به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۰ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۷
صفحه‌های ۵۳۱-۵۱۷

ارزیابی توان رشد در گیاه اسپناج مایه‌زنی شده با قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا، مایکوریزا و قارچ‌های دیواره تاریک در تنش خشکی

راحله آل طه[1*]، علی اکبر صفری سنجانی[2]، دوستمراد ظفری[3]

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۲. استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۳. دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۷

چکیده

در بوم‌سازه‌های پر تنش همزیستی قارچ‌ریشه پیامدهای خوبی بر رشد گیاه به همراه دارد. هدف از این پژوهش پیامد کاربرد قارچ‌های اندوفیت دیواره تاریک، در برابر دو قارچ مایکوریز (گلوموس موسهآ و گلوموس اینترارادیسز) و پیریفورموسپورا ایندیکا (*P. indica*) بر گیاه اسپناج در حالت بی‌تنش و با تنش (گنجایش زراعی (FC) و ۵۰ درصد FC) بود. این پژوهش در گلخانه دانشگاه بوعلی سینا همدان در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۵ انجام شد. پس از مایه‌زنی گیاه اسپناج و سپری شدن دوره رشد رویشی در گلخانه (شش هفته)، گیاهان برداشت شدند و درصد همزیستی با ریشه، وزن تر و خشک، اندازه سبزینه و جذب برخی عناصر کم‌نیاز و پرنیاز بررسی شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که قارچ‌های مایه‌زنی‌شده به‌خوبی توانستند با ریشه‌های گیاه اسپناج همزیستی داشته باشد. بیشترین وزن تر با مایه‌زنی قارچ مایکوریز موسهآ (۲۰ گرم بر گیاه) و بیشترین وزن خشک (۴/۱ گرم بر گیاه)، سبزینه (۲/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) و نسبت پتاسیم به سدیم (۸/٤) با مایه‌زنی قارچ دیواره تاریک کروولاریا به‌دست آمد، ولی اندازه فسفر در گیاهان مایه‌زنی‌شده با مایکوریز اینترارادیسز (۳۱۱/۲ میلی‌گرم فسفر در ۱۰۰ گرم وزن خشک گیاه) بیشتر از دیگر تیمارها بود. در نهایت این پژوهش نشان داد که همزیستی قارچ‌های دیواره تاریک با گیاه اسپناج به اندازه همزیستی با مایکوریزا و قارچ *P. indica* سودمند بود.

کلیدواژه‌ها: پتاسیم، سالسولا، قارچ درون‌زی، ملانین، همزیستی.

* نویسنده مسئول
Email: rahelehaletaha@yahoo.com

۱. مقدمه

گیاهان با بسیاری از ریزجانداران خاک‌زی همزیستی دارند. پیامد سودمند قارچ‌ریشه یا همزیستی قارچ‌ها با ریشه گیاهان از دیرباز برای دانشمندان شناخته شده است. می‌توان گفت همه گونه‌های گیاهی به گونه‌ای با قارچ‌ها همزیستی دارند [۳۲]. در این میان قارچ‌هایی که بتوانند به درون یاخته‌های گیاهی بروند و به گونه درون‌زی یا اندوفیت بدون بیماری با گیاه زندگی کنند، توان بیشتری در برآوردن نیاز گیاه به برخی از مواد سوخت‌وسازی دارند. این توان، نیاز بررسی این گروه از قارچ‌ها را بیشتر نمایان می‌سازد. به هرگونه باید یادآور شد که همه قارچ‌های اندوفیت در همه چرخه زندگی خود پیامد سودمندی برای گیاه ندارند و گاهی می‌توانند بسته به ویژگی‌های زیستگاه و رخدادهای گوناگون به گونه‌ای بیماری‌زا در درون گیاه زندگی کنند [٤١]. قارچ‌های درون‌زی در زیستگاه سخت و دشوار برای گیاهان کارکرد پررنگ‌تری دارند چرا که در بومسازه‌های پر تنش که گیاه با کمبود آب و مواد غذایی روبه‌روست، گیاهان می‌توانند با همزیستی با این قارچ‌ها بر سختی‌های زیستگاه چیره شوند [٤٠]. پژوهش‌های گوناگون نشان داده است که قارچ‌های مایکوریزی پیامدهای چشم‌گیری بر رشد و فیزیولوژیک گیاهان دارند [١٦، ٣٤ و ٣٥]. چندی پیش نیز قارچ مایکوریز مانند دیگری به نام پیریفورموسپورا ایندیکا[1] از بیابان تار هندوستان جداسازی شده است که در پژوهش‌های گوناگون کارکردهای خوبی در کشت و افزایش رشد برخی از گیاهان داشته است [٤ و ٥].

گروه دیگری از قارچ‌ها که بیشتر در رده آسکومیست‌ها گروه‌بندی می‌شوند به نام قارچ‌های دیواره تاریک‌اند[2] که به تازگی شناسایی شده‌اند و توانایی آن‌ها در افزایش رشد گیاهان چشم‌گیر بوده است. نام دیواره تاریک وابسته به فراوانی ملانین در دیواره یاخته‌های آن‌ها است که در همزیستی با گیاهان می‌توانند، سودمند باشند. ملانین این قارچ‌ها با ساخت همتافته‌هایی[3] از رادیکال‌های آزاد در پی تنش‌های زیستی، از گیاهان نگهداری می‌کند. همچنین آنها در چرخه مواد غذایی گیاه کمک‌کننده هستند [۳۲]. در پژوهشی همزیستی گونه‌ای از قارچ‌های دیواره تاریک با گیاه گوجه‌فرنگی[4] بررسی و گزارش شد که این قارچ‌ها در بهبود رشد و کارکرد گیاه گوجه‌فرنگی و ویژگی‌های بیوشیمیایی کارایی چشم‌گیر دارند [۲۰]. اندام‌های قارچ‌های دیواره تاریک درون یاخته‌های گیاهی به گونه ریسه مانند با دیواره‌های سیاه تا قهوه‌ای، و سختینه یا اسکلروت قارچ و نیز ریسه‌های نازک شیشه‌ای دارای دیواره‌های عرضی، دیده خواهد شد [۲۱].

الگوی همزیستی گیاهان در آب‌وهوای گوناگون می‌تواند دچار دگرگونی شود، به گونه‌ای که گیاهانی که در شرایط زیستی خوب با مایکوریز همزیستی دارند، در بوم‌سازه‌های پرتنش بیشتر با قارچ‌های دیواره تاریک همزیستی دارند. در پژوهشی همزیستی گیاهان با این گروه از قارچ‌ها در سرزمین‌های سرد بیشتر از مایکوریز برآورد شده است [٣٦]. در کویرها و شوره‌زارهای ایران نیز گیاهانی زندگی می‌کنند که در برابر تنش‌های زیستی پایداری بالایی دارند. همان‌گونه که گیاهان خانواده اسپناجیان (کنوپودیاسه)[5] بزرگ‌ترین گونه‌های گیاهی سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک جهان است، بیشترین فراوانی را نیز در سرزمین‌های خشک و شور ایران دارد. کویرها و بیابان‌های خشک مرکزی و شوره‌زارهای شمال و جنوب ایران پوشیده از جنس‌ها و گونه‌های گوناگون

1. *Piriformospora indica*
2. Dark Septate Fungi
3. Complex
4. *Solanum lycopersicum*
5. *Chenopodiaceae*

این خانواده گیاهی است [۱۳]. چراکه آنها توان بالایی در برابر تنش‌های خشکی و شوری از خود نشان داده‌اند که این توان بالاوابسته به همزیستی با قارچ‌های گوناگون درون‌زی می‌تواند باشد. پژوهش‌گران بر این باورند که گیاهان خانواده کنوپودیاسه با قارچ‌های مایکوریز همزیستی ندارند، ولی گیاهان این خانواده بیشترین فراوانی را در سرزمین‌های پرتنش دارند. بر این پایه تلاش شد تا با جداسازی قارچ‌های درون‌زی از گونه‌هایی از خانواده کنوپودیاسه، سودمند یا زیان‌بار بودن آن‌ها بر گیاه دیگر در تنش خشکی بررسی شود. نگره‌های این پژوهش این بود که: ۱) گیاهان خانواده کنوپودیاسه با قارچ‌های مایکوریز همزیستی نمی‌سازند، ۲) همزیستی با قارچ‌های درون‌زی جداشده از گیاهان هم‌خانواده اسپناج[۱] می‌تواند رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه اسپناج را در تنش خشکی بهبود بخشد. هدف از انجام این پژوهش آزمون توانایی دو گونه قارچ درون‌زی جداسازی‌شده از گیاهان خانواده کنوپودیاسه در برابر دو گونه قارچ مایکوریز و قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا در همزیستی با گیاه اسپناج و افزایش رشد آن در تنش خشکی بوده است.

۲. مواد و روش

۱. ۲. نمونه‌برداری از گیاهان خانواده کنوپودیاسه و جداسازی و ساخت زادمایه قارچی

گونه‌های گیاهی سالسولا یزدیانا[۲] و سلمه‌تره[۳] در شهریور ۱۳۹۳ از کویر یزد و خلیج گرگان جهت جداسازی قارچ‌های دیواره تاریک، برداشت شدند. بعد از گندزدایی ریشه‌ها با الکل و هیپوکلریت سدیم، در اندازه دو و نیم میلی‌متری بریده و درون گشتگاه سیب‌زمینی– آگار کشت شدند. کشتگاه‌ها در انکوباتور با دمای ۲۳ درجه یک الی دو هفته نگهداری شدند و سپس از پایانه هر ریشه قارچ‌ها رشد یافتند که برای جداسازی بهتر هر کدام، به پتری جداگانه برده شدند. قارچ آلترناریا کانسورتیالیس[۴] از گیاه سالسولا یزدیانا رشدیافته در کویرهای خشک یزد، جداسازی شد. این گونه گیاهی بومی ایران است و نخستین بار در استان یزد شناسایی و گزارش شد [۱۵]. قارچ درون‌زی کروولاریا از ریشه گیاه سلمه‌تره که از دشت‌های شور خلیج گرگان در استان گلستان نمونه‌برداری شده بود، جداسازی شد. قارچ‌های مایکوریز گلوموس موسه‌آ[۵] و گلوموس اینترارادیسز[۶] آماده خریداری شدند. قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا از بایگانی قارچی گروه گیاهپزشکی دانشگاه بوعلی سینا گرفته شد.

۲. ۲. آماده‌سازی و مایه‌زنی گلدان‌ها

این پژوهش با آرایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال ۹۵-۱۳۹٤ در گلخانه دانشگاه بوعلی سینا انجام شد. داده‌های این پژوهش با کمک نرم‌افزار SAS (9.1) آنالیز شد و برای مقایسه میانگین‌ها از روش LSD بهره‌گیری شد. پیش از شروع آزمایش، خاک به کمک اتوکلاو، دو نوبت در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد برای نیم ساعت گندزدایی شد و به اندازه ۸۰۰ گرم در هر گلدان ریخته شد. از هر یک از قارچ‌های درون‌زی و پیریفورموسپوراایندیکا به اندازه چهار پلاگ قارچی (به قطر سه میلی‌متر) روی خاک گذاشته شد، سپس لایه نازکی از خاک (۵۰ گرم) روی آن ریخته تا آماده دانه‌گذاری شود. دانه‌های اسپناج (رقم ورامین) از مرکز تحقیقات کشاورزی همدان آورده و در الکل ۹٦ درصد در زمان ۳۰ ثانیه و هیپوکلریت سدیم

1. *Spinacia oleracea*
2. *Salsola yazdiana*
3. *Chenopodium album*
4. *Alternariaconsortialis*
5. *Glomus mosseae*
6. *Glomus* intraradices

رقیق (پنج درصد) در زمان پنج دقیقه گندزدایی شدند[۱٤]. سپس یک شبانه‌روز در آب گندزدایی شده خیسانده شدند. پس از آن در رویه خاک هر گلدان پنج بذر اسپناج نهاده و ۱۵۰ گرم خاک مانده روی آن ریخته شد.

برای کاربرد قارچ‌های مایکوریز از ۱۵۰ گرم خاک مانده، ۵۰ گرم خاک اسپوردار مایکوریزی در هر گلدان ریخته و پس از جای‌گذاری بذر، ۱۰۰ گرم خاک مانده بر روی آن افزوده شد. گیاهان در گلخانه دانشگاه بوعلی سینا با درجه دمای روز ۲۷ و شب ۱۸ درجه سانتی‌گراد در طول روز و شب برج اسفند و فروردین، رشد داده شدند. برای به‌دست آوردن نم خاک در گنجایش زراعی، ۵۰ گرم خاک گلدان در آون ۱۰۵ درجه در زمان ۲٤ ساعت خشک شد سپس خاک سه عدد گلدان سیراب و با آب اشباع شد. پس از ٤۸ساعت زیرنمونه‌هایی از خاک برداشته و وزن شده و در آون ۱۰۰ درجه خشک شد. درصد رطوبت وزنی خاک از رابطه زیر به دست آمد.

$$\text{درصد رطوبت وزنی خاک} = \frac{\text{وزن خاک تر} - \text{وزن خاک خشک}}{\text{وزن خاک خشک}} \times ۱۰۰$$

درصد رطوبت وزنی خاک در این پژوهش همانند نمناکی خاک در گنجایش زراعی گرفته شد. اندازه آب به‌دست‌آمده از گنجایش زراعی برای یک کیلوگرم خاک آون خشک برآورد شد و سپس تیمارهای تنش خشکی در دو اندازه گنجایش زراعی (بدون تنش) و ۵۰ درصد گنجایش زراعی (با تنش) در سه تکرار پس از چهار برگی‌شدن گیاهان با وزن کردن روزانه گلدان‌ها، به‌کار رفت [۷]. پس از جوانه‌زدن، گیاهان هر گلدان به چهار گیاه تنک شد. پس از گذشت شش هفته از رشد و در پایان دوره رویشی، گیاهان برداشت شدند.

۲. ۳. اندازه‌گیری ویژگی‌های بیوشیمیایی و عناصر کم‌-نیاز و پرنیاز

برای برآورد سبزینه برگ، ۰/۱ گرم از نمونه‌های تازه برگی با پنج میلی‌لیتر از استون کوبیده شدند. سپس در ٤۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند. به اندازه یک میلی‌لیتر از روشناور[1] با چهار میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد آمیخته و سپس شدت جذب رنگ سبز آن‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ٦٦۳ و ٦٤٥ نانومتر خوانده شد [۲٤]. برای اندازه‌گیری فلزهای سدیم، پتاسیم و روی در اندام هوایی گیاه، نیم گرم از گیاه خشک و آسیاب شده به همراه ۱۰ سی‌سی اسید نیتریک غلیظ برای دو ساعت در بن‌ماری ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد گرما داده شد و پس از خنک‌شدن پنج میلی‌لیتر آب اکسیژنه افزوده شد و دوباره در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد برای نیم ساعت گرما داده شد و سپس با کاغذ، پالایش شد و محلول به‌دست‌آمده به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. این شیرابه برای خواندن سدیم و پتاسیم با دستگاه فلیم‌فتومتر و روی با جذب اتمی نگهداری شد. فسفر گیاهی از روش شیرابه‌گیری با اسید نیتریک و رنگ‌سنجی زرد با شناساگرهای آمونیوم هپتا مولیبدات و آمونیوم وانادات انجام شد و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٤۲۰ خوانده شد [٤۳].

۲. ٤. رنگ‌آمیزی ریشه‌ها

برای بررسی درصد همزیستی و رنگ‌آمیزی ریشه از روش بارو و آلتونن [۲۱] بهره‌گیری شد. درصد کلونیزاسیون ریشه‌های مایکوریزی با بهره‌گیری از پتری مشبک به روش برخورد ریشه با خطوط و قارچ‌های درون‌زی از نسبت ریشه‌های آلوده شده با قارچ به همه ریشه‌های بررسی شده، برآورد شد [۲۳].

1. Supernatant

۳. نتایج و بحث

۱. ۳. قارچ‌های دیواره تاریک به‌کاررفته و همزیستی گیاه با قارچ‌ها

پس از جداسازی قارچ از گیاه سالسولا یزدیانا، شناسایی آن به روش ریخت‌شناسی و بسته به ویژگی‌های اسپور و اندام‌های زایشی انجام شد [٤٤]. قارچ آلترناریا دارای کنیدیوفورهای کوچک و خمیده هستند. کنیدی‌ها یا بدون پایه یا همراه یک پایه باریک هستند (شکل ۱-الف). هرچند قارچ آلترناریا به‌عنوان یک قارچ پاتوژن شناخته شده است ولی گونه‌هایی از ساپروفیت و اندوفیت نیز دارد [٤٤]. در چندین پژوهش دیگر نیز قارچ آلترناریا به‌عنوان یک درون‌زی مفید از گیاهان گوناگون جداسازی شده است. به گونه‌ای که این قارچ با افزایش جذب عناصر غذایی افزون شدن رشد گیاهان را در بر دارد [۱۷، ۱۹ و ۳۷]. پژوهش‌گرانی نیز مفید بودن قارچ آلترناریا در جوانه‌زنی دانه‌های گیاه آتریپلکس را گزارش دادند [۲٦]. قارچ درون‌زی دوم که در این پژوهش بهره‌گیری شده است از جنس کروولاریا است که بسته به ریخت اسپورها و کلید شناسایی [۲۵]، گونه کروولاریا اسپسیفرا[1] شناسایی شد. اسپورهای این قارچ استوانه‌ای و دارای دیواره‌های عرضی هستند (شکل ۱-ب). میسیلیوم‌ها قهوه‌ای تیره تا سیاه به گونه پنبه‌ای یا مخملی هستند.

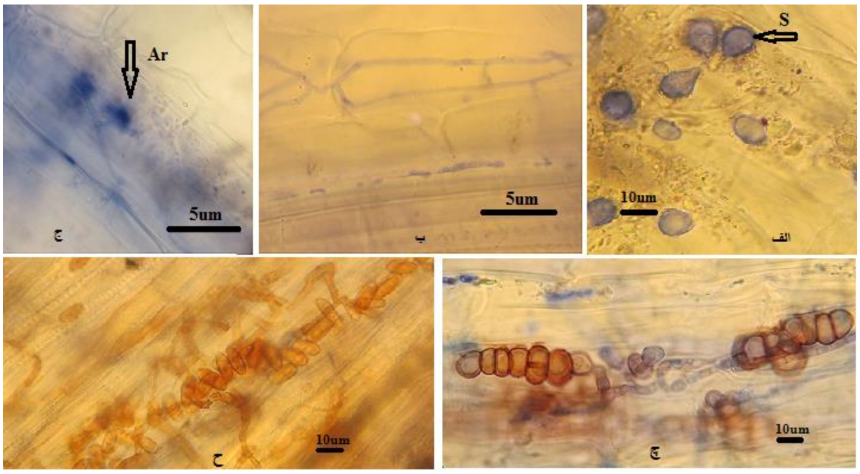
ریشه گیاهان مایه‌زنی‌شده با قارچ‌ها، پس از دوره رشد و برداشت آن برای بررسی آلودگی قارچی و درصد همزیستی رنگ‌آمیزی شد. بررسی‌های میکروسکوپی نشان داد که همه قارچ‌ها توانسته‌اند یاخته‌های ریشه را آلوده کنند (شکل ۲).

در بررسی درصد کلونیزاسیون، قارچ‌های دیواره تاریک ٦۰ تا ۷۰ درصد ریشه‌ها را کلونیزه کرده بودند ولی این درصد برای قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا ۳۰ درصد و برای قارچ‌های مایکوریز میان ۲۰ تا ۳۰ درصد بود. چندی پیش نیز گزارشی از بودن قارچ‌های مایکوریز در برخی گونه‌های کنوپودیاسه دشت‌های سمنان، انجام شده است. چگونگی همزیستی مایکوریزی چند گیاه غالب در بیابان‌های سمنان نشان داد گیاه آتریپلکس که از خانواده کنوپودیاسه می‌باشد، دارای همزیستی مایکوریزی است [۹]. آزمایش کشت گلخانه‌ای گیاهان خانواده اسپناج و شب‌بو و مایه‌زنی خاک آنها به قارچ همزیست گلوموس موسهآ نشان داد که ریشه گونه‌های گیاهی چغندر[2]، سلمه‌تره، علف سالسولا (شور) و اسپناج از خانواده کنوپودیاسه و کلزا، کلم، ترب سفید و خاکشیر از خانواده شب‌بو[3] با قارچ‌های مایه‌زنی‌شده آلوده نشده بود ولی شاهی و منداب از خانواده براسیکاسه دارای همزیستی میکوریزایی به‌ترتیب نه درصد و سه درصد بودند [۲]. در برابر این گزارش‌ها همزیستی میکوریزی در برخی از گونه‌های تیره اسپناج گزارش شده است. در هندوستان پنج گونه از قارچ‌های میکوریزآربوسکولار را در روی دو گونه اسپناجیان گزارش کرده‌اند [۳۹]. در بررسی ریشه گیاهان باغ بوعلی سینا، گیاه اسپناج و چغندر بدون همزیستی میکوریزی و تنها گیاه چغندر دارای آلودگی گسترده به اسکلروت قارچ‌های دیواره تاریک گزارش شده است [۳۸]. ولی پژوهش‌گرانی دیگر گونه سلمک[4] وگونه گچ‌دوست[5] وگونه چوبک[6] را از این خانواده میکوریزی گزارش کردند [۱]. به هرگونه پژوهشی که در آن میکوریزی شدن گیاه اسپناج گزارش شده باشد، یافت نشد و یافته‌های این پژوهش نخستین گزارش درباره این گیاه است.

1. *Curvularia specifera*

2. *Beta vulgaris*
3. *Brassicaceae*
4. *Chenopodium foliosum*
5. *Gypsophila aretioides*
6. *Acantahophyllumjuniperimum*

شکل ۱. نمایی از نمودار اسپورهای قارچ آلترناریا (الف)، کروولاریا (ب)



شکل ۲. ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده گیاه اسپناج پس از مایه‌زنی قارچ‌ها. الف) اسپورهای (S) گلابی مانند قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا، ب) هیف‌های درون یاخته‌ای قارچ مایکوریز اینترارادیسز، ج) آربوسکول (Ar) تشکیل‌شده از قارچ مایکوریز موسه‌آ، چ) سختینه قارچ آلترناریا، ح) اسپورها و هیف‌های قارچ کروولاریا

۳. ۲. پیامد کاربرد قارچ‌ها بر رشد گیاه

تجزیه واریانس داده‌های به‌دست‌آمده از وزن تر و خشک و سبزینه گیاه اسپناج پس از مایه‌زنی قارچ مایکوریز (موسه‌آ و اینترارادیسز)، پیریفورموسپورا ایندیکا و دو گونه از قارچ‌های دیواره تاریک با دو سطح آبیاری در جدول ۱ آورده شده است.

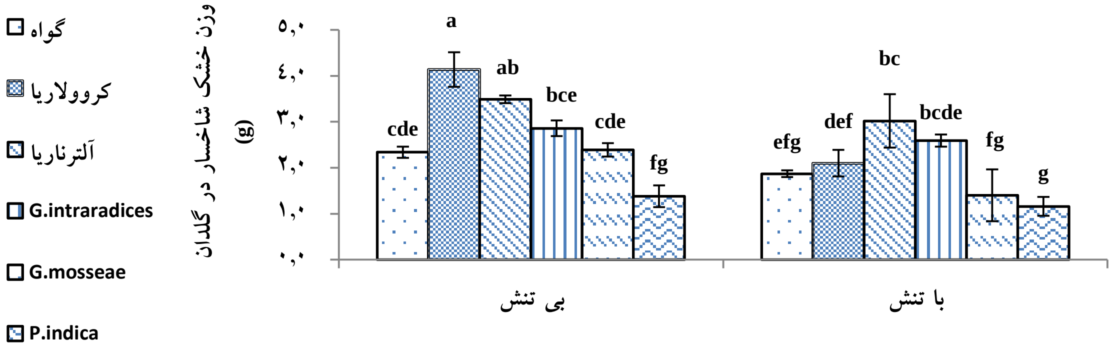
۳. ٤. وزن تر و خشک شاخساره

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنش خشکی و مایه‌زنی گونه‌های قارچی پیامد چشم‌گیری (اختلاف معنی‌دار) در پایه ۰/۰۱ درصد بر وزن تر و خشک شاخساره داشتند. پیامد برهمکنش تنش و قارچ نیز بر وزن خشک شاخساره چشم‌گیر شد (جدول ۱). گیاه مایه‌زنی‌شده با قارچ مایکوریز موسه‌آ بیشترین وزن تر (۲۰ گرم بر گیاه) و گیاه مایه‌زنی‌شده با *P. indica* کمترین وزن تر (۱۱/٦ گرم بر گیاه) را داشتند. دیگر قارچ‌ها مایه ناهمانندی چشم‌گیری در وزن تر گیاه اسپناج نشدند. در آزمون میانگین وزن خشک گیاه در برهمکنش قارچ و تنش، بیشترین وزن خشک (٤/۱ گرم بر گیاه) در مایه‌زنی گیاه با قارچ کروولاریا و بدون تنش و کمترین وزن خشک (۱/۱ گرم بر گیاه) در مایه‌زنی گیاه با قارچ *P. indica* و با تنش به‌دست آمد (شکل۳).

جدول ۱. تجزیه واریانس وزن تر و خشک و سبزینه گیاه اسپناج در تنش خشکی

تیمارها	درجه آزادی	میانگین مربع‌ها				
		وزن تر شاخسار	وزن خشک شاخسار	سبزینه a	سبزینه b	همه سبزینه
گونه قارچ	۵	۳۵/۳۹***	۳/۵۶***	۱/۱۷***	۰/۱۵***	۲/۱۶***
تنش	۱	۱۱۸/۰۱***	۴/۹۸***	۰/۱۵ns	۰/۰۱۲ns	۰/۲۵ns
قارچ × تنش	۵	۷/۸ns	۰/۷۲*	۰/۱۷*	۰/۰۲*	۰/۳۳*
خطا	۲۴	۴/۰۴	۰/۲۶	۰/۰۶۶	۰/۰۰۸	۰/۱۲۲
ضریب پراکندگی (٪)		۱۲/۸۸	۲۱/۶۲	۲۰/۵۳	۲۰/۶۴	۲۰/۵۱

***و *: به ترتیب پیامد چشم‌گیر در پایه آماری ۰/۰۰۱ و ۰/۰۵.



شکل ۳. برهمکنش قارچ و تنش بر وزن خشک شاخساره

(حروف غیر مشابه نشانگر پیامد چشم‌گیر در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD)

پیش‌بینی می‌شد که تنش آبی هم بر وزن تر و هم بر وزن خشک گیاه پیامد داشته باشد زیرا نخستین واکنش گیاه در تنش آبی کاهش رشد یاخته است که در پی آن مایه کاهش وزن برگ و ساقه می‌شود [۲۲]. مایه‌زنی با قارچ‌های دیواره تاریک آلترناریا چه در تنش و چه در بدون تنش پیامد یکسانی بر وزن خشک گیاه اسپناج داشته است که این نشان از توان بالای این قارچ در سازگار کردن و افزایش برداری گیاه به تنش خشکی است. پژوهش‌گرانی، در برهمکنش شوری و قارچ مایکوریز در گیاه گندم[۱] به یافته‌های همانندی در افزایش وزن خشک گیاه، رسیدند. وزن خشک گیاهانی که با مایکوریز موسهآ و گیگااسپورا[۲] مایه‌زنی شده بود، بیشتر از گیاهانی بود که با مایکوریز اینترارادیسز مایه‌زنی شده بود. قارچ مایکوریز موسهآ در برابر دیگر گونه‌ها شبکه هیفی گسترده‌تر با ریشه‌های مویین بیشتر پدید می‌آورد که در جذب آب و عناصر کمک‌کننده‌تر است [۶]. قارچ‌های درون‌زی دیواره تاریک نیز در یاری رساندن به گیاه کارکردی همانند قارچ‌های مایکوریز دارند. اگرچه هنوز سازوکار این قارچ‌ها در افزایش رشد گیاه به‌خوبی شناخته نشده است ولی در همکاری آنها در ساخت بسیاری از متابولیت‌ها، هورمون‌ها و آنزیم‌های کمک‌کننده شکی نیست [۳۱]. در این پژوهش کارکرد قارچ‌های مایکوریز در بهبود وزن

1. *Triticum aestivum*

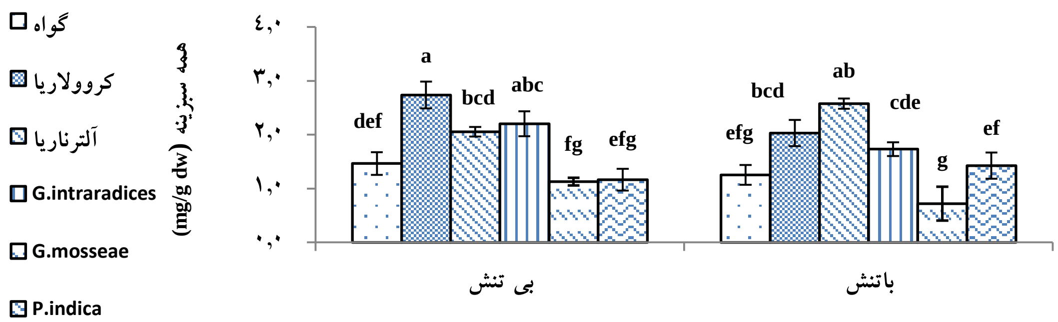
2. *Glomus geosporum*

خشک گیاه کم‌رنگ‌تر و پس از قارچ‌های دیواره تاریک هستند که این شاید به‌دلیل وابستگی و پیوند کمتر گیاه اسپناج به همزیستی میکوریزایی باشد، به‌گونه‌ای که قارچ‌های دیواره تاریک بهتر از آنها می‌توانند مایه آلودگی گیاه اسپناج شوند.

۳.۵. سبزینه برگ

یافته‌های به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری همه سبزینه و سبزینه a و b روندی یکسان داشت و بیشترین سبزینه به اندازه ۲/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ در تیمار بدون تنش و مایه‌زنی با قارچ دیواره تاریک کروولاریا به‌دست آمد که با تیمار مایه‌زنی با قارچ دیواره تاریک آلترناریا همراه با تنش، نابرابری چشم‌گیری ندارد. کمترین سبزینه به اندازه ۰/۷۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک، در تیمار تنش و مایه‌زنی با قارچ مایکوریز موسه‌آ به‌دست آمد (شکل ٤).

در تنش خشکی میان آنزیم‌های گلوتامیل کیناز و گلوتامات لیگاز بر سر گلوتامات که پیش‌ماده سبزینه و پرولین است، رقابت درمی‌گیرد که سرانجام گلوتامات به ساخت پرولین می‌رسد و از ساخت زیستی سبزینه کاسته می‌شود [۱۱]. در پژوهشی اندازه همه سبزینه گندم ۲/۷ میلی‌گرم بر گرم در تنش خشکی گزارش شده است که در همزیستی با مایکوریز موسه‌آ این اندازه به ٤/۵ میلی-گرم بر گرم وزن خشک گیاه افزایش یافته است [۱۰]. افزون بر تنش خشکی، تنش شوری نیز مایه کاهش سبزینه در برگ‌های گندم شده است به‌گونه‌ای که کاهش ۳۰، ٤۳، ۳٤ درصدی در برابر گواه آزمایش دیده شد که پژوهشگران، این کمبود را با کاربرد قارچ *P. indica* بهبود دادند[۵]. هرچند در پژوهش‌های یادشده قارچ‌های مایکوریز و *P. indica* در کاهش کمبود سبزینه گیاهان کارایی بالایی داشته‌اند، ولی در این پژوهش گیاه اسپناج به قارچ‌های دیواره تاریک پاسخ بهتری داده و در این تیمارها سبزینه بیشتری داشته‌اند. سبزینه بیشتر در تیمارهای مایه‌زنی‌شده با قارچ‌های دیواره تاریک چه در تنش و چه بدون تنش، گویای این است که متابولیت‌های این قارچ‌ها توانسته است بر تنش خشکی چیره شود و نگذارد که اندازه سبزینه در گیاه با تنش خشکی پایین بیاید. قارچ‌های دیواره تاریک با ساخت سازه‌های لیپیدی و دادن آن‌ها به گیاه، در فتوسنتز گیاه کارایی ویژه‌ای دارند و در زمان خشکی الگوی فتوسنتزی گیاه را بهبود می‌دهند. همچنین زندگی قارچ‌های دیواره تاریک در یاخته‌های نگهبان برگ کارکرد به سزایی در کاهش تبخیر و تعرق در گیاهان سرزمین‌های خشک دارند [۱۸].



شکل ٤. برهمکنش قارچ و تنش بر همه سبزینه

(حروف غیر مشابه نشانگر پیامد چشم‌گیر در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD)

۶. ۳. عناصر غذایی

در این پژوهش عناصر روی، فسفر، پتاسیم و سدیم در اندام‌های هوایی گیاه اسپناج اندازه‌گیری شد. توان قارچ‌های مایکوریزی در برآوردن نیاز گیاه به دو عنصر روی و فسفر شناخته‌شده‌تر است. عناصر سدیم و پتاسیم نیز در فرآیند اسمزی و هماهنگی آب در گیاه، در تنش خشکی کارایی دارند. تجزیه واریانس داده‌های اندازه‌گیری این عناصر در گیاه نشان داد که پیامد تنش خشکی بر اندازه هیچ یک از عناصر، مگر پتاسیم، چشم‌گیر نبود ولی گونه‌های قارچی توانستند در اندازه عنصر فسفر، پتاسیم، سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم پیامد چشم‌گیری داشته باشند. پیامد برهمکنش قارچ و تنش بر عنصر پتاسیم، سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم گیاه به‌ترتیب در پایه آماری ۰/۰۰۱ و ۰/۰۵ و ۰/۰۰۱ چشم‌گیر شد. ولی برای عنصر روی هیچ یک از تیمارها چشم‌گیر نشدند (جدول۲).

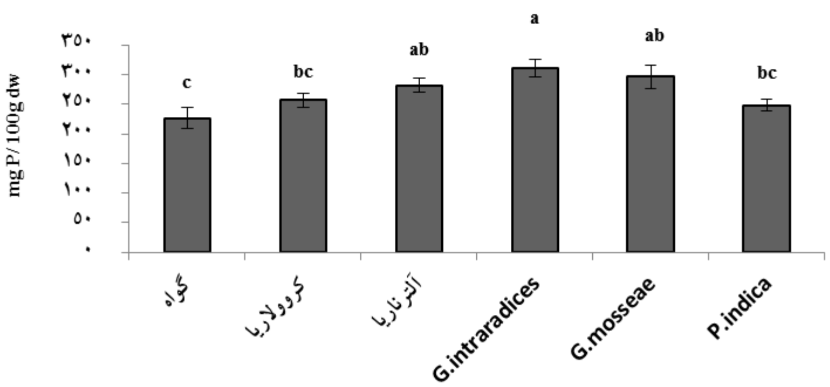
۱. ۶. ۳. فسفر

با نگاه به شکل۷ اندازه فسفر در برگ خشک گیاهان تیمارشده با قارچ مایکوریز اینترارادیسز به اندازه ۳۱۱/۲ میلی‌گرم فسفر در ۱۰۰ گرم وزن خشک گیاه، و بیشتر از دیگر تیمارهای قارچی بود (شکل ۵). در میان قارچ‌های درون‌زی به‌کاررفته، قارچ‌های مایکوریز آربوسکولار بیشترین توانایی را در بهبود فسفر گیاه داشتند.

جدول ۲. تجزیه واریانس داده‌های عناصر غذایی اسپناج در تنش خشکی

تیمارها	درجه آزادی	میانگین مربع‌ها				
		روی	فسفر	پتاسیم	سدیم	نسبت پتاسیم به سدیم
گونه قارچ	۵	۲/۸۱^{ns}	۶۰۹۶/۳۴*	۱۱۳۳۳۲۹۸/۰۹***	۲۶۹۸۳۸/۶***	۵/۹۹***
تنش خشکی	۱	۸/۰۲^{ns}	۴۷۷/۴۲^{ns}	۶۴۶۶۰۰۱/۳۶***	۹۳۷۶/۶^{ns}	۱/۲۹^{ns}
قارچ × تنش	۵	۲/۹۸^{ns}	۶۳۹^{ns}	۱۱۳۱۷۶۳۷/۰۳***	۶۸۰۹۵/۲*	۸/۶۱***
خطا	۲۴	۱/۹۳	۱۶۵۳/۸	۳۵۷۵۷۲	۴۶۱۶۰۲/۶	۱۳/۸۸
ضریب پراکندگی (٪)		۱۷/۳۳	۱۵	۸/۹۴	۱۰/۸۱	۱۴/۱

***و *: به ترتیب پیامد چشم‌گیر در پایه آماری ۰/۰۰۱ و ۰/۰۵.



شکل ۵. پیامد گونه قارچ بر اندازه فسفر در گیاه.

(حروف غیر مشابه نشانگر پیامد چشم‌گیر در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD)

پژوهش‌های گوناگون نشان از افزایش اندازه‌ی فسفر در گیاهان مایه‌زنی شده با مایکوریز دارند. بیشترین اندازه جذب فسفر در سویا[1] (۸۵/۸۲ میلی‌گرم) در تیمار کود سوپرفسفات تریپل و مایه‌زنی با قارچ مایکوریز اینترارادیسز بود و کمترین اندازه فسفر در گیاه سویا ۳۰ میلی‌گرم بود که در تیمار گواه بدون مایه‌زنی دیده شد [۸]. همچنین افزایش فسفر گیاه با مایه‌زنی قارچ *P. indica* در یک گیاه زینتی[2] [۲۷] و در گیاه ذرت[3] [۱۲] در شاخساره گندم رقم نیک‌نژاد و آزادی، به‌ترتیب ۳۹ و ۱۳ درصد گزارش شده است [٤]. گفته می‌شود مایه‌زنی گیاهان با قارچ‌های مایکوریز و مایکوریز مانند *P. indica* مایه افزایش تارهای مویین ریشه می‌شود که در جذب فسفر توانا هستند [٤٢]. قارچ‌های دیواره تاریک نیز با کارکردی همانند قارچ‌های مایکوریز در این فرایند کارایی دارند [۳۲]. همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، قارچ‌های دیواره تاریک از توان کارکردی یکسانی با مایکوریز و *P. indica* برخوردارند. در پژوهشی جداسازی قارچ دیواره تاریک از گیاه کارکس[4] و مایه‌زنی آن به همان گیاه افزایشی در اندازه فسفر شاخساره نشان داد [۳۰]. در پژوهش دیگری که گروه جامپونن انجام دادند، مایه‌زنی قارچ دیواره تاریک فورتینی[5] به گیاه کاج[6] سبب افزایش فسفر شد [۳۱]. قارچ‌های دیواره تاریکی که از گیاه آتریپلکس جداسازی شده بودند، توان دگرگونی فسفر از ریخت کانی و نافراهم در سنگ فسفات و تری‌کلسیم فسفات را به گونه فراهم برای گیاه داشته‌اند [۱۹].

۲. ٦. ۳. سدیم

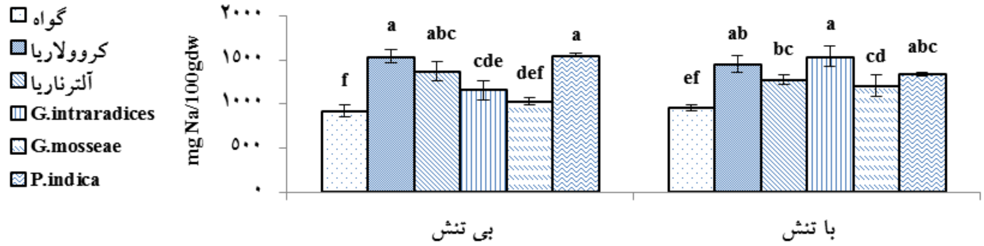
مقایسه میانگین‌های سدیم در برهمکنش قارچ و تنش خشکی نشان می‌دهد که بیشترین اندازه سدیم در تیمار مایه-زنی با قارچ *P. indica* بدون تنش (۱۵/۵ میلی‌گرم بر گرم)، مایه‌زنی با قارچ مایکوریز اینترارادیسز در تنش خشکی (۱۵/٤ میلی‌گرم بر گرم) و مایه‌زنی با قارچ کروولاریا بدون تنش (۱۵/٤ میلی‌گرم بر گرم) است که با تیمار مایه‌زنی قارچ آلترناریا بدون تنش (۱۳/۷ میلی‌گرم بر گرم) و تیمار مایه‌زنی *P. indica* در تنش خشکی (۱۳/٤ میلی‌گرم بر گرم) نابرابری چشم‌گیری ندارند، ولی با تیمار مایه‌زنی با قارچ مایکوریز موسه‌آ در تنش (۱۲ میلی‌گرم بر گرم) و بدون تنش (۱۰/۳ میلی‌گرم بر گرم) نابرابری چشم‌گیر دارند (شکل ٦).

داده‌های این پژوهش با کار انجام‌شده دیگران همخوانی داشت. دیده شده است که گیاه گندم مایه‌زنی شده با قارچ مایکوریز اینترارادیسز بیشترین اندازه سدیم (۹/۹۸ میلی‌گرم بر گرم) و گیاه مایه‌زنی شده با مایکوریز موسه‌آ کمترین اندازه سدیم (۸/۵۸ میلی‌گرم بر گرم) را داشت [٦]. در پژوهش دیگری نشان داده شده است که قارچ مایکوریز مایه آن می‌شود که گیاه میزبانش سدیم کمتری جذب کند [۳۳]. از آنجایی‌که قارچ مایکوریز مایه نگهداری سدیم در هیف‌های درونی خود می‌شود، از ترابری آن به بخش‌های بالایی گیاه جلوگیری می‌کند [۲۹]. هرچند قارچ‌های بهره‌گیری‌شده در این پژوهش اندازه سدیم گیاه را در برابر گواه آزمایش افزایش داده‌اند ولی با نگاهی به بخش پسین (نسبت پتاسیم به سدیم) دیده خواهد شد که این افزایش، توان کاهش نسبت پتاسیم به سدیم را نداشته است و همچنان اندازه پتاسیم در گیاه بالا نگاه داشته شده است.

۳. ٦. ۳. نسبت پتاسیم به سدیم

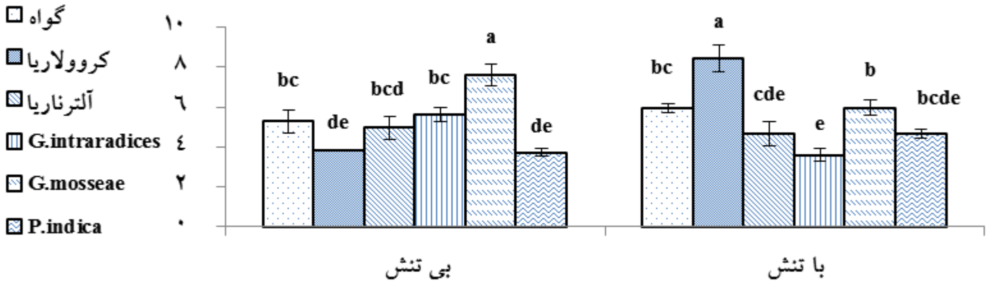
قارچ کروولاریا در تنش و مایکوریز موسه‌آ بدون تنش، بیشترین نسبت پتاسیم به سدیم (به‌ترتیب ۸/٤ و ۷/٦) را دارند و کمترین آن (۳/۵) زمانی است که گیاه با قارچ اینترارادیسز مایه‌زنی شده و در تنش است (شکل ۷).

1. *Glycine max*
2. *Cyclamen persicum*
3. *Zea mays*
4. *Carex*
5. *Phialocephala fortinii s.l.*
6. Pinus



شکل ٦. برهمکنش گونه قارچی و تنش بر اندازه سدیم برگ.

(حروف غیر مشابه نشانگر پیامد چشم‌گیر در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD)



شکل ۷. برهمکنش گونه قارچ و تنش بر نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه.

(حروف غیر مشابه نشانگر پیامد چشم‌گیر در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD)

بالاتر بودن نسبت پتاسیم به سدیم از یک، نشان می‌دهد که پتاسیم در رویارویی با سدیم بر سر جایگاه‌های پیوند و جذب پیروز شده است و این به سود گیاه است چراکه پتاسیم کارکرد ویژه‌ای در سوخت‌وساز گیاه دارد و کمبود آن مایه ناهنجاری در کار آنزیم‌ها، فتوسنتز و ساخت پروتئین‌ها می‌شود. این نسبت زمانی مهم است که گیاه در تنش است. بنابراین، قارچ‌های اندوفیت با نگهداشت پتاسیم در اندام‌های خود و برونداد سدیم به بیرون از یاخته، مایه همگونی یونی سیتوپلاسم می‌شوند [۲۸]. در پژوهشی دیگر، گیاه اسپناجی که در تنش شوری بود، محلول‌پاشی پتاسیم شد تا پیامد بد تنش شوری کاهش پیدا کند به‌گونه‌ای‌که نسبت پتاسیم به سدیم در گیاهان محلول‌پاشی‌شده از ۱/٦ به ۲/۷۲ رسید که مایه بهبود رشد شد. این پژوهش‌گران پیشنهاد می‌کنند درباره گیاهانی مانند اسپناج که نیاز بالایی به پتاسیم دارند، بهتر است در زمان تنش شوری و خشکی از محلول‌پاشی پتاسیم بهره‌گیری شود تا نسبت پتاسیم به سدیم بالا رود و در روند کارکردی گیاه ناهنجاری پدید نیاید [۳]. باید یادآور شد که جذب پتاسیم از برگ در زمان محلول‌پاشی به ویژگی‌های بسیاری بستگی دارد. بنابراین، پیشنهاد ما در این پژوهش، بر پایه یافته‌های آن، بهره‌گیری از قارچ‌های درون‌زی است که این نسبت را از ۵/۹ به ۸/٤ رسانده‌اند (شکل ۷).

٤. نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های این پژهش نشان داد که در برابر گزارش‌های پیشین، گونه‌هایی از خانواده کنوپودیاسه، مانند اسپناج می‌توانند با قارچ‌های مایکوریز همزیستی داشته باشند و از سودمندی این قارچ‌ها بهره گیرند. همچنین مایه‌زنی گیاهان اسپناج با قارچ‌های درون‌زی دیواره تاریک به اندازه مایه‌زنی

گیاهان با مایکوریز و *P. indica* برای کاهش زیان تنش خشکی سودمند است. چراکه با مایهزنی قارچ مایکوریز موسهآ وزن تر گیاه افزایش می‌یابد ولی وزن خشک گیاه با مایه‌زنی قارچ دیواره تاریک کروولاریا بیشترین است و زمانی‌که گیاه با قارچ‌های کروولاریا یا آلترناریا یا مایکوریز اینترارادیسز همزیستی داشته باشد نه تنها از سبزینه آن کم نمی‌شود بلکه اندازه سبزینه برگ افزایش نیز دارد. تیمار قارچ‌ها در اندازه عنصر روی در گیاه پیامد چشم‌گیری نداشتند، ولی قارچ‌های مایکوریز موسهآ و اینترارادیسز و آلترناریا بیشترین اندازه فسفر را در گیاه در زمان تنش نشان دادند. بیشترین اندازه سدیم در گیاهی اندازه‌گیری شد که با قارچ *P. indica* مایه‌زنی شده بود. نسبت پتاسیم به سدیم در گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ‌کروولاریا در تنش خشکی بیشترین است. در نهایت یافته‌ها نشان دادند قارچ‌های درون‌زی مانند کروولاریا می‌توانند هم‌پای قارچ‌های شناخته‌شده و همزیست در بهبود رشد گیاه کمک‌کننده باشند. قارچ‌های دیواره تاریکی که در این پژوهش بهره‌گیری شدند، برای نخستین بار از گیاهان سالسولا و سلمه‌تره گزارش می‌شوند که توانستند هم‌پای با قارچ‌های مایکوریز و پیشتر از قارچ *P. indica*، در همه ویژگی‌های بررسی‌شده، گیاه اسپناج را در تنش خشکی یاری کنند. هرچند برای شناخت بیشتر از سودمندی‌های این قارچ‌ها در گیاهان و متابولیت‌های آنها، پژوهش‌های بیشتری نیاز است، ولی آنها می‌توانند نویدبخش کشاورزی پایدار و کاهش آلودگی زیستگاه‌ها از راه کاهش کاربرد کودهای شیمیایی باشند.

منابع

۱. اسماعیل‌زاده ص (۱۳۸۴) بررسی جمعیت‌های میکوریزی پارک ملی تندوره خراسان و تأثیر عناصر کلسیم و پتاسیم بر میکوریزایی شدن درشرایط آزمایشگاهی. دانشگاه تربت مدرس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد.

۲. الیاسی یگانه م (۱۳۹۲) بررسی همزیستی قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار در برخی از گیاهان دارویی و سبزی‌های همدان. دانشگاه بوعلی سینا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد.

۳. جلالی ا و جعفری پ (۱۳۹۵) تأثیر محلول‌پاشی پتاسیم در کاهش اثرات مضر شوری در گیاه اسفناج. نشریه علوم باغبانی. ۳۰(۲): ۲۰۱-۲۰۸.

۴. جهاندیده مهجن آبادی و و سپهری م (۱۳۹۳) اثر تلقیح قارچ *Piriformos poraindica* بر جذب و انتقال برخی عناصر در دو رقم گندم. مدیرت خاک و تولید پایدار. ۴(۳): ۱۵۵-۱۷۳.

۵. حاجی نیا س، زارع م ج، محمدی گل تپه ا و رجالی ف (۱۳۹۰) بررسی سودمندی قارچ اندوفیت *Piriformos poraindica* و باکتری *Azospir illum* Sp. در افزایش تحمل گندم رقم سرداری به تنش شوری. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۴(۱): ۲۱-۳۱.

۶. حبیبی س، فرزانه م و مسکرباشی م (۱۳۹۲) تأثیر قارچ مایکوریز بر رشد و جذب عناصر غذایی گندم در شرایط شور. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۴(۳): ۳۱۱-۳۲۰.

۷. خراسانی نژاد س، سلطانلو ح، رمضانپور س، هادیان ج و آتشی ص (۱۳۹۴) اثر تنش خشکی روی برخی خصوصیات مورفولوژیکی کمیت و کیفیت اسانس در اسطوخودوس. به‌زراعی کشاورزی. ۱۷(۴): ۹۷۹-۹۸۸.

۸. رضوانی م، افشنگ ب، قلی زاده ع و زعفریان ف (۱۳۹۰) ارزیابی تأثیر قارچ مایکوریزا و منابع مختلف فسفر بر رشد و جذب فسفر در سویا. مدیریت خاک و تولید پایدار. ۱(۲): ۹۷- ۱۱۷.

۹. زنگنه س (۱۳۹۱) بررسی وضعیت همزیستی مایکوریزایی چند گیاه غالب در بیابان‌های استان سمنان. رستنی‌ها. ۳(۱): ۱۰۵- ۱۰۸.

۱۰. سادات ع، ثواقبی غ، رجالی ف، فرحبخش م، خاوازی

ک و شیرمردی م (۱۳۸۹) تأثیر چند نوع قارچ مایکوریز آربوسکولار و باکتری محرک رشد بر شاخص‌های رشد و عملکرد دو رقم گندم در یک خاک شور. نشریه آب و خاک. ۲۴(۱): ۵۳–۶۲.

۱۱. سلیمانی ف، احمدوند گ و صفری سنجانی ع ا (۱۳۹۶) تأثیر کودهای شیمیایی، زیستی و آلی بر شاخص‌های رشدی، عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان تحت شرایط آبیاری کم و بهینه. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۷(۲): ۱۹– ۳۵.

۱۲. نامور پ (۱۳۹۳) تأثیر قارچ *Piriformos poraindica* بر رشد و جذب نیتروژن در گیاهان ذرت. دانشگاه فردوسی مشهد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد.

13. Akhani H (2006) Biodiversity of halophytic and sabkha ecosystems in Iran. In: Sabkha ecosystems Volume II: West and Central Asia, Ajmal Khan M (Ed.). Springer. pp. 71-88.
14. Arzanesh M H, Alikhani H A, Khavazi K, Rahimian HA and Miransari M (2011) Wheat (*Triticum aestivum* L.) growth enhancement by *Azospirillum sp.* under drought stress. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 27: 197-205.
15. Assadi M (2001) Chenopodiaceae. Flora of Iran. 38: 260-261.
16. Augé Robert M (2001) Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. 11: 3-42.
17. Barrow JR, Havstad KM, Hubstenberger J and McCaslin BD (1997b) Seed borne fungal endophytes on fourwing saltbush, *Atriplex canescens*. Arid Land Research and Management. 11: 307-314.
18. Barrow JR (2001) Carbon Transport by Symbiotic Fungi in Fourwing Saltbush, *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. In Wildland Shrub and Arid Land Restoration Symposium Proceedings. Pp: 1-4.
19. Barrow JR and Osuna P (2002) Phosphorus solubilization and uptake by dark septate fungi in fourwing saltbush, *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. Journal of Arid Environments. 51: 449-459.
20. Barrow JR, Lucero M, Osuna Avila P, Reyes Vera I and Aaltonen RE (2007) In: Fungal genomes that influence Basic Physiological Processesa of black grama and fourwing salt bush in arid south-western rangelands; Proceedings: Shrubland dynamics-fire and water; 2004 August 10–12; Lubbock, TX Proceedings RMRS-P-47. Fort Collins, CO; US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 173.
21. Barrow J, and 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.
22. Beis A and Patakas A (2012) Relative contribution of photoprotection and anti-oxidative mechanisms to differential drought adaptation ability in grapevines. Environmental and Experimental Botany. 78: 173-183.
23. Carroll GC and Carroll FE (1978) Studies on the incidence of coniferous needle endophytes in the Pacific Northwest. Canadian Journal of Botany. 56: 3034-3043.
24. Dougherty RC, Strain HH, Svec WA, Uphaus RA andKatz JJ (1966) Structure of chlorophyll c1. Journal of the American Chemical Society. 88: 5037-5038.
25. Ellis M (1976) More Dematiaceus hyphomycetes. Commowealth mycological Institute, Key (England)
26. Garcia E, Alonso A, Platas G and Sacristan S (2013) The endophytic mycobiota of *Arabidopsis thaliana* . Fungal Diversity. 60: 71- 89.
27. Ghanem G, Ewald A, Zerche S and Hennig F (2014) Effect of root colonization with Piriformospora indica and phosphate availability on the growth and reproductive biology of a Cyclamen persicum cultivar. Scientia Horticulturae. 172: 233-241.
28. Giri B, Kapoor R and Mukerji KG (2007) Improved tolerance of *Acacia nilotica* to salt stress by arbuscular mycorrhiza, *Glomus fasciculatum* may be partly related to elevated K/Na ratios in root andshoot tissues. Microbial Ecology. 54: 753-760.
29. Hammer EC, Nasr H, Pallon J, Olsson PA and Wallander H (2011) Elemental composition of Haselwandter K. and Read DJ. 1982. The significance of rootfungus association in two *Carex* species of high-alpine plant communities. Oecologia. 53: 352-354.
30. Haselwandter K and Read DJ (1982) The significance of rootfungus association in two *Carex* species of high-alpine plant communities. Oecologia. 53: 352-354.

31. Jumpponen A (2001) Dark septate endophytes-are they mycorrhizal?. Mycorrhiza. 11: 207-211.
32. Mandyam K and Jumpponen A (2005) Seeking the elusive function of the root-colonising dark septate endophytic fungi. Studies in Mycology. 53: 173-189.
33. Mardukhi B, Rejali F, Daei G, Ardakani MR, Malakouti MJ and Miransari M (2011) Arbuscular mycorrhizas enhance nutrient uptake in different wheat genotypes at high salinity levels under field and greenhouse conditions. Comptes Rendus Biologies. 334: 564-571.
34. Mathur N and Vyas A (2000) Influence of arbuscular mycorrhizae on biomass production, nutrient uptake and physiological changes in Ziziphus mauritiana Lam. under water stress. Journal of Arid Environments. 45: 191-195.
35. Mondale RK and Paul NK (2000) Effect of oil moisture on growth attributes root characters and yield of mustard (*Brassica juncea* L.). Pakistan Journal of Botany. 27: 143-150.
36. Newsham KK, Upson R and Read DJ (2009) Mycorrhizas and dark septate root endophytes in polar regions. Fungal Ecology. 2: 10-20.
37. Posada F, Catherine Aime M, Peterson SW, Rehner SA and Vega FE (2007) Inoculation of coffee plants with the fungal entomopathogen Beauveria bassiana (Ascomycota: Hypocreales). Mycological research. 3: 748-757.
38. Safari Sinegani AA and Elyasi Yeganeh M (2017) The occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in soil and root of medicinal plants in Bu-Ali Sina garden in Hamadan, Iran. Biological Journal of Microorganism. 5: 43-59.
39. Sengupta A and Chaudhuri S (2002) Arbuscular mycorrhizal relationships of mangrove plant community at theGanges river estuary in India. Mycorrhiza. 12: 169-174.
40. Sieber TN (2007) Endophytic fungi in forest trees: are they mutualists? Fungal Biology Reviews. 21: 75-89.
41. Sieber TN and Grünig CR (2006) Biodiversity of fungal root-endophyte communities and populations, in particular of the dark septate endophyte Phialocephala fortinii sl, Microbial root endophytes. Springer. pp. 107-13.
42. Smith SE and Read DJ (2008) *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd Ed. Academic Press, London, UK.
43. Swift RS, Sparks DL (1996) Methods of soil analysis: Part 3. Chemical methods. Soil Science Society of America Book Series. 5: 1018-1020.
44. Woudenberg JHC, Groenewald JZ, Binder M and Crous PW (2013) Alternaria redefined. Studies in Mycology. 75: 171-212.

Crops Improvement

(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 20 ▪ No. 2 ▪ Summer 2018

Evaluation of growth potential in inoculated spinach plants with *Piriformospora indica*, mycorrhizal and dark septate endophyte in drought stress

Raheleh Aletaha[1*], Ali Akbar Safari Sinegani[2], Doustmorad Zafari[3]

1. Ph.D. Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.
2. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.
3. Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

Received: November 16, 2017 Accepted: January 17, 2018

Abstract

In highly stressed ecosystems, symbiosis between plants and has beneficial effects onplant growth. The objective of this study was the effects of two dark septate endophyt fungi againstmycorrhizal (*Glomus mussea* and *Glomus interaradices*) and *Piriformospora indica* on spinach growthin without and with drough stress (Field Capacity (FC) and 50% FC). This study was done in the research greenhouse at Bu-Ali Sina University of Hamedan (2015-2016).The percentage of root colonization, wet and dry weights, contents of chlorophyll and some of the micro- and macronutrients have been analyzed in some adult treated plants after six weeks. The colonization results showed that all studied fungi can effectivelyenter into spinach roots. Inoculation with *Glomus mussea* increased the wet weight (20 g/plant) of the plants. Also, some morphophysiological and physological properties such as dry weight (4.1 g/plant), chlorophyll content (2.7 mg/g dry matter) and potassium to sodium ratio (8.4) was increased when plants inoculated with *Curvularia specifera*. However, high phosphorus content (311.2 mg/100g dry matter) measured in plants that was inoculated with *Glomus interaradices*. Generally, this study showed that dark septate endophyte could be benefical in grwoth of spinach as much as mycorrhizal and *Piriformospora indica*symbiosis.

Keyword: Endophytic fungi, melanin, potassium, *salsola*, symbiosis.

Corresponding author: rahelehaletaha@yahoo.com