر توسط رزیکا و همکاران (۲۰۰۷) ثابت گردید که اثر متقابل اتیلن- اکسین در افزایش رشد ریشه و پائین‌روی ریشه مؤثر است (٢٤) زیرا اتیلن در ابتدای تولید سبب افزایش سنتز اکسین به صورت موضعی شده و به نحو مؤثری تولید و همچنین حرکت قطبی اکسین توسط اتیلن تحت تأثیر قرار می‌گیرد. سوارآپ و همکاران (۲۰۰۲) با بررسی‌های بیوشیمیایی و ژنتیکی ثابت کردند که اثر متقابل اتیلن و اکسین در افزایش رشد ریشه تأثیر داشته، گرچه سازوکار عمل آن به وضوح قابل درک نیست (۳۱). همچنین، ورنر و همکاران (۲۰۰۳) ادعا کردند که افزونی حجم ریشه نسبت به طول آن، بستگی زیادی به افزایش نسبت سیتوکنین اکسیداز بر سیتوکنین دهیدروژناز طی اثرات متقابل بین هورمونی دارد (۳۷).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦- تجزیه واریانس تعدادی از صفات ریخت‌شناسی کنگرفرنگی بر اساس میانگین مربعات تحت تأثیر تیمار قارچی و دور آبیاری.

Table 5. Influence of *P.indica* and water day intervals on the fresh and dry weight of leaves and roots.

وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن تر برگ Leaf fresh weight	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
48.58**	109.77**	3.36**	694.64**	2	دوره آبیاری Water day intervals
79.2**	84.11**	0.03ns	28.27 ns	1	تیمار قارچی *P.indica*
1.58ns	6.34 ns	0.723**	1.5ns	2	دورآبیاری×تیمار قارچی WDi**P. indica*
1.05	12.71	0.097	15.59	18	خطا Error
12.78	9.92	12.80	10.08	-	ضریب تغییرات C.V%

** (P<۰/۰۱)، * (P<۰/۰۵)، ns معنی‌دار نیست.

ns= Not Significant, * Significant at the 0.05 probability level, ** Significant at the 0.01 probability level.

جدول ۷- تجزیه واریانس تعدادی از صفات ریخت‌شناسی کنگرفرنگی بر اساس میانگین مربعات تحت تأثیر تیمار قارچی و شوری.

Table 6. Influence of *P.indica* and salinity on the fresh and dry weight of leaves and roots.

وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن تر برگ Leaf fresh weight	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
3.61*	9.4*	4.85*	1134.40**	2	تنش شوری Salinity
2.97ns	45.77**	5.46*	419.63**	1	تیمار قارچی *P.indica*
0.95ns	17.02**	6.02*	6.7ns	2	تنش شوری×تیمار قارچی S**P. indica*
0.81	2.2	1.08	19.62	18	خطا Error
10.32	8.65	11.25	9.08	-	ضریب تغییرات C.V%

** (P<۰/۰۱)، * (P<۰/۰۵)، ns معنی‌دار نیست.

ns= Not Significant, * Significant at the 0.05 probability level, ** Significant at the 0.01 probability level.

www.SID.ir

Archive of SID

اثر کم‌آبی و شوری بر میزان وزن تر و خشک بوته: وزن تر بوته کنگرفرنگی شامل مجموع میزان وزن تر برگ و وزن تر ریشه می‌باشد؛ در آزمایش تنش کم‌آبی تأثیر تیمار قارچی به تنهایی و به ترتیب بر وزن تر و خشک ریشه معنی‌دار (P-value= ۰/۰۱) و بسیار معنی‌دار (P-value<۰/۰۰۰۱) بود. اما وزن تر و خشک برگ تحت تأثیر تیمار قارچی قرار نداشت (جدول ۵). این مشاهدات در آزمایش شوری، مبین اثر تنش اسمزی بر عملکرد وزن تر و خشک (حداقل P<۰/۰۵) است. با این وجود تحت تأثیر اثر متقابل شوری و قارچ، تفاوت معنی‌داری در وزن تر ریشه و وزن خشک برگ مشاهده شد (جدول ٦). این در حالی است که اثر متقابل تنش رطوبتی و قارچ تنها بر وزن خشک برگ مؤثر بود؛ اما در هر دو آزمایش (شوری و تغییرات دور آبیاری)، اثر قارچ بر وزن تر برگ مستقل از شرایط آزمایش بود و اثر معنی‌داری اعمال نگردید؛ لذا، با افزایش سطوح تنش از وزن تر برگ کاسته شد (جدول ۵ و شکل ۲-a و c). از طرفی، میزان ماده خشک برگ در هر دو آزمایش تحت تأثیر اثر متقابل بود به نحوی که حتی در سطوح مختلف آزمایش شوری مقدار ثابتی را نشان داد (شکل ۲- b و d). وزن تر ریشه نیز در آزمایش شوری طی اثر متقابل تنش اسمزی و قارچ معنی‌دار گردید و در هر سه سطح شوری به حداکثر میزان خود نسبت به گیاهان شاهد رسید (شکل ۲-c). بر عکس این حالت، وزن ماده خشک ریشه طی آزمایش شوری و دور آبیاری تحت اثر توام قارچ و تنش نبود (جدول ۵ و ٦). دلیل این اختلافات را می‌توان به عضو اصلی گیاه، در زمان تنش اسمزی یا کم‌آبی، یعنی ریشه نسبت داد. زیرا بررسی‌ها نشان داده‌است که ریشه، محل درگیری عضو همزیست گیاه و قارچ پیریفورموسپورا است که به‌طور همزمان برای بقای گیاه به تعدیل عناصر تغذیه‌ای می‌پردازد (۱۳) و لذا دارای نوعی مرکزیت تجع ماده و انرژی است که با هدایت هیدرولیکی تسهیل شده به واسطه حضور قارچ، رشد پیکره گیاهی را در طول فصل رشد تضمین می‌کند. پرواضح است که اندام‌های هوایی به منظور همکاری با عضو ریشه، ماده‌سازی را با افزایش سطوح تنش، کاهش داده‌اند و به‌این ترتیب وزن ماده تر در هیچ یک متوجه اثر معنی‌داری نگردید. اما حضور میزان ماده خشک برگ پس از پایان دوره فصل رشد به‌ترتیب در آزمایش شوری با سطح احتمال خطای ۰/۰۵ و کم‌آبی ۰/۰۱ تفاوت معنی‌دار یافت. ایجاد اختلاف معنی‌دار در میزان وزن تر ریشه و وزن خشک بوته در آزمایش وارما و همکاران (۱۹۹۹) بر روی گیاه افسنطین شیرین (*Artemisia annua*) و گیاهان دارویی دیگر توسط داس و همکاران (۲۰۱۳) در اثر تلقیح با قارچ پیریفورموسپورا نیز به‌دست آمده است (۳۳ و ۷). همچنین، وزن تر کل بوته در آزمایش کم‌آبی طی اثر متقابل معنی‌دار بود. به‌احتمال زیاد وزن ریشه،

www.SID.ir

Archive of SID

سبب ایجاد چنین رابطه معنی‌داری گشته است. در حالی‌که با وجود معنی‌داری هر یک از تیمارهای شوری و قارچی در سطح احتمال خطای یک درصد، وزن تر یا خشک کل بوته طی اثر متقابل تیمارها در آزمایش شوری معنی‌دار نشد (جدول ٤ و ٢). در آزمایش رضازاده و همکاران (٢٠١٠) نیز نشان داده شد، که ٦/٥ دسی زیمنس بر متر آستانه خسارت شوری در کنگرفرنگی است که در درجات بالاتر شوری به تدریج آثار کاهش عملکرد پیکر رویشی گیاه مشاهده می‌شود (٢٣). طبق شکل ٢، تفاوت صفات کمی گیاهان شاهد و تیمار شده طی تنش‌های اسمزی ٦ و ١٢ دسی زیمنس بر متر نشان می‌دهند که قارچ به طرز قابل توجهی سبب گردیده که میزان وزن تر ریشه از (شوری متوسط) ٦ به ١٢ (شوری شدید) دسی‌زیمنس بر متر در یک سطح از نظر معنی‌داری واقع شوند. نکته قابل توجه آن که، چنین ثباتی در وزن تر ریشه گیاهان اندوفیتیِ تنش کم آبی نیز قابل توجه است (شکل ٢). شاید بتوان اظهار کرد که عوامل محدودکننده رشدی همچون شوری و به دنبال آن کمبود عناصرغذایی در آزمایش شوری، و نیز کمبود آب در آزمایش تنش کم‌آبی توسط قارچ پیریفورموسپورا تخفیف داده شده لذا عملکرد گیاهان شاهد طی تنش ١٢ دسی زیمنس بر متر شوری، و تنش کم‌آبی ١٢ روزه در حداقل سطح است. این احتمال نیز وجود دارد که به سبب اثرگذاری و تداخل یون‌های سدیم و کلر میزان جذب، دسترسی[1]، قدرت انتقال[2] و پراکنش سایر عناصر نیز کاهش می‌یابد (١٢). به‌عنوان مثال، Na^+ موجب می‌شود تا قدرت انتقال و تحرک[3] یون Ca^{2+} کاهش یافته و در نهایت از کیفیت رشد رویشی و زایشی گیاه کاسته می‌شود (١٢). همچنین، در آزمایشی که فرانکویس و همکاران (١٩٩١) برای آبیاری با شوری در بازه ٢ دسی‌زیمنس بر متر تا ١٠ دسی‌زیمنس بر متر بر کنگرفرنگی انجام دادند، معین شد که کمبود کلسیم ناشی از شوری NaCl سبب ایجاد فشارریشه‌ای شده که به موجب آن پراکنش کلسیم تنها به برگ‌ها و قسمت‌های خارجی براکته‌ها انتشار می‌یابد و موجب می‌گردد تا در بافت‌های داخلی براکته‌ها علایم نکروز ناشی از کمبود کلسیم به وجود آید و به میزان ٢٠ درصد از بازارپسندی آن بکاهد (١٠). علاوه‌بر آن، شوری در اکثر موارد سبب کاهش تجمع فسفر در بافتها می‌شود (٢٨) کاهش تجمع فسفات یعنی کاهش دسترسی به آن؛ طی استرس شوری به‌وجود آمدن رقابت بین عناصر با قدرت یونی بیشتر، سبب می‌گردد حلالیت فسفر طی فرآیندهای جذب با ترکیبات

1- Availability
2- Translocation
3- Mobility

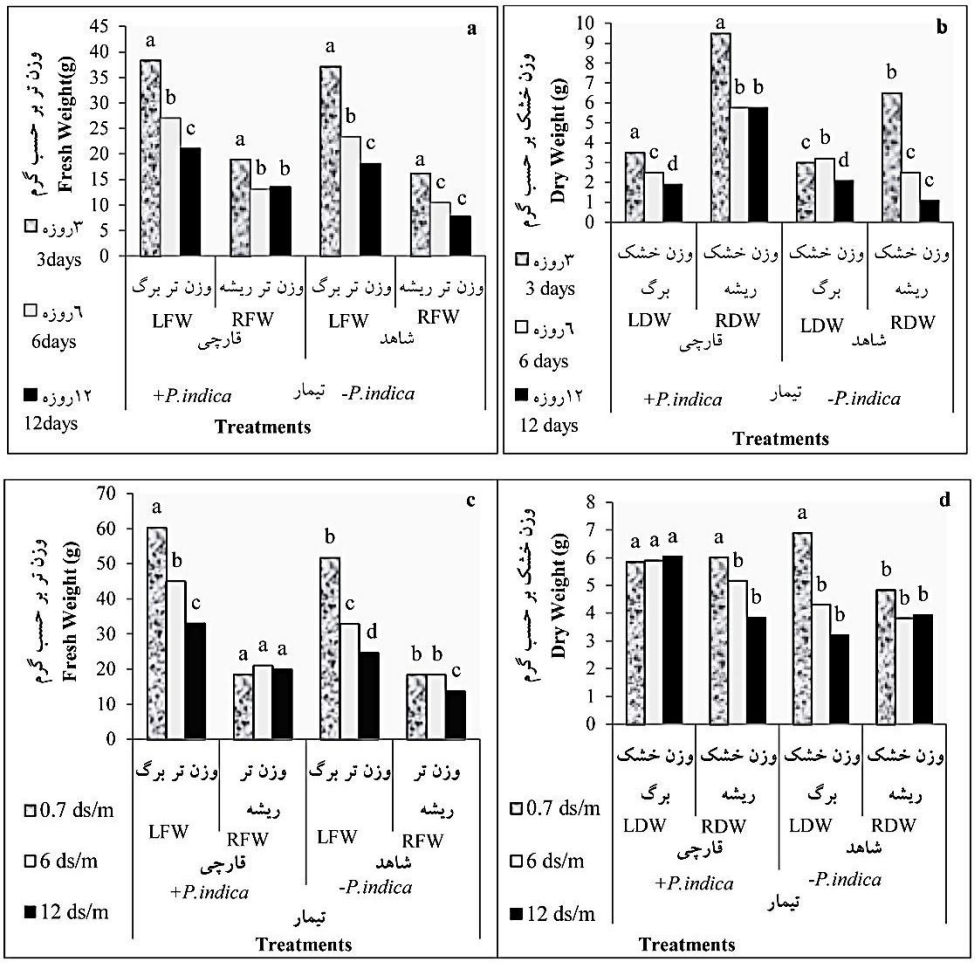
www.SID.ir

Archive of SID

معدنی دیگر همچون کلسیم کاهش یابد (۱۲). از طرفی، کلسیم و منیزیوم همواره در حال رقابت هستند اما چون گیرنده‌های موجود در غشای پلاسمایی ریشه از حساسیت کمتری نسبت به جذب عنصر منیزیوم در مقابل کلسیم برخوردار هستند؛ لذا، افزایش کلسیم در برگ کاهش منیزیوم را در پی دارد (۱۵). پرواضح است که دفع یون‌های سدیم و کلر در سطوح تنش بالاتر برای گیاه کنگرفرنگی هزینه‌بر بوده به این معنی که، کارایی عملکرد گیاه در جذب عناصر تغذیه‌ای مختل می‌شود، از فتوسنتز کاسته شده و گیاه فعالیت طبیعی خود را به‌منظور کاستن از اثرات مخرب یون‌های سمی کاهش می‌دهد. اما مادامی که محتوای رطوبت نسبی برگ (RWC) به‌دلیل فعالیت محسوس قارچ میکوریز در افزایش میزان مواد اسمولیت بیشتر می‌گردد، گیاه با افزایش طول برگ برای دفع اثر یون‌های سدیمی و نیز بالاخص طول و حجم ریشه و جذب حداکثر آب و پتاسیم به سلول‌های تحت تنش کمک می‌نماید. در آزمایش تنش آبی نیز بر همکنش‌های هورمونی و ترکیبات متعادل کننده اسمزی همچون پرولین تحت اثر تیمار قارچی سبب افزایش طول ریشه شده (۲۰) و هم‌زمان حجم ریشه نیز تحت اثر میزان سیتوکینین افزایش یافته به همین سبب وزن تر بوته به‌دلیل وزن بیشتر ریشه، طی اثر متقابل معنی‌دار شده است. به‌علاوه درصد رطوبت برگ به‌دلیل افزایش فشار تورژسانسی بالاخص در سلول گیاهان آلوده به میکوریز از میزان قابل توجهی برخوردار بوده اما افزایش طول برگ که در پی انبساط و تقسیم سلولی، طی اثرگذاری هورمون سیتوکینین پدید می‌آید را، موجب نشد؛ لذا، می‌توان نتیجه گرفت که بسته به شرایط محیطی و فیزیولوژی گیاه، قارچ اندوفیت در شرایط تنش غیرزنده به کمک میزبان خود می‌آید. به‌عنوان مثال، افزایش ریشه‌دهی و زیست‌توده در قلمه‌های تعدادی از گیاهان دارویی و زینتی نیز توسط رای و وارما (۲۰۰۵) و نیز درئوگ و همکاران (۲۰۰۷) مشاهده شد (۲۲ و ۸).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ بر وزن خشک و وزن تر ریشه و برگ در آزمایش کم‌آبی (بالا): وزن تر برگ و ریشه (a)- وزن خشک برگ و ریشه (b) آزمایش شوری (پایین): وزن تر برگ و ریشه (c)- وزن خشک برگ و ریشه (d).

Figure 2. Mean comparison of treatment interaction between fungus and fresh and dry weights of leaves and root for water deficiency trial (Up-a, b) and for Salinity (Down- c, d)- LDW: leaf dry weight, RDW: root dry weight, LFW: leaf fresh weight, RFW: root fresh weight.

نتیجه‌گیری کلی

در هر دو آزمایش وزن بوته، درصد رطوبت نسبی، طول برگ و ریشه و نیز حجم ریشه تحت تأثیر قارچ پیریفورموسپورا قرار داشت، که برتری گیاهان تیمار شده به قارچ را نسبت به شاهد نشان داد. همچنین، به‌نظر می‌رسد که تیمار پیریفورموسپورا نسبت به گیاهان شاهد تحمل گیاهان میزبان را به

www.SID.ir

Archive of SID

شوری و کم‌آبی افزایش داده است. طبق بررسی مشخص گردید که وزن خشک و تر ریشه در هر دو آزمایش در نمونه‌های تحت تیمار قارچ، تحت تأثیر حجم و طول ریشه در تیمارهای قارچی مقداری ثابت و بیشتر از گیاهان شاهد بوده، به‌این معنی که ریشه کلونیزه شده، به‌طور هم‌زمان و مستقیم تحت تنش اسمزی و کم‌آبی بوده و در شرایط تنش گیاهان تحت تیمار قارچی را نسبت به شاهد یاری داده است. با اندازه‌گیری‌های همچون میزان کلروفیل، عناصر مغذی، پرولین و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نیز می‌توان صحت ارتقای تحمل گیاهان میزبان در شرایط تنش را نسبت به گیاهان شاهد تأیید کرد (۲۰ و ۲۱). کنگرفرنگی به‌عنوان یک گیاه دارویی حاوی مواد پلی‌فنولیکی، علاوه‌بر آن‌که پتانسیل پذیرش همزیستی با قارچ *P. indica* را دارد، می‌تواند در شرایط تنش کم‌آبی و شوری با کمک قارچ متحمل‌تر گردد. این موضوع بستگی به شرایط محیطی دارد. براین اساس ریشه به‌عنوان عامل تغذیه‌رسان به گیاهان تحت تنش، در تیمارهای همزیست شده، با افزایش سطح جذب می‌تواند موفق‌تر عمل کند.

منابع

1. Augé, R.M., Schekel, K.A. and Wample, R.L. 1986. Greater leaf conductance of well watered VA mycorrhizal rose plants is not related to phosphorus nutrition. New Phytol. 103: 107-116.
2. Augé, R.M., Toler, H.D., Sams, C.E. and Nasim, G. 2008. Hydraulic conductance and water potential gradients in squash leaves showing mycorrhizal induced increases in stomatal conductance. Mycorrhiza. 18: 115-21.
3. Ackerson, R.C. 1980. Stomatal response of cotton to water stress and abscisic acid as affected by water stress history. Plant Physiol. 65: 455-459.
4. Barazani, O., Benderoth, M., Groten, K., Kuhlemeier, C. and Baldwin, IT. 2005. *Piriformospora indica* and *Sebacina vermifera* increase growth performance at the expense of herbivore resistance in *Nicotiana attenuata*. Oecol. 146: 234–243.
5. Beckman, C.H. 2000. Phenolic storing cells: Keys to program cell death and Periderm formation in wilt disease resistance and in general defense responses in plants? Physiol Mol Plant Path. 57: 101- 110.
6. Catchpole, W.R. and Wheeler, C.J. 1992. Estimating plant biomass: a review of techniques. Aust J. Ecol. 17: 2. 121-131.
7. Das, A., Prasad, R., Sirvastava, R.B., Deshmukh, S., Rai, M.K. and Varma, A. 2013. Cocultivation of *Piriformospora indica* with medicinal plants: case

www.SID.ir

Archive of SID

studies. P 149-172, In: A. Varma (ed.), *Piriformospora indica*: Sebacinalesand their biotechnological applications, Springer Verlag, Berlin.
8. Drüge, U., Baltruschat, H. and Franken, P. 2007. *Piriformospora indica* promotes adventitious root formation in cuttings. Sci. Hort. 112: 422–426.
9. FAO.org/ soils-portal/soil management/ management of some problem-soils/salt affected soils/more information on salt affected soils/en.
10. Francois, L.E., Donovan, T.J. and Maas, E.V. 1991. Calcium deficiency of artichoke buds in relation to salinity. Hort. Sci. 26: 549-553.
11. Giovanneti, M. and Mosse, B. 1980. An evalution of techniques for measuring vesicular-arbascular mycorrhizal infection in roots. New Phytol. 84: 489-500.
12. Grattan, S.R. and Grieve, C.M. 1999. Salinity- mineral nutrient relations in horticultural crops. Sci Hort. 78: 127-157.
13. Hajinia, S., Zare, M.J., Mohammadi Goltapeh, E. and Rejali, F. 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). J. Environ Stress Crop Sci. 4: 1.21-31. (In Persian)
14. Jogwart, A., Saha, S., Bakshi, M., Dayaman, V., Dua, M., Varma, A., Oelmüller, R., Tuteja, N. and Johri, AK. 2013. *Piriformospora indica* rescues growth diminution of rice seedlings during high salt stress. Plant Signal Behav. 8: 10.
15. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. ACM Pres, London, 889p.
16. Melili, M.G., Tringali, S., Riggi, E. and Raccuia, S.A. 2007. Screening of genetic variability for some phenolic constituents of Globe artichoke. Acta Hort. 730: 85-91.
17. Nilsen, E.T., Sharifi, M.R. and Rundel, P.W. 1984. Comparative water relations of phreatophytes in the Sonoran desert of California. Ecol. 65: 767-778.
18. Peškan-Berghöfer, T., Shahollari, B., Giang, PH., Hehl, S., Markert, C., Blanke, V., et al. 2004. Association of *Piriformospora indica* with *Arabidopsis thaliana* roots represents a noval system to study beneficial plant-microbe interactions and involves early plant protein modifications in the endoplasmatic reticulum and at the plasma membrane. Physiol Plant. 122: 465-477.
19. Peyvast, Gh. 2009. Vegetable Production. GU. Press, 577p. (In Persian)
20. Rahimi Tanha, S.H., Ghasemnezhad, A., Babaeizad V. and Alaedin, M. 2014. A study on the effect of endophyte fungus, *Piriformospora Indica*, on the yield and phytochemical changes of globe artichoke (*Cynara Scolymus* L.) leaves. Master`s Thesis: Gorgan Univ. Agric. Sci. Natur. Resourc., 146p. (In Persian)
21. Rahimi Tanha, S., Ghasemnezhad, A. and Babaeizad V. 2014. A Study on the Effect of endophyte fungus, *Piriformospora Indica*, on the yield and

www.SID.ir

Archive of SID

phytochemical changes of globe artichoke (*Cynara Scolymus* L.) leaves under water stress. IJABBR. 2: 6. 1907-1921.

22. Rai, M., and Varma, A. 2005. Arbuscular mycorrhiza-like biotechnological potential of *Piriformospora indica*, which promotes the growth of *Adhatoda vasica* Nees. Elect. J. Biotechn. 8: 107–112.
23. Rezazadeh, A., Ghasemnezhad., A., Hemmati, KH., and Barani, M. 2010. Effect of salinity on phenolic composition and antioxidant activity of Artichoke`s leaves. Master`s thesis: Gorgan Univ. Agric. Sci. Natur. Resourc., 100p. (In Persian)
24. Ruzika, K., Ljung, K., Vanneste, S., Podhorska, R., Beeckman, T., Friml, J. and Benkova, E. 2007. Ethylene regulates root growth through effects on auxin biosynthesis and transport-dependent auxin distribution. Plant Cell. 19: 7. 2197-2212.
25. Sairam, R.K. and Srivastava, G.C. 2002. Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. Plant Sci. 162: 6. 897-904.
26. Schafer, P., and Kogel, K.H. 2009. Plant relationships. In: Diesing H.(ed). The Mycota V. 2nd Springer, Verlag Berlin Heidelberg, Pp: 100-112.
27. Serfiling, A., Wirsel, S.G.R., Lind, V. and Deising, H.B. 2006. Performance of the biocontrol fungus *Piriformospora indica* on Wheat under greenhouse and field conditions. J. Phytopath. 97: 523-531.
28. Sharpley, A.N., Meisinger, J.J., Power, J.F. and Suarez, D.L. 1992. Root extraction of nutrients associated with long-term soil management. Pp: 151-217, In: B. Stewart (Ed.), Advances in Soil Science, Springer, New York.
29. Singh, L.P., Singh, Gill, S. and Tuteja, N. 2011. Unrevealing the role of fungal symbionts in plant abiotic stress tolerance. Plant Signal Behav. 6: 175-191.
30. Sirrenberg, A., Gobel, C., Grond, S., Czempinski, N., Ratzinger, A., Karlovsky, P., Santos, P., Feussner, I. and Pawlowski, K. 2007. *Piriformospora indica* affects plant growth by auxin production. Physiol Plant. 131: 581-589.
31. Swarup, R., Parry, G., Graham, N., Allen, T. and Bennett, M. 2002. Auxin cross-talk: Integration of signalling pathways to control plant development. Plant Mol Biol. 49: 411–426.
32. Thomas, J.C., Brown, K.W. and Jordan, W.R. 1976. Stomatal response to leaf water potential as affected by preconditioning in the field. Agron J. 68: 706-708.
33. Varma, A., Verma, S., Sudha Sahay, N.A., Butehorn, B. and Franken, P. 1999. *Piriformospora indica* a cultivable plant growth promotional root endophyte. Appl Environ Microbiol. 65: 2741-2744.
34. Varma, A., Singh, A., Sudha, Sahay, N.S., Sharma, J., Roy, A., Kumari, M., Rana, D., Thakran, S., etal. 2001. *Piriformospora indica*: an axenically

www.SID.ir

Archive of SID

culturable mycorrhiza-like endosymbiotic fungus. P 125–150, In: B. Hock (ed), The Mycota IX. Fungal Associations, Springer Verlag, Berlin.

35. Vierheilig, H., Coughlan, A.P., Wyss, U. and Piche, Y. 1998. Ink and vinegar, a simple staining technique for arbascular mycorrhizal fungi. Appl Environ Microbiol. 64: 5004-5007.
36. Waller, F., Achatz, B., Bultruscht, H., Fodor, J., Becker, K., Fischer, M., et al. 2005. The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barely to salt-stress tolerance. Disease resistance and higher yield. Proc Natl Acad Sci, USA. 102: 13386-13391.
37. Werner, T., Motyka, V., Laucou, V., Smets, R., Van Onckelen, H. and Schmülling, T. 2003. Cytokinin-deficient transgenic *Arabidopsis* plants show multiple developmental alterations indicating opposite functions of cytokinins in the regulation of shoot and root meristem activity. Plant Cell.15: 2532–2550.

www.SID.ir