روابط خاک و گیاه / سال سیزدهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۱ / صفحات ۱۸-۱

مقاله پژوهشی

اثر قارچ‌های درون‌زی دیواره تیره در افزایش تحمل گوجه‌فرنگی به تنش شوری

بهاره دامن‌کشان[۱]، محمد حسین شمشیری[۱*] و حسین علایی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۱۴)

چکیده

ارتباط گیاه با ریزجاندارانی مانند قارچ‌های درون‌زی دیواره تیره، می‌تواند آثار مضر تنش‌های محیطی مانند شوری را کاهش دهد. در این پژوهش تأثیر قارچ‌های درون‌زی دیواره تیره جدا شده از ریشه نخل خرما بر افزایش مقاومت به شوری گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* cv. Super cheif) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور شامل نوع جدایه در ۱۳ سطح [4-B, 8-B, 10-D, 11-C, 14-A, 15-D, 16-A, 19-F, 21-A, 22-C, 22-E, 39-D, control (PDA plug)] و شوری در ۳ سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) با ۳ تکرار اجرا شد. گیاهان گوجه‌فرنگی در سطوح مختلف شوری با جدایه‌های قارچی درون‌زی ریشه‌های نخل خرما تلقیح شدند. بر اساس نتایج تجزیه واریانس در تیمار قارچی با جدایه‌های 4-B و 11-C آثار منفی شوری (تا ۱۰۰ میلی‌مولار معادل ۹/۵۲ دسی‌زیمنس بر متر) بر زیست‌توده گیاه گوجه‌فرنگی کاهش یافت. در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار جدایه 4-B بیش‌ترین وزن تازه بوته و جدایه 11-C بیش‌ترین وزن خشک بوته را نسبت به سایر تیمارها داشت و نسبت به تیمار بدون قارچ به‌ترتیب ٪۵۵/۵۱ و ٪۵۵/۲۶ بیش‌تر بود. با افزایش سطح شوری تا ۱۰۰ میلی‌مولار جدایه‌های 4-B، 8-B، 10-D و 11-C در کاهش غلظت سدیم، افزایش غلظت پتاسیم و افزایش نسبت پتاسیم به سدیم کارایی زیادی داشتند. تیمار قارچی (10-D و 8-B) موجب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر (٪۱۹) نسبت به تیمار بدون قارچ شد. در سطوح مختلف شوری جدایه‌های 11-C، 39-D و 10-D موجب افزایش آب نسبی برگ شدند. افزایش شوری تا ۵۰ میلی‌مولار (معادل ۵/۴۴ دسی‌زیمنس بر متر) با افزایش وابستگی درون‌زی همراه بود و جدایه 11-C و 4-B بیش‌ترین افزایش را (٪۴۳) نسبت به جدایه‌های دیگر نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: قارچ درون‌زی، جدایه قارچی، شوری، خرما، گوجه‌فرنگی.

مقدمه

شوری خاک یک چالش جدی در برابر امنیت غذایی جهان است. برآورد می‌شود حدود ۶۲ میلیون هکتار یا ۲۰ درصد از زمین‌های زیر کشت دنیا تحت تأثیر شوری قرار دارند (۱۴). انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰، تقریباً ٪۵۰ از خاک‌های تحت کشت شور شوند مگر اینکه از راه‌کارهای مدیریتی کارآمد استفاده شود (۱۰). تنش‌های غیرزنده مانند دما، شوری، خشکی، سموم دفع آفات و کود، pH اسیدی یا بازی خاک،

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر رفسنجان

۲- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر رفسنجان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: shamshiri@vru.ac.ir

آلودگی فلزات سنگین مانع بهره‌وری مطلوب محصول می‌شوند (۳). از این همه، به نظر می‌رسد شور شدن زمین‌های زراعی به‌عنوان یک تهدید واقعی برای تولید محصولات کشاورزی باشد. به‌تازگی، سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد[1] در گزارش "وضعیت منابع خاک جهان" نُه تهدید عمده برای عملکرد خاک شناسایی کرده که شوری یکی از آن‌هاست (۱۶). تجمع نمک در زمین‌های قابل کشت بر عملکرد محصول تأثیر می‌گذارد. جذب مقادیر زیاد نمک بر فرآیندهای فیزیولوژیک و متابولیک گیاهان و حتی بر بقای آن‌ها مؤثر است. روش‌های مرسوم احیای خاک‌های شور که شامل تراشیدن نمک از سطح خاک، شستشو و یا اصلاح خاک (با گچ، آهک و غیره) است با موفقیت محدودی روبرو هستند. پرورش گیاهان مقاوم به نمک نیز یکی از این راه‌کارهاست اما این روش و رویکردهای مرسوم پیشین قادر به حل مشکل نیستند. افزایش بهره‌وری خاک شور بدون آسیب رساندن به محیط‌زیست امری ضروری است (۱۴). در این زمینه، قارچ‌های ریشه‌ای به‌عنوان یک استراتژی جدید برای بهبود عملکرد اکوفیزیولوژیک گیاه و عملکرد محصول در شرایط تنش‌های غیرزیستی مطرح هستند (۲۹). تنها تعداد اندکی از جانداران مانند قارچ‌های ریشه‌ای آربوسکولار، درون‌زی‌ها و بیماری‌زاها (پاتوژن‌ها) توانایی گذشتن از مرزهای درونی ریزوسفر و رسیدن به بافت‌های درونی گیاهان را دارند. در میان قارچ‌های درون‌زی انواعی هستند که با داشتن دیواره‌ای قهوه‌ای تا سیاه و کارکردهایی مانند قارچ مایکوریز[2]، بیش‌تر از دیگر درون‌زی‌ها بررسی شده‌اند. این درون‌زی‌ها گروهی از قارچ‌ها هستند که دیواره‌های اسپور و هیف‌های آن‌ها با رنگدانه ملانین به رنگ تیره درآمده و بسته به گونه قارچ، رنگ آن‌ها از قهوه‌ای روشن تا نزدیک به سیاه است (۲۷). ملانین موجب مقاومت در برابر خشکی و گرما در گیاهان می‌شود چون می‌تواند در شرایط سخت اکوسیستم، با رادیکال‌های اکسیژن ترکیب شود و از میزان تنش بکاهد. به این صورت قارچ‌هایی که ملانین و میکرواسکلروتیا[3] می‌سازند، برای رشد و زنده‌مانی گیاه در شرایط سخت کمک‌کننده هستند (۳۷). اسکلروتیا اندام غیرجنسی قارچ است که از تجمع و فشرده شدن چند سلول با دیواره نازک ساخته می‌شود (۳۵) و شبیه انبار ذخیره مواد غذایی است (۶). از آنجایی که در اکوسیستم‌های سخت، کلونیزاسیون ریشه با این قارچ‌ها افزایش می‌یابد، این احتمال می‌رود که این قارچ‌ها، کارایی‌های متنوعی به سود گیاه داشته باشند. انتقال عناصر غذایی از خاک و رساندن آن به گیاه، حفاظت ریشه و گیاه در برابر بیماری‌های خاکزی، افزایش مقاومت گیاه در شرایط سخت زیستگاه و در پایان توسعه و پویایی پوشش گیاهی از جمله مزایای این قارچ‌هاست (۲۷).

شوری خاک تنش‌زا است و هر گیاهی و هر گونه قارچی توانایی رشد در این شرایط را ندارد. گونه‌های گیاهی شورپسند[4] در این‌گونه خاک‌ها برای زنده ماندن با درون‌زی‌های ویژه‌ای همزیستی دارند (۴۵). نخل خرما به‌عنوان یک درخت میوه با تحمل بسیار زیاد نسبت به شوری شناخته می‌شود (۲۵). برخی پژوهندگان عنوان کرده‌اند که برخی از ارقام خرما در مجاورت ساحل دریا جایی که غالباً در هنگام جریان‌های جزر و مدی در معرض آب دریا هستند، توانایی رشد دارند. به همین جهت آن‌ها معتقدند که نخل خرما را می‌توان به‌عنوان یک گیاه شورزی استثنایی[5] در نظر گرفت و احتمالاً دارای یک سلسله سازوکارهای تحمل به شوری است (۵۱).

گوجه‌فرنگی از مهم‌ترین محصولات باغبانی جهان در ارتباط با سلامت و تغذیه انسان به شمار می‌آید (۱۳). گیاه گوجه‌فرنگی از جمله گیاهان حساس به شوری بوده و تحت شرایط تنش‌زا بازده محصول از جمله وزن، تعداد میوه و شاخص‌های دیگر رشد از جمله جوانه‌زنی بذر و رشد نشا در آن به‌شدت کاهش می‌یابد (۱۷). به همین دلیل بررسی راه‌هایی که موجب افزایش تحمل این گیاه نسبت به شوری شود مورد توجه است. در پژوهشی، گیاه گوجه‌فرنگی را با درون‌زی‌هایی

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)
2. Mycorrhiza
3. Microsclerotia
4. Halophyte
5. Exceptional halophytic plant

تلقیح کردند که این درون‌زی‌ها از گیاهانی که به‌طور طبیعی در خاک‌های شور رشد می‌کنند استخراج شده بودند. گیاه گوجه‌فرنگی کلونیزه شده با این درون‌زی‌ها، در شرایط خشکی و شوری، میزان رشد، زیست‌توده شاخه، کارایی استفاده از آب و کارایی فتوسنتز بیش‌تری نسبت به گیاهان کلونیزه نشده نشان دادند. نتایج این بررسی نشان داد که درون‌زی‌های قارچی جدا شده از گیاهان پیشرو در خاک‌های شور، پتانسیل لازم برای افزایش مقاومت گیاهان مهم باغبانی و زراعی نواحی خشک را دارند (۵).

طی دو دهه اخیر، علاقه زیادی برای بررسی درون‌زی‌ها به وجود آمده است. توصیف این قارچ‌ها، بررسی تنوع و پویایی جمعیت قارچ‌های درون‌زی، استفاده از مایه تلقیحی آن‌ها برای بهبود رشد و سلامتی گیاه و همچنین استفاده از قارچ‌های درون‌زی به‌عنوان یک منبع جدید زیستی برای تولید و استفاده از متابولیت‌های ثانویه فعال از جمله دلایل توجه به این قارچ‌ها است (۴۳، ۴۴ و ۴۶). علی‌رغم پژوهش‌های زیادی که در مورد این گروه از قارچ‌ها در دنیا انجام شده، اما تاکنون پژوهشی در زمینه شناسایی قارچ‌های درون‌زی درختان خرما به‌ویژه انواع دیواره تیره نابیماری‌زای آن‌ها در ایران صورت نگرفته و هیچ‌گونه اطلاعاتی از حضور یا تنوع زیستی این قارچ‌ها و کارایی آن‌ها در کاهش تنش‌های غیرزنده مانند تأثیر این درون‌زی‌ها در کاهش تنش شوری در گیاهان دیگر از جمله گیاه گوجه‌فرنگی در دست نیست. این پژوهش با این فرضیه انجام شده که قارچ‌های درون‌زی ریشه نخل خرما از جمله دلایل افزایش تحمل درختان خرما به تنش شوری هستند و برای افزایش تحمل به شوری گیاه گوجه‌فرنگی، جدایه‌های قارچی ریشه‌های نخل خرمای مناطق خرماخیز کشور به‌کار گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

برای دستیابی و شناسایی جدایه‌های مربوط به قارچ‌های درون‌زی نخل خرما، نمونه‌برداری از زمستان سال ۱۳۹۷ تا پایان بهار ۱۳۹۸ از ریشه‌های سالم و بدون علائم بیماری نخل خرما، واقع در ۷ استان خرماخیز کشور شامل استان‌های بوشهر، خوزستان، سیستان و بلوچستان، فارس، کرمان، هرمزگان و یزد، در ۴۰ منطقه انجام شد. از نخل‌های خرما کشت شده در ارتفاع ۲۵ متر از سطح دریا تا ۱۷۵۷ متر و از طول جغرافیایی '۴۰ °۴۸ و عرض جغرافیایی '۱۹ °۳۱ تا طول '۱ °۵۷ و عرض '۱۶ °۳۰ از ارقام مختلف نخل خرما (مضافتی، ربی، قصب، خنیزی، خاصویی، آلمهتری، کلوته، برحی، پیارم، نگار، خاصی، مجول، زاهدی، شهابی و کبکاب) نمونه ریشه تهیه شد. نمونه‌های ریشه درون نایلون‌های زیپ‌دار به آزمایشگاه منتقل شده و در دمای چهار درجه سلسیوس نگهداری شدند. پس از جمع‌آوری نمونه‌های ریشه، آزمایش‌ها در دو بخش آزمایشگاهی و گلخانه‌ای انجام شد.

بخش آزمایشگاهی (جداسازی، تکثیر و شناسایی جدایه‌های قارچی)

رنگ‌آمیزی ریشه‌های جمع‌آوری شده برای اطمینان از حضور درون‌زی‌ها (۳۴) و کلونیزاسیون ریشه‌ها انجام شد (۱۸). جداسازی و تکثیر جدایه‌های قارچی انجام شد (۲۶). برای شناسایی جدایه‌های قارچی، خالص‌سازی آن‌ها امری ضروری است. بنابراین با توجه به قارچ‌های رشد کرده روی محیط کشت، از روش نوک هیف[1] و روی محیط آگار دو درصد استفاده شد (۱۱ و ۳۱). شناسایی جدایه‌های قارچی به روش ریخت‌شناسی[2] برای همه جدایه‌ها به‌صورت ماکروسکوپی و میکروسکوپی انجام شد. اسلایدهای میکروسکوپی با استفاده از محلول‌های لاکتوفنل و لاکتوفنل-کاتن بلو تهیه شد و با میکروسکوپ نوری (BH2, Olympus, Japan) بررسی شده و جدایه‌های قارچی با استفاده از کلید شناسایی و تعیین نام شدند (۸).

1. Hyphal tip
2. Morphology

بخش گلخانه‌ای

بررسی نابیماری‌زا بودن درون‌زی‌های جدا شده از ریشه درختان خرما روی گیاه گوجه‌فرنگی

به‌منظور بررسی نابیماری‌زا بودن درون‌زی‌های جدا شده از ریشه درختان خرما، تمامی جدایه‌ها بر روی گیاه گوجه‌فرنگی به‌عنوان یک گیاه حساس نسبت به بیماری‌های قارچی مورد ارزیابی قرار گرفتند. بذر گوجه‌فرنگی رقم سوپر چیف از شرکت اصلاح بذر پاکان تهیه شد. پیش از کشت، بذور در الکل ۹۶ درصد به مدت ۳۰ ثانیه و هیپوکلریت سدیم رقیق (نیم درصد) به مدت پنج دقیقه گندزدایی شده، سپس سه بار با آب مقطر سترون شسته شده و در سینی‌های کشت با بستر کوکوپیت و پرلیت کشت شدند. نشاهای هم‌اندازه پس از مرحله شش برگی به گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۱۴ و قطر دهانه ۱۰ سانتی‌متر که با ترکیبی به نسبت ۳ به ۱ به‌ترتیب ماسه و خاک پرشده بودند کشت شدند. پیش از شروع آزمایش، خاک در دستگاه اتوکلاو، سه مرتبه در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱/۵ اتمسفر به مدت ۲۰ دقیقه گندزدایی شد و در هر گلدان ۳۵۰ گرم خاک ریخته شد. از هر یک از ایزوله‌های جداسازی شده به اندازه چهار پلاگ قارچی (به قطر پنج میلی‌متر) روی خاک قرار گرفت، در تیمار شاهد چهار پلاگ (به قطر پنج میلی‌متر) از محیط کشت PDA قرار داده شد. سپس لایه‌ای از خاک روی آن ریخته و نشاء گوجه‌فرنگی روی آن قرار داده شد. در هر گلدان دو نشاء کشت شد. برای هر تیمار سه گلدان در نظر گرفته شد. گیاهان با محلول نیم هوگلند (۲۰) آبیاری و در محیط گلخانه با دمای روز ۲ ±۲۷ و شب ۲ ±۱۸ درجه سلسیوس قرار داده شدند. پس از گذشت ۴۰ روز، نهال‌های گوجه‌فرنگی از نظر شاخص‌های وزن تازه ریشه و شاخساره، وزن خشک ریشه و شاخساره، مجموع وزن تازه ریشه و شاخساره، مجموع وزن خشک ریشه و شاخساره، زنده‌مانی و بیماری‌زا بودن جدایه‌ها بررسی شده و ۱۲ جدایه برتر از نظر صفات مذکور انتخاب شدند. ریشه گیاهانی که با این جدایه‌ها تلقیح شده بودند، برای اطمینان از حضور درون‌زی‌هایی با ساختار اسکلروتیوم و دیواره تیره رنگ‌آمیزی شدند.

بررسی افزایش تحمل به تنش شوری در گیاه گوجه‌فرنگی توسط درون‌زی‌های ریشه درختان خرما

این مرحله از آزمایش برای بررسی میزان افزایش تحمل به تنش شوری توسط درون‌زی‌های جداسازی شده از ریشه درختان خرما در نهال‌های گوجه‌فرنگی انجام شد. ۱۲ جدایه برتر برای مایه‌زنی در این آزمایش استفاده شدند. این جدایه‌ها مربوط به ریشه نخل‌های خرمای مناطق خرماخیز کشور بودند. بیماری‌زا نبودن آن‌ها در آزمایش پیشین طی تیمار با نهال‌های گوجه‌فرنگی تأیید شد. ساختار اسکلروتیوم در اسلایدهای میکروسکوپی آن‌ها مشاهده شده و موجب افزایش شاخص‌های رشدی شده بودند. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور شامل تیمار قارچ‌های درون‌زی دیواره تیره در ۱۳ سطح [4-B, 8-B, 10-D, 11-C, 14-A, 15-D, 16-A, 19-F, 21-A, 22-C, 22-E, 39-D, control (PDA plug)] و تیمار شوری در ۳ سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) با ۳ تکرار (دو گیاه در هر گلدان) اجرا شد. گیاهان گوجه‌فرنگی در شرایط شوری با ۱۲ جدایه قارچی از ریشه نخل خرما (چهار پلاگ قارچی به قطر پنج میلی‌متر) و یک تیمار شاهد که چهار پلاگ از محیط کشت PDA بود، تلقیح شدند. مراحل کشت و انتقال نشاءهای گوجه‌فرنگی همانند آنچه در بخش پیشین آمد انجام شد. مقادیر pH و EC در عصاره اشباع خاک مورد استفاده در این آزمایش به‌ترتیب برابر ۷/۵ و ۱/۷۴ دسی‌زیمنس بر متر بود. نهال‌های ۳۰ روزه گوجه‌فرنگی، تحت تأثیر سطوح شوری قرار گرفتند. تیمارهای شوری با نمک کلرید سدیم (NaCl) از شرکت مرک آلمان ایجاد شد. برای شوری‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۲/۹ و ۵/۸ گرم نمک کلرید سدیم با آب مقطر به حجم لیتر رسانده شد که به‌ترتیب معادل ۵/۴۴ و ۹/۵۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. طی ۲ هفته به فاصله دو روز یک‌بار تیمارهای شوری اعمال شدند. در سطح صفر به هر گلدان ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر و در دو سطح شوری به همین مقدار محلول

نمک داده شد. در تمامی مراحل رشد pH و EC خاک اندازه‌گیری و کنترل شده و در صورت نیاز آبشویی انجام شد. در پایان دوره تنش، نهال‌های گوجه‌فرنگی از نظر شاخص‌های زیر بررسی شدند.

اندازه‌گیری شاخص‌های رویشی

برای ارزیابی وضعیت رشدی نهال‌های گوجه‌فرنگی، وزن تازه شاخساره و ریشه و وزن خشک شاخساره و ریشه پس از دوره تنش اندازه‌گیری شد. وزن تازه ریشه و شاخساره با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، این اندام‌ها برای ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس در آون خشک شدند.

اندازه‌گیری عناصر غذایی

نمونه‌های برگی تهیه شده با آب مقطر شسته شده و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند. نمونه پودر شده، در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ ساعت سوخته شده و به خاکستر نمونه‌ها ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال افزوده شد تا هضم شوند. محلول حاصل در بن‌ماری قرارگرفته و به نسبت ۱ به ۲۵ با آب مقطر رقیق شد و با روش شعله‌سنجی میزان سدیم و پتاسیم کل در آن‌ها اندازه‌گیری شد (۲۱). اندازه‌گیری فسفر کل شاخساره به روش آمونیوم مولیبدات و آمونیوم وانادات انجام شد (۱۷) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شد.

اندازه‌گیری میزان آب نسبی برگ

ابتدا از هر برگ چهار دیسک برگی به قطر یک سانتی‌متر به وسیله استوانه لبه تیز تهیه شده و سریعاً وزن تازه آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر با دمای حدود پنج درجه سلسیوس و نور اندک غوطه‌ور شده و پس از تعادل به کمک کاغذ صافی آب روی سطح برگ گرفته شد، نمونه‌ها وزن شدند (وزن آماس کامل). سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند و دوباره وزن شدند (وزن خشک). میزان آب نسبی برگ از رابطه زیر محاسبه شد (۳۸):

$$RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن RWC میزان آب نسبی، FW وزن تازه برگ، DW وزن خشک برگ و TW وزن برگ در حالت آماس کامل است.

وابستگی اندوفیتی

وابستگی اندوفیتی با فرمول زیر محاسبه شد (۴۸):

وابستگی اندوفیتی (٪) = (وزن خشک گیاه با قارچ – وزن خشک گیاه بدون قارچ) / وزن خشک گیاه با قارچ ×100 (۲)

تجزیه آماری داده‌ها

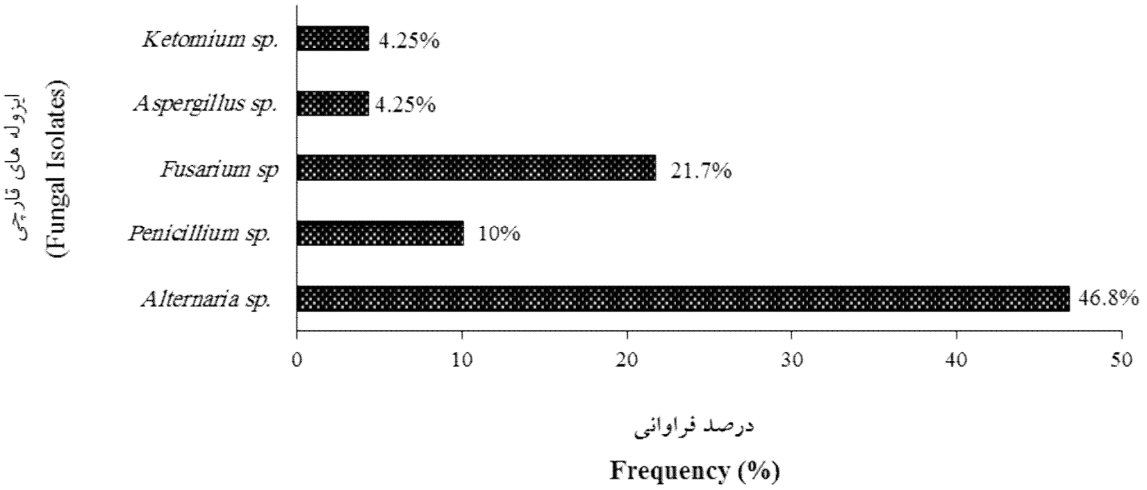
تجزیه واریانس داده‌ها با کمک نرم‌افزار SPSS انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. رسم نمودارها با نرم‌افزار MS Excel صورت گرفت.

نتایج

شناسایی جدایه‌های قارچی

تعداد ۱۲۰ جدایه قارچی از ریشه نخل‌های خرمای باغات ۴۰ منطقه در استان‌های بوشهر، خوزستان، سیستان و بلوچستان، فارس، کرمان، هرمزگان و یزد جداسازی شد که در ۵ جنس عمده طبقه‌بندی شدند (شکل ۱).

بر اساس ریخت‌شناسی، ۱۲ جدایه قارچی دیواره تیره مورد بررسی، مربوط به جنس‌های *Fusarium* sp. (شامل جدایه‌های 8-B, 10-D, 4-B, 16-A, 21-A, 22-C, 22-E)، *Alternaria* sp. (شامل جدایه‌های 19-F,14-A,15-D)، *Penicillium* sp. (شامل جدایه 11-C) و *Acrocalymma* sp. شامل جدایه (D-۳۹) بودند.



شکل ۱. درصد فراوانی جدایه‌های قارچی ریشه‌های درختان خرمای مورد بررسی.

Fig. 1. Frequency percentage of fungal isolates of the roots of the studied palm trees.

جدول ۱. تجزیه واریانس تأثیر قارچ درون‌زی، شوری و برهم‌کنش آن‌ها بر وزن تازه شاخساره (SFW)، وزن تازه ریشه (RFW)، وزن خشک شاخساره (SDW)، وزن خشک ریشه (RDW)، وزن تازه بوته (PFW) و وزن خشک بوته (PDW).

Table 1. Analysis of variance for the effect of endophytic fungi, salinity and their interaction on shoot fresh weight (SFW), root fresh weight (RFW), shoot dry weight (SDW), root dry weight (RDW), plant fresh weight (PFW) and plant dry weight (PDW).

		میانگین مربعات (Mean Squares)					
Source of variation	df	SFW	RFW	SDW	RDW	PFW	PDW
Fungi isolate	12	0.855**	0.305**	0.012**	0.013**	1.68**	1.68**
Salinity	2	7.626**	4.3**	0.123**	0.214**	23.37**	0.031**
Fungi isolate × Salinity	24	0.101**	0.036**	0.001**	0.002**	0.129**	0.002*
Error	78	0.037	0.012	0.001	0.001	0.058	0.001
Total	117						

* و ** به‌ترتیب بیان‌گر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

* and ** stand for non-significant and significant effects at 5 and 1% probability levels, respectively.

شاخص‌های رویشی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تیمار اندوفیت و شوری بر صفات وزن تازه ریشه و شاخساره، وزن خشک ریشه و شاخساره، وزن خشک و تازه بوته اثر معنی‌داری داشت. همچنین اثر برهم‌کنش تیمار قارچی و شوری بر این صفات معنی‌دار بود (جدول ۱). بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان داد مقادیر شاخص‌های رویشی مورد بررسی در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به تیمار بدون شوری روند کاهشی داشت. با افزایش شوری در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار میانگین وزن تازه شاخساره نسبت به تیمار بدون شوری به‌ترتیب ٪۲۲/۹ و ٪۳۶/۹ کاهش یافت (جدول ۲). در تیمار قارچی با جدایه 11-C وزن تازه شاخساره در شرایط تنش شوری نسبت به شرایط بدون تنش کم‌ترین کاهش را نشان داد. گیاه تیمار شده با این جدایه در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به سطح صفر شوری به‌ترتیب ٪۹/۳ و ٪۱۱/۱ وزن تازه شاخساره کم‌تری داشت و نسبت به تیمار بدون قارچ در سطوح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۱۵/۱، ۳۰/۰ و ۵۲/۰ درصد وزن تازه بیش‌تری داشت (جدول ۲). میانگین وزن خشک شاخساره در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به‌ترتیب کاهش ۲۵ و ۳۹ درصدی نسبت به تیمار بدون شوری داشت (جدول ۲). در شرایط تنش شوری، با تیمار قارچی 11-C کم‌ترین کاهش وزن

جدول ۲. اثر برهم‌کنش قارچ درون‌زی و شوری بر وزن تازه شاخساره (SFW)، وزن تازه ریشه (RFW)، وزن خشک شاخساره (SDW)، وزن خشک ریشه (RDW)، وزن تازه بوته (PFW) و وزن خشک بوته (PDW).

Table 2. Interaction effect of endophytic fungi and salinity on shoot fresh weight (SFW), root fresh weight (RFW), shoot dry weight (SDW), root dry weight (RDW), plant fresh weight (PFW) and plant dry weight (PDW).

وزن خشک شاخساره (گرم در گیاه) Shoot dry weight (g/plant)				وزن تازه شاخساره (گرم در گیاه) Shoot fresh weight (g/plant)				
Mean	NaCl (100 mM)	NaCl (50 mM)	NaCl (0 mM)	Mean	NaCl (100 mM)	NaCl (50 mM)	NaCl (0 mM)	نام قارچ
0.23^{b-d}	0.15^{p-t}	0.23^{g-o}	0.29^{a-f}	2.12^{a-c}	1.85^{f-k}	2.14^{d-g}	2.37^{b-d}	4-B
0.25^{ab}	0.17^{o-s}	0.23^{f-n}	0.35^{a}	1.75^{d}	1.39^{l-n}	1.63^{j-l}	2.22^{c-f}	8-B
0.26^{a}	0.19^{k-r}	0.25^{c-k}	0.34^{ab}	2.18^{a-c}	1.71^{h-l}	1.99^{e-j}	2.82^{a}	10-D
0.26^{a}	0.22^{i-p}	0.27^{c-i}	0.30^{a-d}	2.10^{bc}	2.00^{d-j}	2.04^{d-i}	2.25^{c-e}	11-C
0.24^{a-c}	0.21^{i-p}	0.23^{g-o}	0.29^{a-f}	2.12^{abc}	1.72^{h-l}	2.07^{d-h}	2.56^{a-c}	14-A
0.21^{c-e}	0.16^{p-t}	0.20^{j-p}	0.29^{b-g}	1.94^{c}	1.24^{m-o}	1.92^{e-k}	2.66^{ab}	15-D
0.27a	0.22^{h-o}	0.27^{c-h}	0.31^{a-c}	2.08^{bc}	1.61^{kl}	2.00^{d-j}	2.64^{ab}	16-A
0.19^{de}	0.14^{q-t}	0.18^{l-s}	0.24^{d-l}	1.34^{f}	1.01^{o}	1.07^{m-o}	1.94^{e-j}	19-F
0.197^{d-f}	0.13^{r-t}	0.20^{j-q}	0.25^{c-j}	1.59^{de}	1.08^{m-o}	1.41^{lm}	2.27^{c-e}	21-A
0.22^{b-e}	0.19^{k-s}	0.22^{h-o}	0.25^{c-j}	1.96^{c}	1.67^{i-l}	1.95^{e-k}	2.26^{c-e}	22-C
0.24^{a-b}	0.18^{m-s}	0.23^{f-n}	0.3^{a-e}	2.31^{a}	2.02^{d-i}	2.14^{d-g}	2.78^{a}	22-E
0.17^{f-g}	0.13^{r-t}	0.17^{n-s}	0.20^{j-q}	1.63^{d}	1.05^{no}	1.83^{g-k}	2.02^{d-h}	39-D
0.16^{g}	0.11^{t}	0.15^{st}	0.24^{e-m}	1.43^{ef}	0.96^{o}	1.42^{lm}	1.91^{e-j}	Control
	0.17^{c}	0.21^{b}	0.28^{a}		1.49^{c}	1.82^{b}	2.36^{a}	Mean

وزن خشک ریشه (گرم در گیاه) Root dry weight (g/plant)				وزن تازه ریشه (گرم در گیاه) Root fresh weight(g/plant)				
Mean	NaCl (100 mM)	NaCl (50 mM)	NaCl (0 mM)	Mean	NaCl (100 mM)	NaCl (50 mM)	NaCl (0 mM)	نام قارچ
0.26^{a}	0.20^{g-j}	0.26^{c-f}	0.33^{ab}	1.34^{a}	1.14^{f-i}	1.35^{cde}	1.53^{a-c}	4-B
0.18^{e-g}	0.13^{l-o}	0.19^{g-k}	0.22^{d-h}	1.01^{c}	0.76^{l-o}	0.89^{j-m}	1.39^{c-e}	8-B
0.17^{e}-g	0.09^{n-p}	0.15^{i-m}	0.27^{b-e}	0.93^{cd}	0.54^{p-s}	0.81^{k-n}	1.44^{b-d}	10-D
0.24^{ab}	0.16^{h-m}	0.21^{f-i}	0.36^{a}	1.15^{b}	0.79^{l-o}	0.97^{i-l}	1.69^{a}	11-C
0.22^{b-d}	0.14^{k-o}	0.21^{f-i}	0.30^{bc}	1.16^{b}	0.86^{j-m}	1.05^{g-j}	1.59^{ab}	14-A
0.18^{ef}	0.15^{j-n}	0.18^{h-m}	0.22^{e-h}	0.90^{cd}	0.64^{n-q}	0.87^{j-m}	1.21^{e-h}	15-D
0.20^{c-e}	0.13^{k-o}	0.20^{g-j}	0.28^{bcd}	1.01^{c}	0.79^{l-o}	0.97^{i-l}	1.27^{d-f}	16-A
0.17^{fg}	0.08^{op}	0.15^{j-n}	0.27^{b-e}	0.75^{e}	0.39^{s}	0.81^{k-n}	1.05^{g-j}	19-F
0.23^{bc}	0.12^{m-p}	0.25^{c-g}	0.32^{ab}	0.88^{d}	0.43^{rs}	0.96^{i-l}	1.25^{d-g}	21-A
0.21^{b-d}	0.16^{h-m}	0.19^{g-k}	0.29^{bc}	0.91^{cd}	0.71^{m-p}	0.89^{j-m}	1.14^{f-i}	22-C
0.14^{gh}	0.09^{n-p}	0.14^{k-o}	0.20^{gh}	0.75^{e}	0.50^{q-s}	0.72^{m-p}	1.04^{g-j}	22-E
0.19^{d-f}	0.13^{l-o}	0.16^{h-m}	0.28^{bc}	0.95^{cd}	0.6^{o-r}	0.82^{k-n}	1.43^{b-d}	39-D
0.13^{h}	0.06^{p}	0.12^{m-o}	0.22^{e-h}	0.67^{e}	0.36^{s}	0.63^{n-q}	1.03^{h-k}	Control
	0.13^{c}	0.19^{b}	0.27^{a}		0.65^{c}	0.90^{b}	1.31^{a}	Mean

ادامه جدول ۲.

وزن خشک بوته (گرم در گیاه) Plant dry weight (g/plant)				وزن تازه بوته (گرم در گیاه) Plant fresh weight (g/plant)				
Mean	NaCl (100 mM)	NaCl (50 mM)	NaCl (0 mM)	Mean	NaCl (100 mM)	NaCl (50 mM)	NaCl (0 mM)	نام قارچ
0.49^{ab}	0.36^{m-p}	0.49^{e-h}	0.62^{ab}	3.47^{a}	2.99^{f-i}	3.50^{b-e}	3.90^{ab}	4-B
0.43^{cd}	0.30^{pq}	0.42^{i-k}	0.57^{b-d}	2.76^{ef}	2.15^{m-o}	2.52^{j-m}	3.61^{b-d}	8-B
0.43^{cd}	0.28^{qr}	0.40^{j-m}	0.61^{ab}	3.11^{bc}	2.26^{l-o}	2.81^{g-k}	4.26^{a}	10-D
0.51^{a}	0.38^{k-n}	0.49^{f-h}	0.66^{a}	3.25^{ab}	2.79^{g-k}	3.01^{f-h}	3.94^{ab}	11-C
0.46^{bc}	0.35^{m-p}	0.447^{h-j}	0.60^{bc}	3.28^{ab}	2.58^{h-m}	3.13^{e-g}	4.15^{a}	14-A
0.40^{ef}	0.31^{o-q}	0.38^{k-n}	0.51^{e-g}	2.85^{de}	1.88^{o-q}	2.79^{g-k}	3.88^{a-c}	15-D
0.47^{b}	0.36^{l-o}	0.48^{f-i}	0.59^{bc}	3.10^{bc}	2.40^{k-n}	2.97^{f-k}	3.92^{ab}	16-A
0.37^{fg}	0.23^{r}	0.37^{k-n}	0.52^{d-f}	2.10^{h}	1.40^{r}	1.89^{o-q}	3.00^{f-g}	19-F
0.43^{de}	0.26^{qr}	0.45^{h-j}	0.58^{bc}	2.48^{g}	1.52^{qr}	2.39^{k-n}	3.52^{b-e}	21-A
0.44^{cd}	0.35^{m-p}	0.42^{j-l}	0.55^{c-e}	2.88^{c-e}	2.38^{k-n}	2.84^{g-k}	3.41^{d-f}	22-C
0.38^{fg}	0.27^{qr}	0.37^{k-n}	0.50^{e-h}	3.07^{b-d}	2.53^{i-m}	2.86^{g-j}	3.82^{a-d}	22-E
0.36^{g}	0.26^{qr}	0.34^{n-p}	0.49^{f-h}	2.59^{fg}	1.65^{p-r}	2.65^{h-l}	3.45^{c-e}	39-D
0.29^{h}	0.17^{s}	0.25^{qr}	0.46^{gh}	2.10^{h}	1.33^{r}	2.05^{no}	2.94^{gh}	Control
	0.30^{c}	0.41^{b}	0.56^{a}		2.15^{c}	2.73^{b}	3.68^{a}	Mean

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan test.

خشک شاخساره نسبت به شرایط بدون تنش مشاهده شد. وزن خشک شاخساره با تیمار قارچی 11-C در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار در مقایسه با سطح بدون شوری به‌ترتیب ۱۰٪ و ۲۶/۶٪ کم‌تر بود و نسبت به تیمار بدون قارچ در سطوح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۲۰/۰، ۴۴/۴ و ۵۲/۴ درصد وزن خشک بیش‌تری داشت (جدول ۲). وزن تازه ریشه در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار در مقایسه با تیمار بدون شوری به میزان ۳۱/۳٪ و ۵۰/۴٪ کاهش یافت (جدول ۲). در تیمار قارچی با 4-B وزن تازه ریشه در مقایسه با گیاه بدون قارچ در سطوح شوری صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۳۲/۷٪، ۵۳/۷٪ و ۶۸/۴٪ بیش‌تر بود. گیاه با تیمار قارچی 4-B در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به سطح بدون شوری به‌ترتیب ۱۱/۸٪ و ۲۵/۵٪ کاهش در وزن تازه ریشه داشته و این جدایه کم‌ترین کاهش وزن را در شرایط تنش شوری نسبت به شرایط بدون تنش داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین وزن خشک ریشه نشان داد با افزایش شوری وزن خشک ریشه کاهش یافت (جدول ۲). میزان وزن خشک ریشه در تیمار قارچی 4-B در سطوح شوری صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به تیمار بدون قارچ به‌ترتیب ۳۳/۳٪، ۵۳/۸٪ و ۷۰/۰٪ افزایش داشت. جدایه 11-C با اختلاف کمی نسبت به 4-B بیش‌ترین افزایش وزن خشک ریشه را نشان داد (جدول ۲). وزن تازه بوته با افزایش سطوح شوری در سطح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۲۵/۴٪ و ۴۱/۳٪ کاهش نشان داد. تیمار جدایه 4-B در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار بیش‌ترین وزن تازه بوته را نسبت به سایر تیمارها داشت و نسبت به تیمار بدون قارچ در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۴۱/۴ و ۵۵/۵ درصد وزن تازه بوته بیش‌تری داشت. با افزایش سطوح شوری، وزن خشک بوته کاهش یافت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر برهم‌کنش تیمار قارچی و شوری بر وزن خشک بوته در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد وزن خشک بوته در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به تیمار بدون شوری به‌ترتیب ۲۶/۸٪ و ۴۶/۴٪ کاهش یافت (جدول ۲). جدایه 11-C در سطوح شوری صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به‌ترتیب با ۳۰/۳٪، ۴۹/۰٪ و ۵۵/۳٪ نسبت به تیمار بدون قارچ افزایش وزن خشک بوته داشت. پس از آن جدایه 4-B قرار داشت (جدول ۲).

جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر قارچ درون‌زی، شوری و برهم‌کنش آن‌ها بر غلظت عناصر غذایی (Na, K, K/Na, P)، میزان آب نسبی برگ (RWC) و وابستگی اندوفیتی (ED).

Table 3. Analysis of variance for the effect of endophytic fungi, salinity and their interaction on nutrients (Na, K, K/Na, P) concentration and relative water content (RWC) of leaf and endophytic dependence (ED).

		مربعات میانگین (Mean Squares)					
Source	df	Na	K	K/Na ratio	P	RWC	ED
Fungi isolate	12	0.021**	0.004**	0.01**	1.71**	167.7*	373.828**
Salinity	2	20.402**	66.29**	26.22**	32.86**	164.6*	546.682**
Fungi isolate × Salinity	24	0.009**	0.004**	0.005**	0.472*	118.4*	20.097ns
Error	78	0.002	0.008	0.008	0.212	46.61	57.828
Total	117						

ns ، * و**به‌ترتیب بیان‌گر اثر غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

ns, * and ** stand for non-significant and significant effects at 5 and 1% probability levels, respectively.

عناصر غذایی

نتایج تجزیه واریانس مربوط به غلظت عناصر نشان می‌دهد تأثیر تیمار شوری و قارچ بر غلظت سدیم، پتاسیم و فسفر، و نسبت پتاسیم به سدیم شاخساره در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر برهم‌کنش شوری و قارچ بر غلظت فسفر شاخساره در سطح احتمال ۵٪ و بر بقیه صفات در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر سطوح شوری نشان می‌دهد با افزایش سطح شوری از صفر تا ۱۰۰ میلی‌مولار، غلظت سدیم در شاخساره به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری که سطح ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به سطوح ۵۰ میلی‌مولار و صفر به‌ترتیب ۲۱/۳٪ و ۳۴/۴٪ افزایش داشت. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت پتاسیم و فسفر شاخساره به‌ترتیب از سطوح شوری صفر و ۱۰۰ میلی‌مولار به‌دست آمد. با افزایش سطح شوری، غلظت پتاسیم و فسفر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به‌گونه‌ای که سطح ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به سطح ۵۰ میلی‌مولار و صفر به‌ترتیب ۲۵٪ و ۲۹٪ کاهش غلظت پتاسیم و ۱۴٪ و ۳۴٪ کاهش غلظت فسفر را سبب شد. به همین ترتیب با افزایش سطح شوری، نسبت غلظت پتاسیم به سدیم کاهش یافت و بین سطوح شوری تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴). تیمار جدایه 10-D در سطح صفر نسبت به گیاه بدون قارچ ۷/۷٪ غلظت سدیم کم‌تری نشان داد. در شوری ۵۰ میلی‌مولار، جدایه 4-B نسبت به تیمار بدون قارچ حدود ۸٪ کم‌تر بود و در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار، تیمار جدایه‌های 4-B و 14-A نسبت به تیمار بدون قارچ ۵/۳٪ غلظت کم‌تری داشت (جدول ۴). تیمار جدایه‌های 8-B و 11-C نسبت به بدون قارچ و سایر جدایه‌ها بیش‌ترین میانگین غلظت پتاسیم را در سطوح مختلف شوری نشان دادند (جدول ۴). کم‌ترین نسبت پتاسیم به سدیم مربوط به تیمار بدون قارچ بوده است. بیش‌ترین این نسبت در شوری صفر تیمار جدایه 10-D، در ۵۰ میلی‌مولار تیمار جدایه 4-B و در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار تیمار جدایه‌های 8-B و 4-B مشاهده شد که به‌ترتیب نسبت به تیمار بدون قارچ ۶/۴٪، ۸/۰٪ و ۶/۳٪ افزایش آن را نشان دادند (جدول ۴). در شرایط بدون شوری، جدایه 10-D بیش‌ترین غلظت فسفر را نشان داد. گیاه با تیمار قارچی 8-B نسبت به سایر جدایه‌ها کمتر تحت تأثیر شوری قرار گرفته و در سطح ۵۰ میلی‌مولار بیش‌ترین غلظت فسفر را داشت. در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار، جدایه 22-E بیش‌ترین غلظت فسفر را نشان داد که به‌ترتیب در سطوح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به تیمار بدون قارچ ۱۸/۰٪، ۲۷/۰٪ و ۲۱/۴٪ افزایش غلظت فسفر داشتند. بیش‌ترین میانگین غلظت فسفر در سطوح مختلف شوری جدایه 10-D مشاهده شد (جدول ۴).

میزان آب نسبی برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تیمار شوری و قارچی و برهم‌کنش تیمار قارچی و شوری بر RWC در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). گیاه تلقیح شده در شوری ۵۰ میلی‌مولار نسبت به دو سطح دیگر RWC بیش‌تری (۷۸/۵٪) داشت، در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۴/۷٪

جدول ۴. اثر برهم‌کنش قارچ درون‌زی و شوری بر غلظت عناصر غذایی در برگ گوجه فرنگی.

Table 4. Interaction effect of endophytic fungi and salinity on the concentration of nutrients in the leaf of tomato.

پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) K (mg/g DW)				سدیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) Na (mg/g DW)				
Mean	NaCl (100 mM)	NaCl (50 mM)	NaCl (0 mM)	Mean	NaCl (100 mM)	NaCl (50 mM)	NaCl (0 mM)	نام قارچ
7.39^{de}	5.89^{no}	7.93^{gh}	8.35^{bc}	3.34^{f}	4.11^{d}	3.15^{l}	2.77^{no}	4-B
7.44^{a}	6.046^{j}	7.92^{gh}	8.36^{bc}	3.38^{def}	4.20^{bc}	3.24^{ij}	2.69^{qr}	8-B
7.41^{abc}	5.93^{lm}	7.95^{ef}	8.36^{bc}	3.39^{cde}	4.22^{b}	3.28^{ij}	2.66^{r}	10-D
7.44^{a}	5.96^{kl}	7.98^{ef}	8.38^{b}	3.42^{bcd}	4.21^{b}	3.34^{fg}	2.71^{pq}	11-C
7.38^{e}	5.85^{o}	7.91^{i}	8.38^{b}	3.39^{bcd}	4.11^{d}	3.23^{jk}	2.84^{mn}	14-A
7.42^{abc}	5.92^{lm}	7.96^{ef}	8.37^{b}	3.40^{bcd}	4.16^{bc}	3.27^{ij}	2.78^{no}	15-D
7.42^{abc}	5.93 ^{lm}	7.97^{ef}	8.37^{bc}	3.37^{ef}	4.17^{bc}	3.21^{kl}	2.72^{pq}	16-A
7.39^{cde}	5.91^{mn}	7.95^{fg}	8.32^{d}	3.39^{cde}	4.17^{bc}	3.3^{hi}	2.7^{qr}	19-F
7.38^{e}	5.88^{no}	7.91^{hi}	8.35^{bc}	3.38^{cde}	4.13^{cd}	3.3^{gh}	2.71^{pq}	21-A
7.40^{bcd}	5.9^{mn}	7.97^{ef}	8.32^{cd}	3.42^{bcd}	4.13^{cd}	3.41^{ef}	2.71^{pq}	22-C
7.43^{ab}	5.94^{kl}	8.00^{e}	8.34^{bc}	3.43^{bc}	4.18^{bc}	3.36^{ef}	2.74^{op}	22-E
7.43^{ab}	5.99^{k}	7.91^{hi}	8.38^{b}	3.44^{b}	4.22^{b}	3.31^{gh}	2.8^{mn}	39-D
7.42^{ab}	5.88^{no}	7.93^{gh}	8.45^{a}	3.54^{a}	4.34^{a}	3.43^{e}	2.86^{m}	Control
	5.92^{c}	7.94^{b}	8.36^{a}		4.17^{c}	3.29^{b}	2.74^{a}	Mean

سدیم/پتاسیم K/Na				فسفر (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) P (mg/g DW)				
Mean	NaCl (100 mM)	NaCl (50 mM)	NaCl (0 mM)	Mean	NaCl (100 mM)	NaCl (50 mM)	NaCl (0 mM)	نام قارچ
2.32^{a}	1.43^{n}	2.51^{g}	3.01^{de}	4.66^{b}	3.98^{kl}	4.45^{hi}	5.54^{bc}	4-B
2.32^{a}	1.44^{n}	2.44^{hi}	3.10^{ab}	5.27^{a}	4.06^{jk}	5.86^{ab}	5.90^{ab}	8-B
2.32^{a}	1.40^{n}	2.42^{ij}	3.14^{a}	5.39^{a}	4.12^{ij}	5.54^{bc}	6.50^{a}	10-D
2.29^{abc}	1.41^{n}	2.38^{jk}	3.09^{ab}	4.64^{b}	3.26^{pq}	5.01^{cd}	5.66^{bc}	11-C
2.27^{bc}	1.42^{n}	2.44^{hi}	2.94^{f}	4.43^{bc}	2.98^{s}	5.01^{cd}	5.31^{bc}	14-A
2.28^{bc}	1.42^{n}	2.43^{hi}	3.00^{de}	4.37^{bc}	3.14^{qr}	4.61^{gh}	5.36^{bc}	15-D
2.32^{a}	1.42^{n}	2.48^{gh}	3.07^{bc}	4.33^{bc}	3.00^{rs}	4.60^{gh}	5.4^{bc}	16-A
2.30^{ab}	1.41^{n}	2.41^{ij}	3.08^{bc}	4.40^{bc}	3.20^{qr}	4.36^{fg}	5.36^{bc}	19-F
2.30^{abc}	1.42^{n}	2.40^{ij}	3.07^{bc}	4.06^{c}	3.52^{no}	3.84^{mn}	4.83^{de}	21-A
2.27^{bc}	1.42^{n}	2.33^{lm}	3.06^{bc}	4.04^{c}	3.56^{no}	3.86^{lm}	4.70^{ef}	22-C
2.28^{bc}	1.42^{n}	2.38^{kl}	3.04^{cd}	4.27^{bc}	4.16^{ij}	4.03^{kl}	4.63^{fg}	22-E
2.26^{c}	1.42^{n}	2.39^{jk}	2.99^{ef}	3.94^{c}	3.29^{pq}	3.75^{mn}	4.80^{de}	39-D
2.20^{d}	1.35^{o}	2.31^{m}	2.94^{f}	4.29^{bc}	3.27^{pq}	4.26^{hi}	5.33^{bc}	Control
	1.41^{c}	2.41^{b}	3.04^{a}		3.50^{c}	4.57^{b}	5.33^{a}	Mean

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan test.

و ۴/۳٪ مقادیر RWC در مقایسه با شوری صفر بیش‌تر بود (جدول ۵). جدایه 11-C، 39-D و 10-D به‌ترتیب در سطوح شوری صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار، بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش RWC نسبت به سایر جدایه‌ها و گیاه بدون قارچ داشت (شکل ۲A).

وابستگی اندوفیتی

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد اثر تیمار شوری و قارچ بر وابستگی اندوفیتی (ED) در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر برهم‌کنش شوری و قارچ بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین مربوط به سطوح شوری نشان داد ED در سطح ۵۰ میلی‌مولار نسبت به سطح شوری صفر ۳٪ افزایش داشته ولی ED در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به سطح شوری صفر ۱۴/۲٪ کاهش داشت (جدول ۵). نتایج نشان می‌دهد ED در تیمار جدایه 11-C نسبت به تیمار جدایه 19-F که کم‌ترین وابستگی را نشان داد، حدود ۵۴٪ افزایش یافت و جدایه‌های 4-B و 16-A پس از آن قرار داشتند (شکل ۲B).

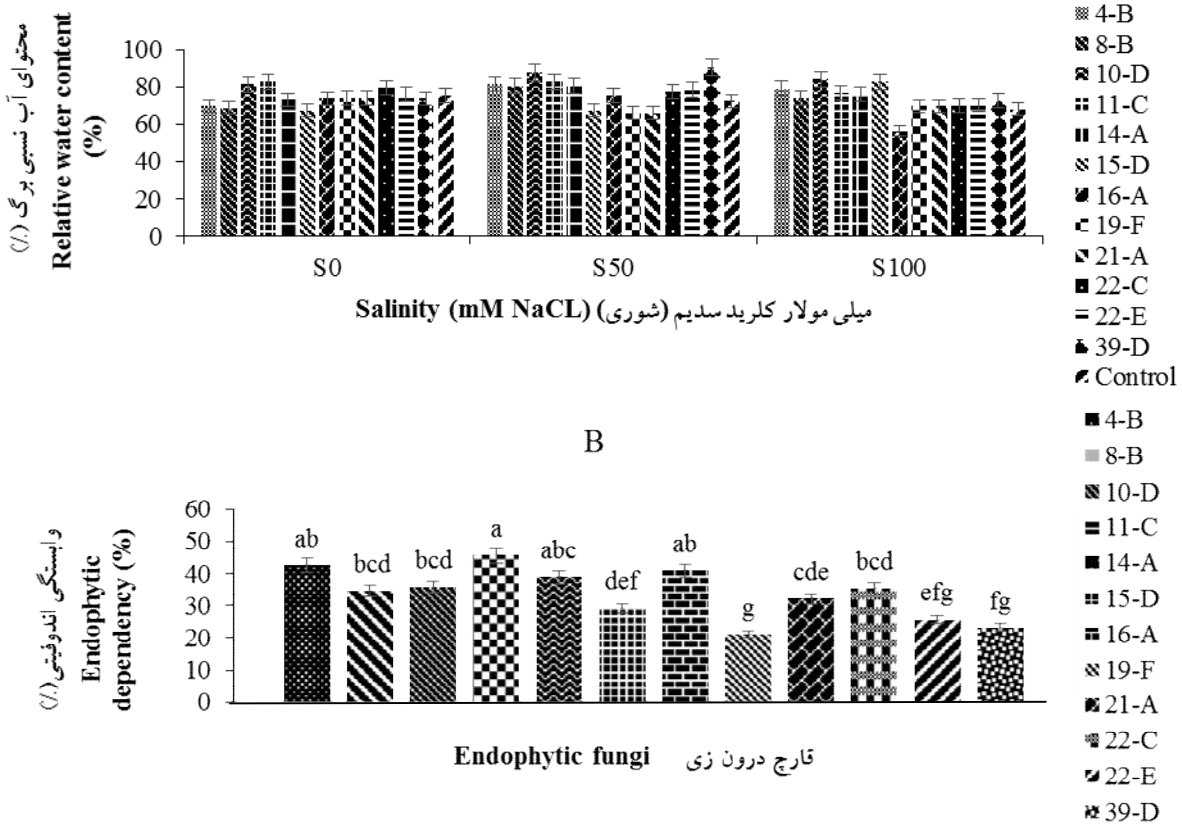
جدول ۵. اثر سطوح شوری بر میزان آب نسبی برگ (RWC) و وابستگی اندوفیتی (ED).

Table 5. Effect of salinity levels on relative water content (RWC) of leaf and endophytic dependence (ED).

Salinity level (mM) سطوح شوری	RWC (٪)	ED (٪)
Salinity (0 mM) شوری	74.8 b	35.07a
Salinity (50 mM) شوری	78.5 a	36.14a
Salinity (100 mM) شوری	75.1 b	30.1b

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

In each column, means with similar letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan test.



شکل ۲. تأثیر قارچ‌های درون‌زی [(پلاگ PDA 21-A, 22-C, 22-E, 39-D, control ([4-B, 8-B, 10-D, 11-C 14-A, 15-D, 16-A, 19-F, بر میزان آب نسبی برگ (A) گیاه گوجه‌فرنگی تحت سطوح شوری (S0: 0 و S50: 50 و S100:100 میلی‌مولار NaCl)، و تأثیر قارچ‌های درون‌زی بر وابستگی اندوفیتی (B)؛ شاخص روی ستون‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد است؛ ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig. 2. The endophytic fungi [4-B, 8-B, 10-D, 11-C, 14-A, 15-D, 16-A, 19-F, 21-A, 22-C, 22-E, 39-D, control (PDA plug)],On the Relative Water Content of leaves (A) of tomato plants under salinity levels (S0: 0, S50: 50 and S100: 100 mmol NaCl. and The Endophytic fungi on Endophytic Dependency (B); Error bars represents standard error of the means; Bars with at least one similar letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan test.

بحث

به‌دلیل آثار منفی شوری بر رشد و نمو گیاهان، محصولات کشاورزی در خاک‌های شور عملکرد کمتر از حد بهینه دارند. تغییرات آب و هوایی و به‌دنبال آن شور شدن خاک‌ها، موجب تشدید اثر تنش شوری برای محصولات شده است (۳۰). پژوهش‌ها نشان می‌دهد، در گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری، سرعت رشد برگ، وزن شاخه، طول گیاه، تعداد برگ، طول ریشه و سطح ریشه گیاه به‌شدت کاهش می‌یابد. افزایش سطح شوری باعث کاهش معنی‌دار در زیست‌توده گیاهی، اعم از ریشه، برگ و شاخه می‌شود. در شرایط تنش شوری تجزیه پروتئین‌ها سریع‌تر انجام می‌شود و به‌جای رشد، وزن گیاه کاهش می‌یابد (۳۳). نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش سطوح شوری، شاخص‌های رویشی تحت تأثیر شوری کاهش یافتند اما تیمار قارچی نسبت به تیمار بدون قارچ در همه سطوح شوری به‌طور معنی‌داری کاهش کم‌تری نشان دادند. این نتایج مشابه با یافته‌های پژوهشگران دیگر است (۲). زیست‌توده کل معمولاً شاخصی از توانایی گیاه در تحمل به شوری است. در چندین پژوهش نقش قارچ‌های درون‌زی در ایجاد مقاومت به شوری اثبات شده است (۱۷). در بررسی مورفی و همکاران (۳۰) تاثیر درون‌زی‌های قارچی بذر گیاه جو وحشی بر یک رقم جو در شرایط شوری (صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بررسی شد. نتایج نشان داد در گیاهان کلونیزه شده در سطوح شوری صفر و ۷۵ میلی‌مولار، صفات رشد اولیه، وزن خشک دانه، وزن خشک ساقه و ریشه، تعداد پنجه و تعداد دانه نسبت به گیاهان بدون قارچ افزایش یافتند. این بررسی نشان می‌دهد که ممکن است درون‌زی‌ها پتانسیل لازم برای بهبود رشد جو را در مکان‌های با تنش شوری متوسط داشته باشند. در پژوهشی خان و همکاران (۲۳) تحت تنش شوری (۷۰ و ۱۴۰ میلی‌مولار)، قارچ درون‌زی GMC-2A به‌عنوان یک جدایه جدید از *Penicillium funiculosum* LHL06، ویژگی‌های رشد سویا (طول ساقه، زیست‌توده تازه/خشک، محتوای کلروفیل، میزان فتوسنتز و سطح برگ) را در مقایسه با تیمارهای کنترل افزایش داد. قارچ درون‌زی جدا شده از ریشه‌های گوجه‌فرنگی تحت عنوان *Penicillium janthinellum* LK5، وزن تازه و طول شاخساره نهال‌های برنج را در مقایسه با گیاه شاهد و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار افزایش داد (۲۴). در بررسی عبدالعزیز و همکاران (۲) بر روی گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری در همزیستی با قارچ *P. indica* نتایج مشابهی به‌دست آمد. در پژوهش حاضر، تلقیح با برخی جدایه‌های قارچی تأثیر زیادی بر افزایش وزن تازه و خشک شاخساره (11-C)، وزن تازه ریشه (4-B)، وزن خشک ریشه (4-B و 11-C)، وزن تازه بوته (4-B) و وزن خشک بوته (11-C و 4-B) نسبت به سایر جدایه‌ها و گیاهان بدون قارچ داشتند. قارچ‌های درون‌زی با تولید ترکیبات فعال و آنزیم‌ها باعث انتقال بیش‌تر عناصر کم‌مصرف و پرمصرف مانند فسفر، گوگرد، کلسیم، منیزیم و پتاسیم از خاک به گیاه می‌شوند (۵۰). نتایج این پژوهش نشان داد در شرایطی که تنش شوری حاکم نیست گیاه بدون قارچ در مقایسه با دیگر گیاهان، سدیم بیش‌تری جذب می‌کند اما در همین شرایط غلظت پتاسیم توسط گیاهان بدون قارچ بیش‌تر بود. با افزایش سطح شوری در همه گیاهان، غلظت سدیم افزایش یافته و غلظت پتاسیم کاهش یافت. غلظت سدیم در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به ۵۰ میلی‌مولار در تیمار بدون قارچ نسبت به تیمار قارچی افزایش یافت. در همین شرایط غلظت پتاسیم کاهش یافت اما در بسیاری تیمارهای قارچی نسبت به بدون قارچ این کاهش کم‌تر بود. یافته‌های پژوهش حاضر مشابه نتایج پژوهشی است که دریافتند در دانهال‌های گوجه‌فرنگی کلونیزه شده در شاهد و با شوری متوسط نسبت به گیاهان غیرکلونیزه، به طور نسبی، غلظت عناصر افزایش بیش‌تری یافت (۹). مشابه این نتایج در دانهال‌های خیار هم مشاهده شده است (۴۱). افزایش غلظت سدیم در سلول‌ها، مکانیسم‌های مهم شیمیایی مربوط به رشد گیاه را مختل می‌کند؛ با تغییر نسبت سدیم به پتاسیم، فراهمی پتاسیم کاهش یافته و این در حالی است که برای فعالیت آنزیم‌های مختلف و برای تنظیم فشار اسمزی و بسته شدن

روزنه، سلول به پتاسیم نیاز دارد (۲). در نهایت با افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در سیتوزول، فعالیت آنزیم‌ها، سنتز پروتئین، فشار آماس، فتوسنتز و حرکت روزنه‌ای مختل می‌شود (۱۵). نتایج پژوهش حاضر نشان داد با افزایش سطح شوری، نسبت غلظت پتاسیم به سدیم کاهش یافت که البته در همه سطوح، گیاهان بدون قارچ کم‌ترین نسبت غلظت پتاسیم به سدیم را داشتند. بررسی‌ها نشان داده که گیاهان کلونیزه شده نسبت به کلونیزه نشده در شرایط تنش شوری نسبت سدیم به پتاسیم کم‌تری دارند (۴۱). درون‌زی‌ها با تنظیم کانال‌های اصلی سدیم و پتاسیم باعث رشد گیاه در شرایط تنش شوری می‌شوند. تیمار نهال برنج با قارچ *Penicillium janthinellum* LK5 که از ریشه گیاه گوجه‌فرنگی جدا شده بود، موجب کاهش سمیّت یون سدیم و افزایش میزان کلسیم در ریشه نهال برنج در شرایط شوری شد. این درون‌زی به گیاهان کمک کرد تا اسید آبسزیک را به میزان قابل‌توجهی تولید کنند و سطح اسید جاسمونیک را برای پاسخ به تنش‌ها کاهش دهد (۱ و ۱۷). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که درون‌زی‌ها با تولید جیبرلین‌ها و فعال کردن مکانیسم‌های دفاعی گیاه میزبان به رشد بهتر در شرایط تنش شوری کمک می‌کنند (۲۴). نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف شوری نشان می‌دهد برخی جدایه‌ها با کم‌ترین غلظت سدیم (4-B)، بیش‌ترین غلظت پتاسیم (8-B و 11-C) و بیش‌ترین نسبت غلظت پتاسیم به سدیم (4-B، 8-B، 10-D و 16-A) در مقایسه با گیاهان بدون قارچ قرار دارند. در پژوهش حاضر با افزایش سطح شوری، کاهش معنی‌داری در غلظت فسفر مشاهده شد. در تمام سطوح شوری، در بسیاری تیمارهای قارچی در مقایسه با تیمار بدون قارچ غلظت فسفر بیش‌تر بود. فسفر به‌دلیل نقش اساسی که در کارکرد و متابولیسم سلولی دارد از عناصر مهم و ضروری برای رشد گیاه است (۴۹). افزایش نمک در خاک به‌دلیل رقابتی که بین کاتیون‌ها ایجاد می‌کند موجب توقف ورود فسفر به گیاه می‌شود. کمبود فسفر بر رشد طبیعی گیاه تأثیر گذاشته و باعث مرگ زودرس برگ‌های مسن می‌شود (۳۲). اسیدهای آلی باعث افزایش فراهمی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک می‌شوند (۴۲). در همزیستی با قارچ *Nigrospora sphaerica*، غلظت فسفر در برگ‌ها و ریشه‌های گوجه‌فرنگی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (۴۰). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش قارچ و گیاه نشان می‌دهد تیمار جدایه 10-D بیش‌ترین غلظت فسفر را در سطوح مختلف شوری داشت (جدول ۴). نتایج پژوهش حاضر نشان داد با افزایش سطح شوری تا ۵۰ میلی‌مولار، RWC برگ افزایش یافته و با افزایش سطح شوری تا ۱۰۰ میلی‌مولار کاهش یافت. بیش‌ترین مقدار RWC را جدایه‌های 11-C، 39-D و 10-D به‌ترتیب در سطوح شاهد تا ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به سایر جدایه‌ها و گیاهان بدون قارچ داشت. این نتایج نشان داد تیمار قارچی در شرایط تنش شوری موجب بهبود جذب آب توسط گیاه شد اما در سطوح بیش‌تر شوری موجب کاهش هدایت هیدرولیکی ریشه و در نتیجه کاهش جریان آب از ریشه به‌سمت شاخساره شد. افزایش غلظت نمک در سلول‌های گیاهی منجر به کاهش پتانسیل آب برگ و محتوای آب نسبی بافت می‌شود. در شرایط غیرهمزیست تنش اسمزی به‌دلیل باز بودن روزنه‌ها تحت تأثیر میزان آب برگ قرار می‌گیرد اما در شرایط همزیستی با قارچ‌ها میزان فتوسنتز زیادی مشاهده شد؛ اگرچه پژوهش‌های دیگر نشان می‌دهد که تلقیح قارچ باعث افزایش ABA در برگ و ریشه در مقایسه با گیاهان شاهد شده است (۲۴). نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش سطح شوری تا ۵۰ میلی‌مولار، وابستگی گیاه گوجه‌فرنگی به قارچ‌های درون‌زی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌گونه‌ای که وابستگی اندوفیتی در سطح ۵۰ میلی‌مولار نسبت به سطح صفر شوری حدود ۳٪ افزایش داشت. جدایه‌های 11-C و 4-B بیش‌ترین وابستگی را نشان دادند. افزایش وابستگی اندوفیتی در شرایط شوری در گیاه گوجه‌فرنگی (۱۷) و گیاه باقلا (۳۶) نیز گزارش شده است. در محیط شور، گیاهان همزیست با قارچ به‌دلیل بهبود غلظت عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و یا تنظیم پتانسیل اسمزی، تحمل بیش‌تری نسبت به تنش شوری نشان می‌دهند. بر همین اساس در محیط شور وابستگی مایکوریزایی

گیاهان افزایش می‌یابد (۳۶). بررسی‌های آل‌طه (۴) نشان داد که شوری خاک بهتر از دیگر ویژگی‌های خاک می‌تواند تعداد درون‌زی‌های قارچی را کنترل کند یا شاید درون‌زی‌های قارچی به این ویژگی پاسخ زودتر و شدیدتری می‌دهند. در مناطقی که شوری خاک خیلی زیاد نیست درون‌زی‌های قارچی نقش زیادی ایفا نمی‌کنند ولی هنگامی که شوری خاک به حدی افزایش می‌یابد که تنها امکان بقای گونه‌های گیاهی مقاوم به شوری وجود دارد، درون‌زی‌ها نیز فعالیت بیش‌تری دارند. تنشی که به جامعه گیاهی وارد می‌شود سازگاری گیاهان به قارچ‌های ویژه را افزایش می‌دهد و هر چه شوری بیش‌تر شود نیاز همزیستی گیاهان با قارچ‌ها بیش‌تر خواهد بود (۲۸) به این دلیل که درون‌زی‌های قارچی می‌توانند در تنش‌ها موجب افزایش پایداری گیاهان از راه‌های گوناگون شوند (۲۷).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش در اثر اعمال تنش شوری بر گیاه گوجه فرنگی، وزن شاخساره و ریشه، غلظت پتاسیم، فسفر، نسبت غلظت پتاسیم به سدیم، میزان آب نسبی برگ به‌طور معنی‌دار کاهش یافته و غلظت سدیم در گیاه افزایش یافت. تیمار قارچی با قارچ‌های درون‌زی دیواره تیره جدا شده از ریشه نخل خرما موجب بهبود رشد گیاه گوجه فرنگی در شرایط تنش شوری گردید. تیمارهای قارچی 4-B (*Fusarium* sp.) و جدایه 11-C (*Penicillium* sp.) تا شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به سایر جدایه‌ها و تیمار بدون قارچ، زیست‌توده بیش‌تری داشتند که می‌تواند مربوط به نقش این جدایه‌ها در بهبود غلظت عناصر غذایی در گیاه باشد. جدایه‌های 4-B، 8-B (*Fusarium* sp.)، 10-D(*Fusarium* sp.) و 11-C در شرایط تنش شوری موجب بهبود غلظت عناصر غذایی شدند. نتایج نشان داد برخی جدایه‌ها با کم‌ترین غلظت سدیم (4-B)، بیش‌ترین غلظت پتاسیم (8-B و 11-C) و بیشترین نسبت غلظت پتاسیم به سدیم (4-B، 8-B، 10-D و 16-A) را در مقایسه با گیاهان بدون قارچ قرار داشتند. جدایه‌های 8-B و 10-D در افزایش غلظت فسفر نسبت به سایر ایزوله‌ها برتر بودند و در سطح بالای شوری تیمار جدایه 22-E نیز همانند 10-D غلظت فسفر زیادی داشت. در تیمار قارچی با جدایه 10-D در شرایط تنش شوری تا ۱۰۰ میلی‌مولار، میزان آب نسبی برگ بیش‌تر شده و وابستگی اندوفیتی با جدایه‌های 11-C و 4-B تا شوری ۵۰ میلی‌مولار (معادل ۵/۴۴ دسی‌زیمنس بر متر) افزایش یافت. در کل به نظر می‌رسد استفاده از جدایه‌های قارچی ریشه نخل خرما موجب افزایش بهره‌وری در زمین‌ها و آب‌های شور تحت کشت گوجه‌فرنگی می‌شود.

سپاسگزاری

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر خود را از دانشکده کشاورزی دانشگاه ولیعصر رفسنجان (گروه علوم و مهندسی باغبانی و گروه گیاه‌پزشکی) به‌خاطر حمایت مالی پایان‌نامه و از آزمایشگاه مرکزی دانشگاه ولیعصر به‌دلیل همکاری در اجرای پایان‌نامه اعلام دارند.

منابع مورد استفاده

1. Abdelaziz, M.E., Kim. D., Ali, S., Fedoroff, N.V., Al-Babili, S., 2017. The endophytic fungus *Piriformospora indica* enhances *Arabidopsis thaliana* growth and modulates Na^+/K^+ homeostasis under salt stress conditions. *Plant Science* 263: 107–115.
2. Abdelaziz, M.E., Abdelsattar, M., Abdeldaym, E.A., Atia, M.A., Mahmoud, A.W.M., Saad, M.M., Hirt, H., 2019. *Piriformospora indica* alters Na^+/K^+ homeostasis, antioxidant enzymes and LeNHX1 expression of greenhouse tomato grown under salt stress. *Scientia Horticulturae* 256: 108532.
3. Ahmad, P., 2014. Oxidative Damage to Plants: Antioxidant Networks and Signaling. Cambridge, MA: Academic Press.
4. Aletaha Maki, R., 2019. Study of Non-Pathogenic Fungi in Root of *Chenopodiaceae* Family in Wet and Dry Lands of Iran and Effect of Application of These Fungi and The Zn Treated Nano-Composite on Reduction Damage of

Drought Stress. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University.
5. Azad, K., Kaminskyj, S., 2016. A fungal endophyte strategy for mitigating the effect of salt and drought stress on plant growth. *Symbiosis* 68: 73–78.
6. Barrow, J., Aaltonen, R., 2001. Evaluation of the internal colonization of *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. roots by dark septate fungi and the influence of host physiological activity. *Mycorrhiza* 11: 199–205.
7. Barrow, J.R., Havstad, K.M., Hubstenberger, J., McCaslin, B.D., 1997b. Seed borne fungal endophytes on fourwing saltbush, *Atriplex canescens*. *Arid Land Research and Management* 11: 307–314.
8. Barnett, H.L., Hunter, B.B., 1998. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. 4th Edition. St. Paul, MN
9. Balliu, A., Sallaku, G., Rewald, B., 2015. AMF inoculation enhances growth and improves the nutrient uptake rates of transplanted, salt-stressed tomato seedlings. *Sustainability* 7(12): 15967–15981.
10. Blumwald, E., Grover, A., 2006. Salt tolerance. In: Halford, N.G. (Ed.), Plant Biotechnology: Current and Future Uses of Genetically Modified Crops. John Wiley & Sons Ltd., pp. 206–222.
11. Booth, C., 1971. The Genus *Fusarium*. Kew, England: Commonwealth Mycological Institute, Kew, UK.
12. Caines, A.M., Shennan, C., 1999. Interactive effects of Ca^{2+} and NaCl salinity on the growth of two tomato genotypes differing in Ca^{2+} use efficiency. *Plant Physiology and Biochemistry* 37(7-8): 569–576.
13. Dorais, M., Ehret, D.L., Papadopoulos, A.P., 2008. Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components, from the seed to the consumer. *Phytochemistry Reviews* 7(2): 231–250.
14. Egamberdieva, D., Wirth, S., Bellingrath-Kimura, S.D., Mishra, J., Arora, N.K., 2019. Salt-tolerant plant growth promoting rhizobacteria for enhancing crop productivity of saline soils. *Frontiers in Microbiology* 10: 2791.
15. Evelin, H., Devi, T.S., Gupta, S., Kapoor, R., 2019. Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: current understanding and new challenges. *Frontiers in Plant Science* 10: 470.
16. FAO and ITPS, 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils.
17. Ghorbani, A., Razavi, S.M., Ghasemi Omran, W., Pirdashti, H.A., 2018. The coexistence of endophytic fungi on some physiological characteristics of tomato plants under 10-day salinity stress. *Journal of Plant Process and Function* 7 (27): 193–207. (in Persian with Engligh abstract).
18. Giovannetti, M., Mosse, B., 1980. An evaluation the effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza infection in roots. *New Phytologist* 84: 489–500.
19. Gupta, S., Schillaci, M., Walker, R., Smith, P.M.C., Watt, M., Roessner, U., 2021. Alleviation of salinity stress in plants by endophytic plant-fungal symbiosis: Current knowledge, perspectives and future directions. *Plant Soil* 461(1): 219–244.
20. Hoagland, D.R., Arnon, D.I., 1950. The water-culture method for growing plants without soil. *California Agricultural Experiment Station* 347(2): 1–32.
21. Isaac, R.A., Kerber, J.D., 1971. Atomic absorption and flame photometry: techniques and uses in soil, plant and water analysis. In: Walsh, L.M.(Ed.), Instrumental Methods for Analysis of Soil and Plant Tissues. SSSA, Madison, pp. 17–37.
22. Jumpponen, A.R.I., Trappe, J.M., 1998. Dark septate endophytes: a review of facultative biotrophic root-colonizing fungi. *The New Phytologist* 140(2): 295–310.
23. Khan, A.L., Hamayun, M., Kim, Y.H., Kang, S.M., Lee, I.J., 2011. Ameliorative symbiosis of endophyte (*Penicillium funiculosum* LHL06) under salt stress elevated plant growth of *Glycine max* L. *Plant Physiology and Biochemistry* 49(8): 852–861.
24. Khan, A.L., Waqas, M., Khan, A.R., Hussain, J., Kang, S.M., Gilani, S.A., Lee, I. J., 2013. Fungal endophyte *Penicillium janthinellum* LK5 improves growth of ABA-deficient tomato under salinity. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 29(11): 2133–2144.
25. Kozlowski, T.T., 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology* 17(7): 490–490.
26. Liang, H., Xing, Y., Chen, J., Zhang, D., Guo, S., Wang, C., 2012. Antimicrobial activities of endophytic fungi isolated from *Ophiopogon japonicus* (Liliaceae). *BMC Complementary and Alternative Medicine* 12(1): 1–6.
27. Mandyam, K., Jumpponen, A., 2005. Seeking the elusive function of the root-colonising dark septate endophytic fungi. *Studies in mycology* 53: 173–189.
28. Min, Y.J., Park, M.S., Fong, J.J., Quan, Y., Jung, S., Lim, Y.W., 2014. Diversity and saline resistance of endophytic fungi associated with *Pinus thunbergii* in coastal shelterbelts of Korea. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 24(3): 324–333.
29. Molina-Montenegro, M.A., Acuña-Rodríguez, I.S., Torres-Díaz, C., Gundel, P.E., Dreyer, I., 2020. Antarctic root endophytes improve physiological performance and yield in crops under salt stress by enhanced energy production and Na^{+} sequestration. *Scientific Reports* 10(1): 1–10.
30. Murphy, B.R., Jadwiszczak, M.J., Soldi, E., Hodkinson, T.R., 2018. Endophytes from the crop wild relative *Hordeum secalinum* L. improve agronomic traits in unstressed and salt-stressed barley. *Cogent Food & Agriculture*

4(1): 1549195. https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1549195.
31. Nelson, P.E., Toussoun, T.A., Marassas, W.F.O., 1983. *Fusarium* species: An illustrated manual for identification. Pennsylvania State University Press, University Park. New York, 193 pp.
32. Niu, Y.F., Chai, R.S., Jin, G.L., Wang, H., Tang, C.X., Zhang, Y.S., 2013. Responses of root architecture development to low phosphorus availability: a review. *Annals of Botany* 112(2): 391–408.
33. Paridda, A.K., Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60(3): 324–349.
34. Philips, J.M., Hyman, D.S., 1970. Improved procedures clearing root and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Mycological Research* 55: 158–161.
35. Pringle, A., Baker, D.M., Platt, J.L., Wares, J.P., Latge, J.P., Taylor, J.W., 2005. Cryptic speciation in the cosmopolitan and clonal human pathogenic fungus *Aspergillus fumigatus*. *Evolution* 59(9):1886–1899.
36. Rabie, G.H., Almadini, A.M., 2005. Role of bioinoculants in development of salt-tolerance of *Vicia faba* plants under salinity stress. *African Journal of Biotecnology* 4: 210–222.
37. Redman, R.S., Sheehan, K.B., Stout, R.G., Rodriguez, R.J., Henson, J.M., 2002. Thermotolerance generated by plant/fungal symbiosis. *Science* 298(5598): 1581–1581.
38. Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science* 30(1): 105–111.
39. Rodriguez, R., Redman, R., 2008. More than 400 million years of evolution and some plants still can't make it on their own: plant stress tolerance via fungal symbiosis. *Journal of Experimental Botany* 59(5): 1109–1114.
40. Saad, M.M.G., Badry, H.H., 2020. Phytohormones producing fungal endophytes enhance nutritional status and suppress pathogenic fungal infection in tomato. *Journal of Agricultural Science and Technology* 22(5): 1383–1395.
41. Sallaku, G., Sandén, H., Babaj, I., Kaciu, S., Balliu, A., Rewald, B.J., 2019. Specific nutrient absorption rates of transplanted cucumber seedlings are highly related to RGR and influenced by grafting method, AMF inoculation and salinity. *Scientia Horticulturae* 243: 177–188.
42. Samolski, I., Rincon, A.M., Pinzón, L.M., Viterbo, A., Monte, E., 2012. The qid74 gene from *Trichoderma harzianum* has a role in root architecture and plant biofertilization. *Microbiology* 158(1): 129–138.
43. Schulz, B., Boyle, C., 2005. The endophytic continuum. *Mycological Research* 109(6): 661–686.
44. Schulz, B., Boyle, C., Draeger, S., Rommert, A.K., Krohn, K., 2002. Endophytic fungi: a source of biologically active secondary metabolites. *Mycological Research* 106(9): 996–1004.
45. Sonjak, S., Udovič, M., Wraber, T., Likar, M., Regvar, M., 2009. Diversity of halophytes and identification of arbuscular mycorrhizal fungi colonising their roots in an abandoned and sustained part of Sečovlje salterns. *Soil Biology and Biochemistry* 41(9): 1847–1856.
46. Strobel, G.A., 2003. Endophytes as sources of bioactive products. *Microbes and Infections* 5(6): 535–544.
47. Talebzadeh, Z., Mehdizadeh, H., Ijtihadi, H., Abrishamchi, P., 2009. Investigation of salinity tolerance threshold of two tomato cultivars (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of Plant Ecophysiology* 1: 64–78. (in Persian with English abstract)
48. Tawaraya, K., 2003. Arbuscular mycorrhizal dependency of different plant species and cultivars. *Soil Science and Plant Nutrition* 49(5): 655–668.
49. Uchida, R., 2000. Essential nutrients for plant growth: nutrient functions and deficiency symptoms. *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils* 4: 31–55.
50. Waqas, M., Khan, A.L., Kamran, M., Hamayun, M., Kang, S.M., Kim, Y.H. Lee, I.J., 2012. Endophytic fungi produce gibberellins and indoleacetic acid and promotes hostplant growth during stress. *Molecules* 17(9): 10754–10773.
51. Yaish, M.W., Cumar, P.P., 2015. Salt tolerance research in date palm tree (*Phoenix dactylifera* L.), past, present, and future perspectives. *Frontiers in Plant Science* 6: 348.

The Effect of Dark Septate Endophytes on Tolerance of Tomatoes to Salinity Stress

B. Damankeshan[1*], M.H. Shamshiri[2] and H. Alaei[3]

(Received: 10 February 2022; Accepted: 5 July 2022)

Abstract

Association of the plant with microorganisms such as dark septate endophytic fungi reduces the harmful effects of environmental stresses such as salinity. In this experiment, the effect of dark septate endophytes isolated from date palm roots on increasing salinity resistance of tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Super cheif) was investigated. The experiment was performed as a factorial in a completely randomized design with two factors including the type of isolate at 13 levels [4-B, 8-B, 10-D, 11-C, 14-A, 15-D, 16-A, 19-F, 21-A, 22-C, 22-E, 39-D, control (PDA plug)], and salinity at 3 levels (zero, 50 and 100 mM sodium chloride) with 3 replications. Tomato plants were inoculated with fungal isolates separated from date palm roots under salinity. Based on ANOVA results, in symbiosis with fungal isolates of 4-B and 11-C, the negative effects of salinity (up to 100 mM and equivalent to 9.52 dS/m) on tomato biomass were reduced. At salinity of 100 mM, 4-B had the highest plant fresh weight and 11-C had the highest plant dry weight compared to other treatments and were 55.51 and 26.55% higher than the non-inoculated treatments, respectively. By increasing the salinity level up to 100 mM, isolates of 4-B, 8-D, 10-D and 11-C had high efficiency in decreasing sodium concentration, increasing potassium concentration and potassium to sodium ratio. Symbiosis with some fungi (10-D and 8-B) caused a significant increase in phosphorus concentration (19%) compared to non-inoculated plants. At different salinity levels, isolates of 11-C, 39-D and 10-D increased the leaf relative water content. Increase in salinity up to 50 mM (equivalent to 5.44 dS/m) was associated with increased endophytic dependency and isolates of 11-C and 4-B showed the highest increase (43%) compared to other isolates.

Keywords: Endophytic fungi, Fungal isolates, Salinity, Date palm, Tomato.

Background and Objective: The date palm is known as a fruit tree with high salinity tolerance (1). Some varieties of dates can grow on coastal areas where they exposed to seawater and probably have some special salinity tolerance mechanisms (3). In the last two decades, there has been a great deal of interest in the study of symbiotic fungi. The diversity and dynamics of the population of endogenous fungi, the use of their inoculum to improve plant growth and health, the use of their active secondary metabolites and as a new biological source are the reasons for attention to these fungi (2). This study was conducted with the hypothesis that endogenous fungi in the rhizosphere of date palms are compatible to salinity condition and may be a reason for prominent tolerance of date palm trees to salinity stress if they are applied as

1- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University, Rafsanjan, Iran.
2- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University, Rafsanjan, Iran.
*: Corresponding author, Email: shamshiri@vru.ac.ir

symbiont to tomato roots, and they may mitigate the adverse effects of salinity on vegetative growth of plants.

Methods: The experiment was carried out as factorial based on completely randomized design with three replications. The first factor was salinity levels of 0, 50 and 100 mM sodium chloride. The second factor included the type of isolation at 13 levels [4-B, 8-B, 10-D, 11-C, 14-A, 15-D, 16-A, 19-F, 21-A, 22-C, 22-E, 39-D, control (PDA plug)]. The studied characteristics were vegetative indices, nutrients concentration, relative leaf water content and mycorrhizal dependency. The obtained data was analyzed using SPSS software and the means were compared using Duncan test ($p < 0.05$).

Results: Comparison of means showed that the values of vegetative indices at salinity levels of 50 and 100 mM had a decreasing trend compared to treatment without salinity. 4-B isolate had the highest plant weight at 50 and 100 mM levels compared to other treatments. The isolate of 11-C had plant dry weight by about 30.30, 97.48 and 26.55% greater at zero, 50 and 100 mM compared to the non-inoculated plants, respectively. Control non-inoculated plants showed 7.7% lower concentration of sodium. At 50 mM, isolate of 4-8 had 8% less sodium concentration compared to control and at 100 mM, treated plants with 4-B and 14-A had 5.3% less sodium concentration in comparison with control plants. 8-B and 11-C isolates showed the highest potassium concentration at different salinity levels compared to the plant without symbiosis and other isolates. In the absence of salinity, 10-D isolate showed the highest phosphorus uptake. The inoculated plants at 50 mM salinity had a higher relative water content (by 5.78%) than the other two levels. The endophytic dependency was increased by 3% at 50 mM relative to the zero level while it decreased by 14.17% at 100 mM in comparison with control.

Conclusions: Based on the results of this study, shoot and root weight, K, P, K/Na and leaf relative water content were decreased significantly due to salt stress whereas Na was decreased in tomato plants. Symbiosis relation of tomato plant with dark septate endophytes isolated from date palm root improved tomato plant growth under salinity stress. Colonized plants with isolates of 4-B (*Fusarium* sp.) and 11-C (*Penicillium* sp.) had more biomass than other isolates and control up to 100 mM of salinity which could be related to the role of these isolates in improving nutrient concentrations. Isolates of 4-B, 8-B (*Fusarium* sp.), 10-D (*Fusarium* sp.) and 11-C improved nutrients concentration under salinity stress up to 100 mM. Isolates of 8-B and 10-D were superior in P concentration in comparison with the other isolates. Plants inoculated with 10-D had more leaf relative water content up to 100 mM of salt stress and endophytic dependency was increased in plants inoculated with 11-C and 4-B up to 50 mM (equivalent to 5.44 dS/m). It seems that the use of fungal isolates of date palm root increases productivity of tomato in saline environments.

References:

1. Kozlowski, T.T., 1997. Responses of Woody Plants to Flooding and Salinity. Tree Physiology Monograph No.1. Heron Publishing.
2. Schulz, B., Boyle, C., 2005. The endophytic continuum. *Mycological Research* 109(6): 661–686.
3. Yaish, M.W., Cumar, P.P., 2015. Salt tolerance research in date palm tree (*Phoenix dactylifera* L.), past, present, and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*. 6, 348.