Archive of SID

بررسی تأثیر همزیستی میکوریزی بر خصوصیات رشدی و کلنیزاسیون پایه‌های متداول بادام در شرایط مطلوب و تنش کم آبی

محمود محمدی[1] **و فرهاد رجالی**

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران؛ **m.mohamadi@areeo.ac.ir**

دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **frejali@yahoo.com**

دریافت: **99/3/25** و پذیرش:**99/7/23**

چکیده

خشکی از جمله تنش‌های محیطی مهم است که بر رشد و نمو گیاهان اثر منفی می‌گذارد. قارچ‌های میکوریز آربسکولار در فراهم کردن آب و جذب مواد غذایی و افزایش تحمل به خشکی گیاهان به نفع میزبان خود عمل می‌کنند. در این پژوهش اثر قارچ‌های میکوریزی بر صفات رشدی و مقاومت به تنش کم آبی در پایه‌های متداول بادام در آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد مورد بررسی قرار گرفت. فاکتورهای این تحقیق شامل فاکتور اول، قارچ میکوریز در دو سطح شامل M_0: بدون مصرف قارچ میکوریزی به‌عنوان شاهد و M_1: مصرف قارچ میکوریزی، فاکتور دوم پایه بادام در چهار سطح (GN، GF، محلی شوراب 2 و تلخ) و فاکتور سوم تنش کم آبی در چهار سطح (I_1: بدون تنش به‌عنوان شاهد، I_2: 20 درصد، I_3: 40 درصد و I_4: 60 درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده گیاه بودند. نتایج نشان داد بین چهار پایه مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری بین صفات مورد بررسی وجود داشت. حداکثر مقادیر این صفات از پایه GF حاصل شد. تیمار تنش کم آبی منجر به تفاوت معنی‌دار در صفات مورد بررسی شد. با افزایش تنش کم آبی از تیمار بدون تنش (I1) به تیمار حداکثر تنش (I4)، میزان کلنیزاسیون و وزن خشک ریشه کاهش یافت. تلقیح قارچ‌های میکوریزی به‌ترتیب منجر به افزایش 27 و 40 درصدی وزن خشک و کلنیزاسیون ریشه شد. بیشترین میزان رشد طولی درخت، رشد قطری ساقه، وزن خشک اندام هوایی به ترتیب به میزان 55/1، 5/1 سانتیمتر و 71 گرم از تیمار ترکیبی GF+I1 بدست آمد. حداکثر میزان کلنیزاسیون ریشه از تیمار ترکیبی M_1 +I1 به میزان 74/5 درصد بدست آمد. بر اساس نتایج این پژوهش با تلقیح قارچ‌های میکوریزی، صفات رشدی افزایش و اثرات منفی تنش کم آبی کاهش یافتند.

واژه‌های کلیدی: بادام، تنش کم‌آبی، کلنیزاسیون ریشه، کلروفیل

[1]. نویسنده مسؤل، آدرس: شهرکرد، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، صندوق پستی: 415

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

بادام *Prunus dalcis* (Miller) D. Webb، بومی مناطق غرب آسیا تا حوزه دریای مدیترانه بوده و کشور ایران دارای مقام سوم پس از آمریکا و اسپانیا از نظر میزان تولید این محصول در جهان می‌باشد (تهرانی فر و همکاران، 1383). تنش خشکی از تنش‌هایی است که با تأثیر بر ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژی گیاهان، منجر به ایجاد خسارت کلان در محصولات کشاورزی می‌گردد. بسیاری از خصوصیات آناتومیکی، فیزیولوژیکی، آنزیمی، تغذیه‌ای و عملکرد کمی و کیفی بادام تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند (فلکساس و همکاران، 2009). علاوه بر سیستم‌های حفاظتی ذاتی گیاهان در مقابل تنش-های زیستی و غیر زیستی، تعدادی از ریز جانداران در خاک وجود دارند که برآیند اثرات متقابلشان با محیط خاک و ریشه موجب افزایش جذب عناصر غذائی، افزایش عملکرد، تعدیل اثرات نامطلوب انواع تنش‌ها و بهبود ویژگی‌های خاک می‌گردند. از جمله این ریز جانداران قارچ میکوریزا و همزیستی این قارچ‌های خاکزی با ریشه گیاهان است (اسمیت و رد، 2008).

همزیستی میکوریزی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش تبادلات گازی برگ و میزان فتوسنتز، تولید آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، اصلاح محیط ریزوسفر، بهبود ساختار خاک از طریق تشکیل خاکدانه-های پایدار، گسترش ریسه‌های خارجی و تغییر مورفولوژی ریشه، باعث افزایش سطح و توان جذب ریشه شده که به گیاه میزبان کمک می‌کند تا میزان آب و مواد غذایی بیشتری از خاک جذب نماید (مارشنر و دل، 1994؛ اسمیت و رد، 2008؛ بارزانا و همکاران، 2015؛ یان و همکاران، 2016 ؛ مردحیاح و همکاران، 2016). قارچ-های میکوریزی در گیاهانی که دارای ریشه‌های فرعی کم انشعاب هستند از کارآیی بیشتری برخوردار هستند. (برندرت و همکاران، 1996). مطالعاتی که در زمینه کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی به وسیله میکروارگانیسمها صورت گرفته، بیانگر بهبود تبادلات گازی و روابط آبی گیاهان تلقیح شده با آنها نسبت به گیاهان تلقیح نشده است. تغییرات ناشی از تلقیح دو گونه قارچ گلوموس در رشد گیاه و مورفولوژی سیستم ریشه در *Prunus cerasifera* توسط برتا و همکاران (1995) مورد بررسی قرار گرفت و گزارش گردید کلنیزاسیون ریشه توسط قارچ میکوریز آربسکولار منجر به افزایش وزن ریشه، ساقه، برگ، سطح برگ، طول ریشه و سطح مخصوص برگ می‌شود. بررسی‌های کفکاس و ابراهیم (2009) نشان داد تلقیح هشت گونه از قارچ میکوریزا با چهار گونه پسته باعث افزایش رشد رویشی و جذب عناصر غذایی فسفر و روی در گونه‌های دارای قارچ میکوریزا شده است. باقری و همکاران (1390) گزارش نمودند قارچ میکوریز باعث افزایش رشد رویشی و بهبود روابط آبی دو رقم پایه‌ای پسته در شرایط خشکی می‌شود. زارعی و همکاران (1392) گزارش نمودند در شرایط تنش کم آبی، رابطه همزیستی میکوریزی در مرکبات با پایه رافلمون درصد کلنیزاسیون ریشه، عملکرد ماده خشک ریشه و اندام هوایی، شاخص کلروفیل، وزن خشک گیاه و پتانسیل آب برگ گیاه را افزایش و رشد گیاه را بهبود بخشید. تحقیقات کالوت و همکاران (2004) بر روی پتانسیل کلنیزاسیون 18 واریته از پایه‌های مختلف گوجه‌سبز (آلوچه) شامل هیبرید بادام – هلو، هلو، آلو و گیلاس نشان داد کلنیزاسیون ریشه‌ای در پایه‌های تلقیح شده با *Rhizophagus intraradices* دارای بالاترین میزان درصد کلنیزاسیون می‌باشد.

برای اولین بار رلدان و همکاران(1982) امکان برقراری همزیستی درختان بادام وحشی را با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار نشان دادند وگزارش نمودند، گونه *Funneliformiss mosseae* قادر است حداکثر 53 درصد و گونه بومی خاک‌های اسپانیا حداکثر61 درصد ریشه درخت بادام وحشی را کلنیزه نماید اما کالوت و همکاران (1995) گزارش نمودند درخت دو رگه هلو و بادام تا 90 درصد توسط گونه‌های قارچی *Clariodeoglumus etunicatum*، *Rhizophagus intraradices* و *Funneliformiss mosseae* کلنیزه می‌شود. آقابابائی و همکاران (1390) گزارش نمودند تلقیح نهال‌های بادام توسط قارچ‌های میکوریزا، شاخص‌های رشد گیاه، سطح برگ، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، طول ریشه، وزن تر و خشک و شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه بادام شامل غلظت کلروفیل کل برگ، سرعت فتوسنتز خالص و بازده آب مصرفی در تیمارهای میکوریزی نسبت به گیاهان شاهد غیر میکوریزی افزایش، ولی سرعت تبخیر و تعرق از سطح برگ گیاه کاهش یافت. تحقیقات زیادی در خصوص تلقیح قارچ‌های میکوریزی با گیاهان زراعی و علفی انجام شده است، اما در تحقیقات اندکی به بررسی تلقیح درختان با این قارچ‌ها پرداخته شده است.

گیاهان دارای ریشه‌های چوبی در مرحله‌ای از چرخه زندگی خود که ریشه ترد و شکننده‌ای دارند، توانایی تلقیح با قارچ‌های میکوریز درونی را دارا می‌باشند (کالوت و همکاران، 2004). نهال‌های بادام در مقایسه با درخت آن حساس تر و ضعیف تر بوده و به بیماری‌ها و آفات حساس ترند اما به دلیل دارا بودن ریشه های ترد و

www.SID.ir

Archive of SID

شکننده، پتانسیل لازم برای ایجاد همزیستی با قارچ‌های اندو میکوریز را دارند (برندرت و همکاران، 1996). از این رو قارچ‌های میکوریزی می‌توانند به استقرار بهتر آنها در محیط‌های جدید منجر شوند. یکی از مشکلات در تکثیر پایه‌های بادام تلفات آنها بعد از انتقال از گلخانه و خزانه به باغ است. یکی از اثرات مفید قارچ‌های میکوریزی کاهش تلفات نهال‌ها در اثر آسیب‌های ناشی از جابجائی مانند انتقال از خزانه به زمین اصلی می‌باشد که این مهم را می‌توان با استفاده از همزیستی میکوریزی کاهش داد (صالحی، 1385). با عنایت به ویژگی‌های متفاوت ظاهری، سرعت رشد و گسترش ریشه، حجم ریشه و صفات فیزیولوژیکی این چهار پایه با دیدگاه‌های متفاوتی در توسعه باغات استان مورد استفاده و مرسوم می‌باشد. از طرف دیگر با پروژه احداث و توسعه باغات بادام در اراضی شیبدار استان مواجه هستیم که اکثراً با مشکلات تغذیه‌ای و کم آبی مواجه هستند. امید است با استفاده از پتانسیل قارچ های میکوریزی پیشرفت باغات در حال احداث در زمان کمتر و با موفقیت بیشتری امکان‌پذیر شود. با توجه به اثرات مفید قارچ‌های میکوریزی در افزایش رشد، جذب عناصر غذایی و مقاومت به تنش کم آبی این امکان مهیا می‌شود که توسعه باغات افزایش و نهال‌های تلقیحی تولید شده در نهالستان-ها از کارآیی و دوأم بالاتری در عرصه برخوردار باشند. با توجه به اهمیت استراتژیک بادام و نقش‌های مفید قارچ-های میکوریز آربسکولار در همزیستی با گیاهان، ازجمله درخت بادام این پژوهش با هدف بررسی تأثیر استفاده از قارچ‌های میکوریزی بر میزان کلنیزاسیون ریشه، خصوصیات رشدی و میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی بر روی چهار پایه بادام مرسوم در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری بلوک‌ها کامل تصادفی در سه تکرار و سه گیاه در هر واحد آزمایشی در سال 1397 در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی شهرکرد انجام شد. فاکتورهای آزمایشی عبارت بودند از فاکتور اول، قارچ میکوریزا در دو سطح شامل M_0: بدون مصرف قارچ میکوریزی به‌عنوان شاهد و M_1: مصرف قارچ میکوریزی، فاکتور دوم پایه بادام در چهار سطح (GN، GF، محلی شوراب 2 و تلخ) و فاکتور سوم تنش کم آبی در چهار سطح (I_1: بدون تنش به‌عنوان شاهد، I_2: تنش 20 درصد، I_3: تنش 40 درصد و I_4: تنش 60 درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده گیاه). در این بررسی بعد از نمونه‌برداری مقدماتی ابتدا مقدار خاک کافی با میزان فسفر قابل جذب پائین به محل آزمایش انتقال داده شد و مراحل آماده‌سازی و عبور از الک بر روی آن اعمال و خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن اندازه-گیری شد (جدول شماره 1) (امامی، 1375). برای تهیه پایه‌های بادام تلخ ابتدا تعداد کافی بذر بادام تلخ تهیه و پس از اعمال سرمادهی در اسفند ماه 96 با مساعد شدن هوا، بذرهای جوانه دار شده به گلدان‌های پلاستیکی دو کیلوگرمی انتقال داده شدند و مراقبت لازم از آنها به مدت سه ماه تا مرحله استقرار ریشه و رشد نهال و انتقال پایه-های بذری بادام به گلدان‌های 13 لیتری انجام شد.

در تهیه پایه‌های بذری بادام، بذرهای بادام تلخ ضدعفونی شده در بستر کشت استریل شامل ترکیب پرلیت + ماسه (1:1)که محیط خنثی و فاقد خاک کشت شدند. برای تهیه پایه‌های رویشیGF و GN نیز از طریق ریشه‌دار نمودن قلمه‌های آنها در بستر کشت استریل ترکیب پرلیت + ماسه (1:1) که محیط خنثی و فاقد خاک می‌باشد انجام شد. پس از ریشه دار شدن، نسبت به تلقیح آنها با قارچ‌های میکوریز اقدام شد. در ادامه قلمه‌های سه ماهه پایه‌های GF677 (هیبرید هلو و بادام)، GN 15 (هیبرید هلو و بادام) و پایه بومی شوراب 2 (هیبرید دیر گل هلو و بادام شاهرود 16) از نهالستان‌های سطح منطقه به گلخانه انتقال داده شد. سپس مراحل پر کردن خاک در گلدان‌های 13 لیتری انجام شد و پایه‌های مورد آزمایش به گلدان‌ها انتقال و آبیاری تا مرحله استقرار پایه‌ها به‌طور یکسان انجام شد. تلقیح قارچ میکوریزی به میزان100 گرم از مخلوط سه گونه قارچ میکوریزایی *Clariodeoglumus etunicatum*، *Rhizophagus intraradices* و *Funneliformiss mosseae*

جدول 1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

هدایت الکتریکی	pH	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	منگنز	مس	نیتروژن	کربن آلی	مواد خنثی شونده	رس	سیلت	شن	رطوبت F.C	رطوبت PWP
($dS\ m^{-1}$)										(%)					
0/88	7/81	6	311	4/1	0/58	8/9	0/93	0/073	0/92	24/5	26	54	20	33/5	15/67

www.SID.ir

Archive of SID

برای هر پایه با جمعیت حداقل 100 اندام فعال قارچ شامل اسپور، وزیکول، هیف و قطعات ریشه حاوی اندام مختلف قارچ در هر گرم در زیر ریشه قرار داده شد. تعداد پروپاگول درزاد مایه قارچ با روش MPN شمارش شده بود. قارچ‌های میکوریزی از بخش بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد. بعد از مرحله استقرار، گلدان‌ها به فضای باز انتقال داده شده و تیمارهای تنش آبی اعمال شدند. افزایش آب به گلدان‌ها ازطریق اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از دستگاه رطوبت سنج TDR[1] و جبران آب کاهش یافته در هر یک از سطوح رطوبتی فوق انجام شد. جهت تعیین مقدار آب مورد نیاز تیمارهای تنش، ابتدا میزان رطوبت خاک در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم با استفاده از دستگاه صفحه فشاری[2] تعیین شد و با اندازه گیری رطوبت حجمی خاک در عمق توسعه ریشه با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج و با استفاده از فرمول عمق آب آبیاری محاسبه (علیزاده، 1394) و به گلدان‌ها اضافه شد.

در این مرحله پس از محاسبه میزان رطوبت در تیمارهای تنش آبیاری و محاسبه میزان آب در هر تیمار، روزانه رطوبت خاک در گلدان‌ها اندازه گیری و به محض رسیدن رطوبت گلدان به نقطه رطوبتی مورد نظر آبیاری گلدان‌ها انجام شد. اضافه کردن آب به گلدان‌ها در تیمارهای رطوبتی با استفاده از پیمانه‌های حجمی با توجه به میزان آب محاسبه شده برای هر تیمار و وزن کردن گلدان‌های اضافی برای هر تیمار در طول مرحله رشد انجام شد. طول دوره رشد گیاه از ابتدای انتقال نهال به گلدان‌ها تا مرحله برداشت گیاه 5 ماه بود. گیاهان به مدت شش هفته تحت تنش قرار داده شدند و خصوصیات رشدی پایه های بادام شامل صفات قطر ساقه و ارتفاع نهال درقبل و در انتهای تیمارهای تنش آبی با استفاده از کولیس دیجیتالی، خط‌کش و متر اندازه‌گیری شدند. شاخص کلروفیل برگی با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج اندازه‌گیری شد. همچنین غلظت کلروفیل a، b و کل پس از عصاره‌گیری و سانتریفیوژ، به روش طیف سنجی (اسپکتروفتومتری) قرائت و نهایتاً برحسب میلی‌گرم درگرم برگ تر برآورد گردید (ولبرن، 1994). در پایان آزمایش پایه‌ها را به طور کامل از خاک خارج نموده و ریشه را از ساقه از محل طوقه جدا نموده و و در ادامه وزن خشک ریشه با گذاشتن ریشه‌ها داخل پاکت و درون آون با دمای 70 درجه سلسیوس به مدت 72 ساعت اندازگیری شد. درصد کلنیزاسیون ریشه به روش تقاطع خطوط شبکه [3] اندازه‌گیری شد (کورمانیک و مک‌گراو، 1982). در پایان داده ها توسط نرم افزار SAS 9.2 تجزیه و تحلیل آماری و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

طول ساقه

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثر پایه، سطوح تنش کم آبی و قارچ میکوریزا بر افزایش طول ساقه معنی‌دار شد (جدول 2). بیشترین میزان افزایش طول ساقه از پایه GF حاصل شد که باعث افزایش 59 درصدی نسبت به پایه تلخ شد. با افزایش تنش کم آبی افزایش طول ساقه کاهش یافت به گونه‌ای‌که تیمار I_1 نسبت به تیمار I_4، 28/5 درصد افزایش نشان داد. صرف نظر از نوع پایه و سطح تنش کم‌آبی با مصرف قارچ های میکوریزی افزایش 30 درصدی طول ساقه پایه‌ها مشاهده شد (جدول 3). از بین اثرات متقابل تنها اثر متقابل پایه در قارچ میکوریز معنی‌دار شد (جدول 2). مطابق شکل شماره یک حداکثر میزان طول ساقه به میزان 55/10 سانتیمتر از تیمار ترکیبی (GF+M1) بدست آمد که نسبت به تیمار حداقل (M0 + تلخ)، افزایش 50 درصد داشت. حسینی و قراقانی (2015) گزارش نمودند که تلقیح قارچ میکوریزی سبب افزایش ارتفاع ساقه، قطر ساقه، اندازه برگ و بیوماس در سه پایه درخت سیب در خاک آهکی شده است.

آقابابائی و همکاران (1390) افزایش شاخص-های رشدی نهال‌های بادام تلقیح شده بوسیله قارچ‌های میکوریزی را گزارش نمودند. همچنین بهرامی نژاد و همکاران افزایش شاخص‌های رشدی را در دوپایه تجاری بادام در شرایط تنش خشکی گزارش نمودند. افزایش طول ساقه با مصرف قارچ میکوریز در این تحقیق با نتایج آقابابائی و همکاران (1390) ؛ بهرامی نژاد و همکاران (1393) و حسینی و قراقانی (2015) مطابقت دارد. قارچ-های میکوریزایی می‌توانند از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی و ایجاد شرایط مطلوب رشد باعث افزایش طول ساقه و عملکرد در گیاهان شوند. پایه GF به دلیل داشتن حجم ریشه و سرعت رشد بیشتر از پتانسیل رشدی بالاتری نسبت به دیگر پایه‌ها برخوردار است. تأثیر قارچ‌های میکوریزی بر افزایش رشد و گسترش رشد ریشه در این رقم بیشتر می‌باشد و از این طریق دسترسی ریشه به حجم خاک و منافذ بیشتر شده و می‌تواند آب و مواد غذایی بیشتری را جذب و منجر به افزایش طول ساقه شود.

[1] Time Domain Reflectometry (TDR)
[2] Pressure plate
[3] Gridline intersection method

www.SID.ir

Archive of SID

قطر ساقه

مطابق نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب اثر پایه، تنش کم آبی و قارچ میکوریزا بر رشد قطری ساقه معنی‌دار شد (جدول 2). بیشترین میزان افزایش قطر ساقه از پایه GF به میزان 4/6 میلیمتر بدست آمد که با پایه GN و شوراب 2 تفاوت معنی‌دار نشان نداد و در مقایسه با پایه تلخ افزایش 92 درصدی داشت (جدول 3). با افزایش تنش کم آبی میزان قطر ساقه کاهش یافت به گونه‌ای‌که حداکثر افزایش قطر ساقه از تیمار I1 به میزان 4/45 میلی‌متر حاصل شد که نسبت به تیمار (I4)، 27 درصد افزایش نشان داد. مصرف قارچ های میکوریزی در مقایسه با عدم مصرف باعث افزایش 17 درصدی قطر ساقه شدند (جدول 3). از بین اثرات متقابل تنها اثر متقابل پایه در قارچ میکوریز معنی دار

جدول 2- نتایج تجزیه واریانس تأثیر پایه، سطوح کم آبی و قارچ بر صفات مورد بررسی

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول ساقه	قطر ساقه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	شاخص کلروفیل برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کلنیزاسیون
تکرار (رقم)	2	4565**	3**	718**	10^{ns}	7	0/47**	0/02**	0/28**	83^{ns}
پایه (A)	3	1646**	24/6**	2227**	99**	884**	0/42**	0/07**	0/78**	3118**
کم آبیاری (B)	3	498**	4/5**	171**	180**	842**	0/48**	0/03**	0/76**	2844**
قارچ (C)	1	2844**	8/5**	781**	400**	1018**	0/5**	0/04**	0/83**	6454**
پایه×کم آبیاری(A×B)	9	$6/3^{ns}$	$0/8^{ns}$	$5/3^{ns}$	$5/6^{ns}$	68**	0/01*	0/005**	0/02 ^{ns}	175*
پایه× قارچ (A×C)	3	59*	1/7*	48/7**	$5/5^{ns}$	$34/8^{ns}$	$0/003^{ns}$	$0/002^{ns}$	$0/01^{ns}$	58^{ns}
آبیاری× قارچ (B×C)	3	17^{ns}	$0/4^{ns}$	$0/53^{ns}$	$0/28^{ns}$	40^{ns}	$0/01^{ns}$	$0/009^{ns}$	$0/006^{ns}$	247*
پایه×کم آبیاری×قارچ(A×B×C)	9	$4/8^{ns}$	$0/4^{ns}$	$0/36^{ns}$	$0/48^{ns}$	$12/3^{ns}$	$0/003^{ns}$	$0/0001^{ns}$	$0/004^{ns}$	$29/8^{ns}$
خطا	62	20045	3/3	5/1	3/9	14/7	0/006	0/001	0/01	86/5
کل	95									
ضریب تغییرات		10/7	11/3	3/8	11/8	11/3	6/3	10	6	12/5

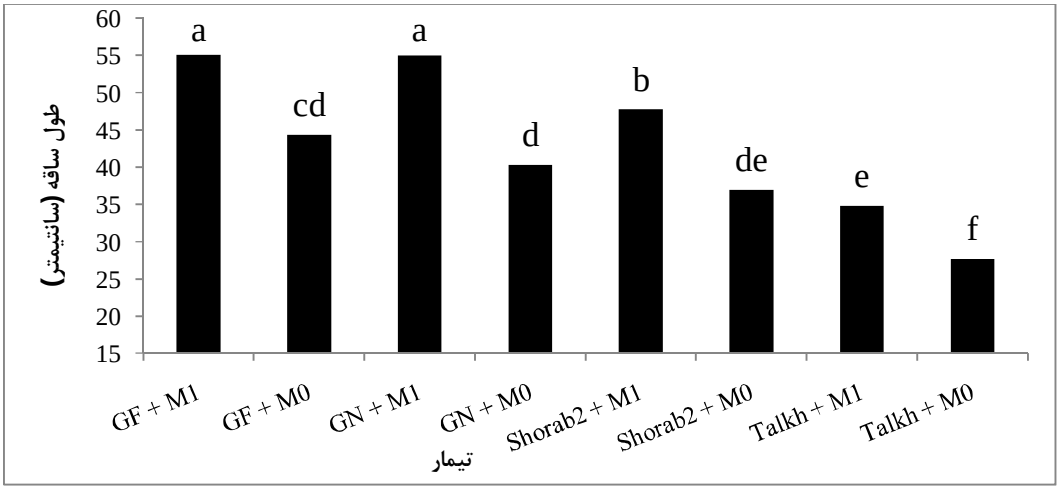
شد (جدول2). مطابق شکل شماره دو حداکثر افزایش قطر ساقه به میزان 5/11 میلمتر از تیمار (GF+M1) بدست آمد که نسبت به تیمار حداقل (Talkh + M0)، 134 درصد افزایش نشان داد. بررسی‌های زارعی و همکاران (1392) نشان داد رابطه همزیستی میکوریزی در مرکبات با پایه رافلمون در شرایط تنش کم آبی باعث افزایش صفات رشدی گیاه می‌شود. این نتایج با نتایج تحقیقات زارعی و همکاران (1392)، کفکاس و ابراهیم (2008) و حقیقت‌نیا و همکاران (2011) مطابقت دارد. بررسی‌های زمانی و همکاران (2002) نشان داد با افزایش دور آبیاری سطح مخصوص برگ، طول ساقه، وزن خشک ساقه و ریشه در پایه های مختلف بادام‌های ایرانی کاهش پیدا کرد. از دلایل افزایش قطر ساقه پتانسیل رشدی بالاتر پایه GF و تأثیرپذیری بیشتر آن به مصرف قارچ‌های میکوریزی می‌باشد.

وزن خشک اندام هوایی

اثر اصلی پایه، تنش کم آبی و قارچ میکوریزا بر وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار شد (جدول 2). بیشترین میزان افزایش وزن خشک اندام هوایی در طول مدت این آزمایش از پایه GF به میزان 66/2 گرم حاصل شد که نسبت به پایه تلخ 53 درصد افزایش را نشان داد. پایه محلی شوراب 2 و GN اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (جدول 3). با افزایش تنش کم آبی میزان افزایش وزن خشک اندام هوایی کاهش یافت به گونه‌ایکه تیمار بدون تنش (تیمار I1)

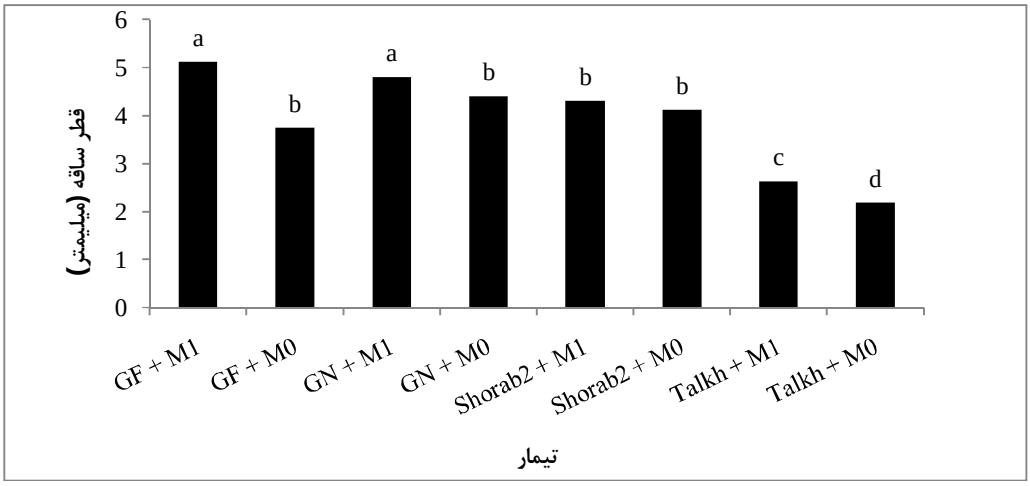
www.SID.ir

Archive of SID



شکل 1- مقایسه میانگین اثر متقابل پایه و قارچ میکوریز بر طول ساقه

به تیمار حداکثر تنش (تیمار I4)، 12 درصد اختلاف وجود داشت. مصرف قارچ‌های میکوریزی باعث افزایش 11 درصدی وزن خشک اندام هوایی شد (جدول 3). از بین اثرات متقابل تنها اثر متقابل پایه در قارچ میکوریز بر روی این صفت معنی‌دار شد (جدول2). مطابق شکل شماره سه حداکثر میزان وزن خشک اندام هوایی به میزان 71 گرم از تیمار ترکیبی (GF+M1) بدست آمد که نسبت به تیمار حداقل (M0 +تلخ)، 66 درصد افزایش را نشان داد. این نتایج با نتایج باقری و همکاران (1390)، آقابابایی و همکاران (1390)، پیمانه و زارعی (1392)، کالوت و همکارن، (2004)، زمانی و همکاران (2002)، و لی و همکاران (2012) مطابقت دارد. از نظر میزان رشد رویشی و گسترش سیستم ریشه‌ای پایه GF از پتانسیل بالاتری برخوردار می‌باشد. پایه GN در رتبه بعدی و پایه بادام تلخ در آخرین رتبه قرار می‌گیرد. افزایش و گسترش رشد سیستم ریشه‌ای و دسترسی به منافذ و حجم بیشتر خاک و جذب آب و مواد غذایی بیشتر می‌تواند از دلایل افزایش بیشتر وزن ماده خشک اندام هوایی در پایه GF باشد.



شکل 2- مقایسه میانگین اثر متقابل پایه و قارچ میکوریز بر افزایش قطر ساقه

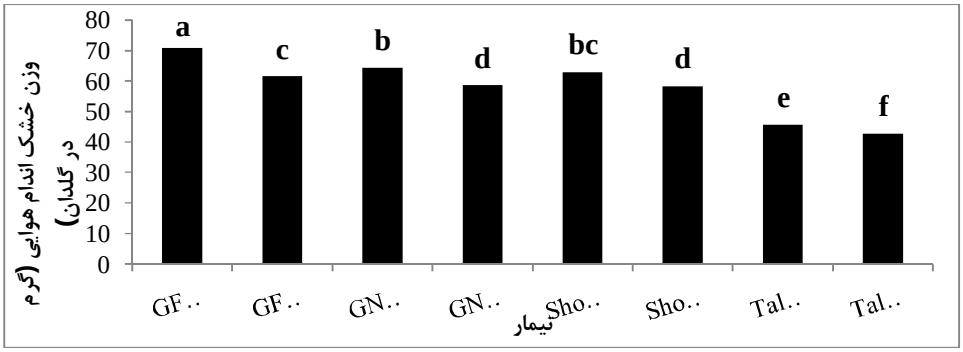
www.SID.ir

Archive of SID

جدول 3- مقایسه میانگین صفات تأثیر پایه، سطوح کم آبی و قارچ میکوریزا بر صفات رویشی پایه های مورد بررسی

رقم	طول درخت	قطر ساقه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	شاخص کلروفیل برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کلنیزاسیون ریشه
	سانتیمتر	میلیمتر	گرم	گرم		میلی‌گرم بر گرم برگ تازه			درصد
GF	49/6a	4/60a	66/2a	18/5a	31/97a	1/40a	0/47a	1/87a	62a
GN	47/6a	4/42a	61/4b	17/2b	21/57c	1/34b	0/42b	1/ 77b	56/2b
Shorab2	42/3b	4/20a	60/6b	17/2b	26/86b	1/34b	0/36c	1/71b	38/6c
Talkh	31/2c	2/40 b	44/1c	13/8c	18/12d	1/1c	0/35 c	1/45 c	41c
I_1	48a	4/45a	61/4a	20/1a	32/75a	1/46a	0/ 45a	1/91a	61/7a
I_2	44/5b	4/05b	58/8b	17/4b	24/63b	1/34b	0/42b	1/ 76b	53/6b
I_3	40/8c	3/64c	57/2c	15/7c	22/38c	1/26c	0/40c	1/ 65c	46/2c
I_4	37/4d	3/47c	55d	13/6d	18/77d	1/12d	0/36d	1/48d	36/2d
M_0	37/2b	3/60b	55/2b	14/7b	21/38b	1/22b	0/ 38b	1/ 61b	41/2b
M_1	48/2a	4/20a	61a	18/7a	27/90a	1/37a	0/42a	1/79a	57/7a

کمبود آب در هر مرحله از رشد گیاه، جذب، انتقال و مصرف عناصر غذایی را کاهش می‌دهد. همچنین تنش خشکی باعث کاهش فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در مراحل اولیه تنش می‌شود که پیامد آن کم شدن ذخیره کربن و کاهش ماده خشک می‌باشد (یوردانو و همکاران، 2003). در تحقیقات زیادی اثبات شده است که قارچ های میکوریزی بر رشد رویشی بسیاری از گیاهان همزیست خود تأثیر گذاشته و باعث افزایش رشد می‌شوند (باقری و همکاران، 1390؛ آقابابایی و همکاران، 1390؛ پیمانه و زارعی، 1392؛ کالوت و همکاران، 2004؛ اسمیت و رید، 2008؛ لی و همکاران، 2012). مکانیسم-های مختلفی در ارتباط با تأثیر میکوریز بر رشد رویشی گیاهان ذکر شده است. یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌ها، تأثیر قارچ میکوریز بر جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک است. همچنین قارچ‌های میکوریزی با بهبود هدایت هیدرولیکی، خاصیت اسمزی و افزایش جذب آب، به بازماندن روزنه‌ها و واکنش بیوشیمیایی گیاه کمک می‌کنند که در نهایت باعث افزایش میزان فتوسنتز و پارامترهای مربوط به آن می‌شود (بارزانا و همکاران، 2015؛ یوردانو و همکاران، 2003). همچنین با افزایش سطح قابل دسترس خاک و سنتز آنزیم فسفاتاز، دسترسی به فسفر را که نقش مهمی در فتوسنتز گیاه ایفا می‌کند را افزایش می‌دهد (اسمیت و رید، 2008؛ مو و همکاران، 2016). نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که ریشه گیاه در تیمار تلقیح با قارچ میکوریز در مقایسه با تیمار بدون تلقیح ریشه گیاه توانایی بیشتری در دسترسی به آب و مواد غذایی موجود در خلل و فرج بسیار ریز خاک و حجم بیشتری از خاک دارد. همچنین در شرایط اعمال تنش کم آبی موجب افزایش جذب آب موجود در خاک شده و با بهبود شرایط رشد و جذب بیشتر عناصر غذایی مفید برای گیاه باعث افزایش تولید ماده خشک بیشتری شده است (گلارتا و رئیسی، 2007).



شکل 3- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آزمایشی بر وزن خشک اندام هوایی

www.SID.ir

Archive of SID

وزن خشک ریشه

بررسی جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی پایه، تنش کم آبی و قارچ میکوریز بر وزن خشک ریشه معنی‌دار شد (جدول 2). الگوی اثر تیمارها بروزن خشک ریشه، تقریباً مشابه با وزن خشک اندام هوایی بود. در بین پایه‌های مورد بررسی بیشترین میزان وزن خشک ریشه از پایه GF بدست آمد که در مقایسه با پایه تلخ، 34 درصد افزایش را نشان داد. پایه‌های GN و محلی شوراب 2 تفاوت معنی‌دار با هم نداشتند و در یک گروه آماری مشترک قرار گرفتند. با افزایش تنش خشکی از تیمار I1 به تیمار I4 روند کاهش در میزان وزن خشک ریشه مشاهده شد. تلقیح پایه‌های بادام با قارچ، وزن خشک ریشه‌ها را در مقایسه با تیمار شاهد (بدون تلقیح) 27 درصد افزایش داد (جدول 3). بررسی‌ها نشان می‌دهد که بادام با مکانیسم‌های متفاوتی شامل تغییرات فیزیولوژیکی و ساختاری در برابر تنش خشکی مقاومت می‌کند (یدالهی و همکاران، 2011). نتایج تحقیقات سردابی و همکاران (2005) نشان داد تنش آبی باعث تفاوت بیشتری در وزن خشک ریشه در مقایسه با وزن خشک اندام هوایی در پنج ژنوتیپ بادام و دو اکوتیپ بادام وحشی شده است. تنش خشکی منجر به کاهش فتوسنتز و کاهش رشد گیاه شده و متعاقب آن کاهش ماده خشک می‌شود.

کاهش در وزن خشک ریشه تحت تنش کم آبی ناشی از کاهش تجمع کربوهیدرات‌های ریشه می‌باشد. از این‌رو گیاهان با مقادیر بالاتر وزن خشک در شرایط تنش خشکی به عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی می‌گردند (شائو و همکاران، 2008). یکی از روش‌هایی که در سال‌های اخیر برای مقابله با کم آبی و تنش‌های خشکی در بسیاری از گیاهان موررد استفاده قرار گرفته استفاده از قارچ‌های میکوریزی می‌باشد. بر همکنش اثرات فیزیکی، تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی قارچ میکوریز روی گیاه باعث تحمل گیاه به شرایط خشکی می‌شود. افزایش رشد و گسترش ریشه از عوامل افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی می‌باشد که این مهم با استفاده از قارچ‌های میکوریزی افزایش می‌یابد. قارچ میکوریزی با بهبود وضعیت تغذیه‌ای و روابط آبی و تغییر در سطح ترکیبات هورمونی گیاه باعث تغییر و افزایش انشعابات و حجم ریشه گیاه شده و می‌توانند از این طریق باعث افزایش عملکرد مادهٔ خشک ریشه شود. پتانسل افزایش رشد و گسترش ریشه در پایه GF نسبت به دیگر پایه‌ها بیشتر است. افزایش شاخص سطح برگ یکی از عوامل افزایش‌دهنده تولید ماده خشک محسوب می‌گردد (رجالی، 1396؛ اسمیت و رد، 2008؛ بارزانا و همکاران، 2015؛ یان و همکاران، 2016؛ مردحیاح و همکاران، 2016؛). افزایش تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکنین به واسطه‌ی تلقیح با قارچ‌های میکوریز می‌تواند یکی از عوامل افزایش وزن خشک ریشه باشد. زیرا قارچ میکوریز با افزایش تولید این هورمون‌ها باعث افزایش ریشه‌زایی و رشد بیشتر ریشه‌های گیاه می‌شود (رجالی، 1396؛ اسمیت و رد، 2008).

شاخص کلروفیل، محتوای کلروفیل a، b و کل

نتایج تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد، اثر پایه، تنش کم آبی و قارچ میکوریز بر شاخص کلروفیل، محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل معنی‌دار شد. بیشترین میزان شاخص کلروفیل برگ، محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل از پایه GF حاصل شد(جدول 3). در خصوص تیمارهای تنش آبی حداکثر شاخص کلروفیل و محتوای کلروفیل a، b و کل از تیمار I1 حاصل شد که در مقایسه با تیمار I4 به ترتیب افزایش 74/5، 27، 34 و 29 درصدی حاصل نمود. با افزایش شدت تنش، شاخص کلروفیل و محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل روند کاهشی را نشان می‌دهند. با مصرف قارچ میکوریز این پارامترها افزایش یافتند (جدول 3). از بین اثرات متقابل تیمارهای مورد بررسی تنها اثر متقابل پایه در تنش کم آبی بر شاخص کلروفیل و محتوای کلروفیل a و b معنی‌دارشد (جدول 2). حداکثر شاخص کلروفیل، محتوی کلروفیل a و b از تیمار GF+I1 و حداقل از تیمار (I4 +تلخ) بدست آمد (جدول 4). کاهش در میزان کلروفیل برگ در نتیجه تنش خشکی در گونه‌های مختلف بادام (کریمی و همکاران، 2013؛ یدالهی و همکاران، 2011). و ارقام بادام (مرادی و همکاران، 1398؛ سرخه و همکاران، 2012؛ رجب پور و همکاران، 2014) گزارش شده است. غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی به عنوان نشانگری مهم در ارزیابی میزان تحمل به تنش خشکی می‌باشند (سرخه و همکاران، 2012).

کاهش میزان آب در برگ نه تنها از ساخته شدن کلروفیل جلوگیری می‌کند بلکه منجر به تجزیه رنگیزه‌های برگ نیز می‌شود. افزایش شاخص کلروفیل و محتوای کلروفیل با مصرف میکوریز با نتایج تحقیقات آقابابائی و رئیسی، 1390؛ زارعی و همکاران، 1392؛ رئیسی و گلاراتا، 2006 مطابقت دارد. بررسی‌های زارعی و همکاران، 1392 روی پایه رافلمون مرکبات نشان داد که در تیمارهای با مصرف قارچ‌های میکوریزی شاخص کلروفیل افزایش پیدا نمود. مقدار کلروفیل گیاه به ویژگی‌های ژنتیکی و ذاتی گیاه، شرایط تغذیه‌ای و محیطی

www.SID.ir

Archive of SID

بستگی دارد. از این رو هر چه شرایط تغذیه‌ای و محیطی، مانند عنصرهای غذایی، نور، رطوبت، کنترل آفت و بیماری‌ها برای رشد گیاه مناسب‌تر باشد،توان گیاه در تولید کلروفیل بیشتر است. همزیستی مایکوریزایی از عامل‌هایی است که سبب بهبود برخی از این شرایط شده و بر میزان کلروفیل اثر می‌گذارد. افزایش قرائت کلروفیل‌سنج در تیمار میکوریزی به علت نقش مفید و مؤثر قارچ‌های میکوریزی در افزایش جذب عناصر غذایی گیاه از جمله فسفر، نیتروژن، منیزیوم، روی و آهن می‌باشد. این عناصر در ساخت کلروفیل نقش کلیدی داشته و با افزایش غلظت این عناصر در گیاه سنتز کلروفیل افزایش پیدا می‌کند (مارشنر، 1994). در این پژوهش پایه GF به‌دلیل داشتن پتانسل بالاتر در افزاش رشد ریشه و جذب عناصر غذایی از غلظت و شاخص کلروفیل بالاتری برخوردار بود.

جدول 4- مقایسه میانگین اثرات متقابل پایه در سطوح تنش بر میزان کلروفیل a و کلروفیل b و شاخص کلروفیل

پایه	تنش	کلروفیل a	کلروفیل b	شاخص کلروفیل
		میلی‌گرم بر گرم برگ تازه		
GF	I1	1/56a	0/55a	37/8a
	I2	1/42cd	0/50ab	34/7b
	I3	1/37cde	0/46bc	30/2b
	I4	1/23fg	0/39ef	25/3c
GN	I1	1/53ab	0/49bc	32/2b
	I2	1/41cd	0/44cd	17/6cd
	I3	1/33def	0/40de	22/4bc
	I4	1/08hi	0/37efg	14/1d
شوراب 2	I1	1/45bc	0/40de	36/5b
	I2	1/38cde	0/36efg	30/4b
	I3	1/32def	0/37efg	21/4cd
	I4	1/23fg	0/33fg	19/3d
تلخ	I1	1/30fg	0/34ef	24/5cd
	I2	1/14hi	0/36efg	15/9d
	I3	1/01ij	0/34g	15/6d
	I4	0/94j	0/33g	16/6d

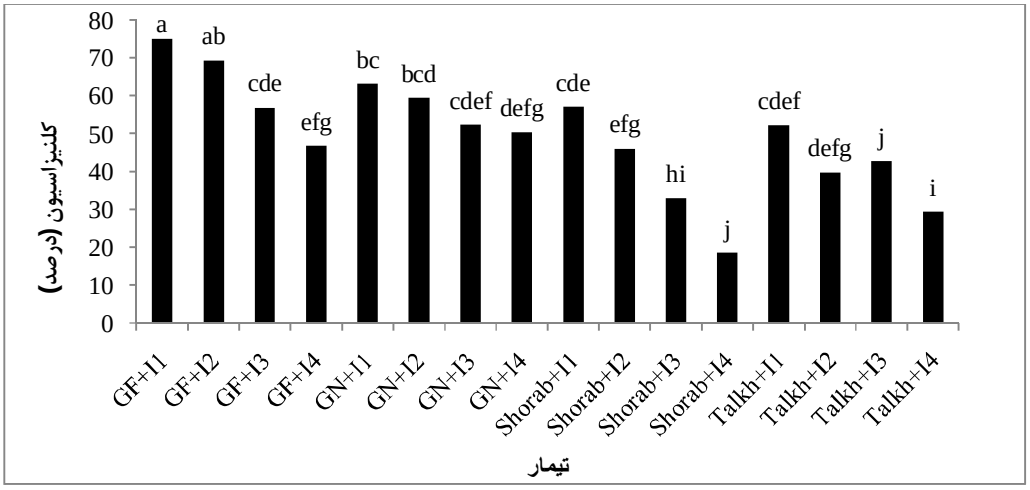
در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد برای کلروفیل aو یک درصد برای کلروفیل b و شاخص کلروفیل می‌باشند.

کلنیزاسیون ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی پایه، تنش کم آبی و قارچ میکوریز و اثر متقابل پایه در تنش کم آبیاری آبیاری و تنش کم آبیاری در قارچ میکوریز بر کلنیزاسیون ریشه معنی‌دار شد (جدول 2). در میان پایه‌ها حداکثر کلنیزاسیون ریشه به میزان 62 درصد از پایه GF حاصل شد. که نسبت به پایه بادام محلی شوراب 60/2 درصد افزایش نشان داد (جدول 3). بین پایه بادام تلخ و محلی شوراب 2 اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. تفاوت در درجه کلنیزاسیون ریشه‌ای در پایه‌های مورد بررسی می‌تواند به دلیل مورفولوژی ریشه، ترشحات ریشه‌ای و سازگاری آنها باگونه‌های قارچ میکوریزی باشد (کاوالازی، 2007). با افزایش شدت تنش خشکی کلنیزاسیون ریشه کاهش یافت. درصد کلنیزاسیون در تیمار I1 نسبت به تیمار I4، 50 درصد افزایش داشت. تلقیح پایه های بادام با قارچ میکوریز منجر به افزایش 40 درصدی کلنیزاسیون ریشه نسبت به شاهد شد. در خصوص اثر متقابل معنی‌دار تیمار پایه در سطوح تنش کم آبی، حداکثر میزان کلنیزاسیون ریشه از تیمارترکیبی GF+I1 به‌میزان 75 درصد حاصل شده که نسبت به تیمار حداقل (Talkh + I4)، 155 درصد افزایش نشان داد (شکل 4).

www.SID.ir

Archive of SID

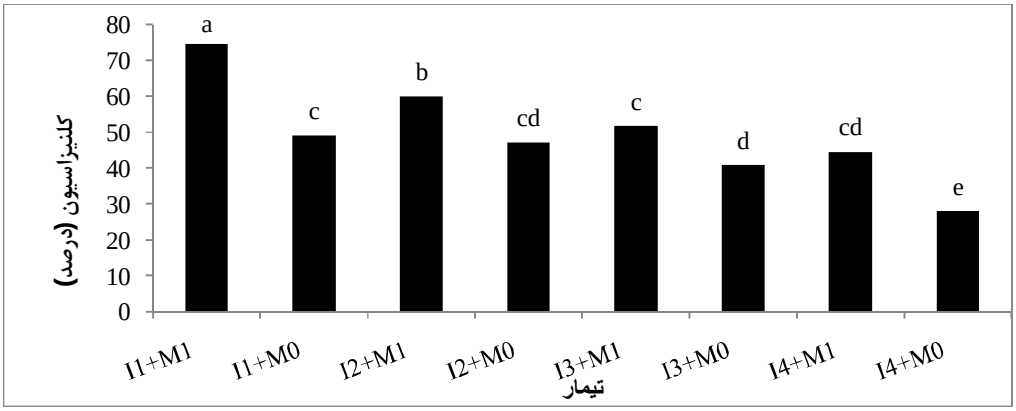


شکل 4- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آزمایشی پایه در تنش کم آبی بردرصد کلنیزاسیون ریشه

از دلایل افزایش کلونیزاسیون ریشه در پایه GFمی‌تواند به دلیل سیستم ریشه‌ای و سرعت رشد بیشتر آن باشد. سیستم ریشه‌ای پایه GF نسبت به پایه بادام تلخ از سرعت رشد و ظرفیت گسترش بیشتری برخوردار می‌باشد. در تمام پایه‌های مورد آزمایش درصد کلنیزاسیون ریشه با افزایش شدت تنش کم آبی کاهش یافت که با نتایج تحقیقات عزیزی و همکاران (1398) و رامبرگ و همکاران (2015) وو و گزیا (2006) مطابقت دارد. حقیقت‌نیا و همکاران (2011) گزارش نمودند کلنیزاسیون میکوریزی پایه مرکبات ولکامرانیا، به‌ویژه تلقیح گیاه با گونه *Rhizophagus intraradices* به‌واسطه تأثیر مثبت بر پارامترهای مورفولوژیک، جذب عناصر غذایی (پتاسیم، فسفر و کلسیم)، مقدار کلروفیل و رطوبت نسبی آب برگ تحت شرایط تنش خشکی افزایش یافته و سبب افزایش مقاومت به تنش خشکی شده است. عزیزی و همکاران (1398) گزارش نمودند حداکثر کلنیزاسیون ریشه از تلقیح نهال مورد (*Myrtus communis* L.) با ترکیب دو قارچ *Rhizophagus intraradice* و *Funneliformis mosseae* در هر سه نوع رژیم کم آبی (بدون تنش، ملایم و شدید) حاصل شد. امیری و همکاران گزارش نمودند کلونیزاسیون ریشه، مقاومت به خشکی، پارامترهای رشدی و فیزیولوژیک در پایه های شمعدانی (*Pelargonium graveolens* L.) تلقیح شده با گونه های قارچی *Rhizophagus intraradices* و *Funneliformis mosseae* در هر سه نوع رژیم کم آبی (بدون تنش، متوسط و شدید) بهبود یافت. وو و گزیا (2006) گزارش نمودند تنش خشکی کلنیزاسیون ریشه مرکبات را کاهش می‌دهد. با کاهش رطوبت میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد و این عامل بر روی کمیت و کیفیت ترشحات ریشه‌ای اثر گذاشته و بر روی جوانه‌زنی اسپور و گسترش هیف‌های میکوریزی نیز تأثیرگذار است.کاهش کلنیزاسیون تحت شرایط کمبود آب می‌تواند به علت مقاومت کم گیاه به تنش‌های غیر زیستی باشد (رامبرگ و همکاران، 2015). در خصوص اثر متقابل سطوح تنش و قارچ میکوریزا حداکثر درصد کلنیزاسیون ریشه از تیمار ترکیبی I1+M به میزان 74/5 درصد بدست آمد که نسبت به تیمار حداقل (تیمار I4 -M)، 148 درصد افزایش نشان داد (شکل 5). این نتیجه با نتایج یافته‌های عزیزی و همکاران (1398)، حقیقت‌نیا و همکاران (2011)، امیری و همکاران (2017) مطابقت دارد. میزان کمتر کلنیزاسیون قارچ‌های میکوریزی در شرایط تنش آبی می‌تواند ناشی از کاهش کربن در دسترس گیاه میزبان و کاهش جوانه‌زنی اسپور قارچی باشد (وو و همکاران، 2013). با افزایش کلنیزاسیون ریشه‌ای، سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان توسعه یافته و در نتیجه سطح جذب ریشه‌ها به علت نفوذ هیف‌های قارچ در خاک و ایجاد پوشش میسلیومی در منطقه تارهای کشنده، افزایش یافته و ریشه به حجم بیشتری از خاک دسترسی پیدا کرده و کارآیی جذب آب و عناصر غذایی افزایش می‌یابد. همچنین تولید از طریق تولید پروتون، ترشح اسیدهای آلی، سیدروفورها، ترکیبات کلات‌کننده و فسفات‌آز باعث ایجاد شرایط مناسب جهت آزادسازی و تأمین عناصر غذایی برای گیاه میزبان در شرایط کمبود فسفر و نیتروژن می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 5- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آزمایشی سطوح تنش آبی و میکوریزا برکلنیزاسیون ریشه

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش تنش کم آبی، رشد و صفات رشدی، میزان و شاخص کلروفیل و درصد کلنیزاسیون ریشه کاهش یافت. تأثیرپذیری پایه GF نسبت به تلقیح قارچ‌های میکوریزی به دلیل داشتن سیستم ریشه‌ای انبوه و با سرعت رشد بالا بیشتر بود و از صفات رشدی بالاتری برخوردار بود. صفات اندازه‌گیری شده در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزی بیشتر از گیاهان شاهد بدون تلقیح بود. تیمارهای تلقیح شده با قارچ میکوریزی منجر به افزایش صفات رشدی مورد بررسی و باعث کاهش اثرات تنش کم آبی شدند. تلقیح قارچ‌های میکوریز آربسکولار می‌تواند از طریق مکانیسم‌هایی از قبیل افزایش مؤثر سطح جذب ریشه، طول ریشه، تعداد ریشه‌های جانبی، تولید پروتون، ترشح اسیدهای آلی، سیدروفورها، ترکیبات کلات‌کننده، فسفات‌آز اسیدی منجر به افزایش کلنیزاسیون ریشه در شرایط طبیعی شود. افزایش همزیستی ایجاد شده باعث افزایش صفات رشدی و بهبود مقاومت پایه‌های بادام به تنش کم آبی شد.

سپاسگذاری

این پژوهش با حمایت و کمک مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فن‌آوران کشور با کد 94003139 انجام شده است که بدینوسیله از همکاری صندوق تشکر به‌عمل می‌آید.

فهرست منابع:

1. آقابابائی، ف.، رئیسی، ف.، و نادیان، ح. 1390. اثر همزیستی میکوریزایی بر میزان کلروفیل، فتوسنتز و راندمان مصرف آب در چهار ژنوتیپ بادام در استان چهارمحال و بختیاری. 56: 101-91.
2. امامی، ع. 1375. روش‌های تجزیه گیاه. جلد اول. موسسه تحقیقات آب و خاک. نشریه شماره 982.
3. باقری، و.، شمشیری، م.ح.، شیرانی، ح.، و روستا، ح. 1390. اثر قارچ میکوریزآربسکولار و تنش خشکی بر رشد، روابط آبی، تجمع پرولین و قندهای محلول در نهال‌های دو رقم پایه‌ای پسته اهلی (*Pistacia vera* L.). مجله علوم باغبانی ایران، 42(4): 377-365.
4. بهرامی‌نژاد، م.، ا. صداقتی، م.ح. شمشیری و ا. بهرامی نژاد. 1393 . بررسی نقش همزیستی میکوریزایی در افزایش مقاومت به خشکی دو پایه تجاری بادام. اولین همایش یافته های نوین در محیط زیست و اکوسیستم های کشاورزی. تهران، ایران. Agro congress.ir
5. پیمانه، ز.، و زارعی، م. 1392. اثر قارچ‌های میکوریز آربسکولار بر رشد و جذب عناصر غذایی پایه نارنج در شرایط کم آبی. مجله زیست‌شناسی خاک، 1: 24-13.
6. تهرانی‌فر، ع.، کافی م. و عدلی م. 1383. پرورش بادام . انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. 31 صفحه.

www.SID.ir

Archive of SID

7. رجالی، ف. 1396. آشنایی با قارچ‌های میکوریزی و کاربرد آن در اکوسیستمهای مختلف. سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب. 154 صفحه.

8. زارعی، م.، پیمانه، ز.، رونقی، ع .ا.، کامکار حقیقی، ع.ا.، و شهسوار، ع. ر.1392. اثر قارچ مایکوریز آربوسکولاربررشد و پارامتر های فیزیولوژیک پایه رافلمون در شرایط تنش کم آبی. نشریه آب و خاک) علوم و صنایع کشاورزی (، 3 :485-49.

9. صالحی، ف. 1385. نشریه فنی قارچ ریشه و کاربرد آن در کشاورزی. انتشارات موسسه تحقیقات پسته کشور. 16 صفحه.

10. عزیزی، ص.، طبری کوچکسرایی، م.، هادیان، ج.، فلاح نصرت آبادی، ع.، و مدرس ثانوی، س.ع.م. 1398. پاسخ فیزیولوژیک نهال مورد (*Myrtus communis* L) به تلقیح با میکروارگانیسمها در شرایط تنش کم آبی نشریه زیست-شناسی: 7(2): 181-167.

11. علیزاده، 1. 1394. رابطه آب و حاک و گیاه. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. چاپ چهارم، 472 صفحه.

12. مرادی، م.، اثنی عشری، م. و ارشادی، ا. 1398. ارزیابی برخی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی پایه‌های پیوند شده و غیر پیوندی بادام به تنش خشکی. علوم باغبانی ایران. 5 (2): 323-311.

13. Amiri, R., Nikbakht, A., Rahimmalek, M. and Hosseini, H. 2017. Variation in theessential oil composition, antioxidant capacity, and physiological characteristics of*Pelargonium graveolens* L. inoculated with two species of mycorrhizal fungi under water deficit conditions. Journal of Plant Growth Regulation 58(1): 1-14
14. Bárzana, G., Aroca, R., and Ruiz-Lozano, J.M. 2015. Localized and nonlocalized effects ofarbuscular mycorrhizal symbiosis on accumulation of osmolytes and aquaporins and on antioxidant systems in maize plants subjected to total or partial root drying. Plant Cell Environment 38:1613–1627.
15. Berta, G., Trotta, A., Fusconi, A., Hooker, J., Munro, M., Atkinson, D., Giovannetti, M., and Morini, S. 1995. Arbuscular mycorrhizal induced changes to plant growth and root system morphology. Tree Physiol. 15: 281-293.
16. Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T. and Malajczuk, N. 1996 .Working withmycorrhizas in forestry and agriculture. Australian centre for international agricultural research, Canberra. Pp 374.
17. Calvet, C., Estan, V., Camprub, A., Hernandez-Dorrego, A. Pinochet, J., and Moreno, M.A. 2004. Aptitude for mycorrhizal root colonization in Prunus rootstocks. Scientia Horticulturae, 100:39–49.
18. Cavallazzi, J.R.P., O.K. Filho, S.L. Stürmer, P.T. Rygiewicz, M. M. de Mendonça. 2007. Screening and Selecting Arbuscular Mycorrhizal Fungi Forinoculating Micropropagated Apple Rootstocks in Acid Soils. Plant Cell Tiss. Organ Cult, 90:117–129.
19. Flexas, J., Barón, M., Bota, J., Ducruet, J. M., Gallé, A., Galmés, J., Jiménez, M. Pou, A., Ribas-Carbó, M., ajnani, C., Tomàs M., and Medrano, H.. 2009. Photosynthesis limitations during water stress acclimation and recovery in the drought-adapted Vitis hybrid Richter-110 (V. berlandierixV. rupestris). J. Exp. Bot, 60:2361-2377.
20. Ghollarata, M. and Raiesi, F. 2007. The adverse effects of soil salinization on the growth of *Trifolium alexandrinum* L. and associated microbial and biochemical properties in a soil from Iran. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(7): 1699-1702.
21. Haghighatnia H., Nadian, H.A., and Rejali, F. 2011. Effects of mycorrhizal colonization on growth, nutrients uptake and some other characteristics of Citrus volkameriana rootstock under drought stress. World Applied Sciences Journal, 13 (5):1077-1084.
22. Hosseini, A., and Gharaghani, A. 2015. Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth and Nutrient Uptake of Apple Rootstocks in Calcareous Soil. International Journal of Horticultural Science and Technology, 2 (2): 173-185.

www.SID.ir

Archive of SID

23. Kafkas, S., and Ibrahim, O. 2009. Various mycorrhizal fungi enhance dry weights, P and Zn uptake of four Pistacia species. Plant Nutrition, 32: 146-159.
24. Karimi, S., Yadollahi, A., and Arzani, K. 2013. Responses of almond genotypes to osmotic stress induced in vitro. *Journal of Nuts*, 4(4): 1 -7.
25. Kormanik, P. P., and McGraw, A. C. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. IN: Methods and principles of mycorrhizal research (N. C. Schenck, Ed.), pp. 37-47. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minn.
26. Lee, B. R., Muneer, S. J. Avice, C., Jung, W. J. and Kim, T. H. 2012. Mycorrhizal colonisation and P-supplement effects on N uptake and N assimilation in perennial ryegrass under well-watered and drought-stressed conditions. *Mycorrhiza*. 22(7): 525-534.
27. Mardhiah, U., Caruso, T., Gurnell, A., and Rillig, M. 2016. Arbuscular mycorrhizal fungal hyphae reduce soil erosion by surface water flow in a greenhouse experiment. Applied Soil Ecology, 99:137–140.
28. Marschner, H., and Dell, B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant and Soil 159: 89 – 102.
29. Mo, Y., Wang, Y., Yang, R., Zheng, J., Liu, C., Li, H., Ma, J., Zhang, Y., Wei, C. andZhang, X. 2016. Regulation of Plant Growth, Photosynthesis, Antioxidation and Osmosisby an Arbuscular Mycorrhizal Fungus in Watermelon Seedlings under Well-Watered andDrought Conditions. Frontiers in Plant Science 7: 1-15.
30. Raiesi, F. and M. Ghollarata. 2006. Interactions between phosphorus availability and an AM fungus (Glomus intraradices) and their effects on soil microbial respiration, biomass and enzyme activities in a calcareous soil. Pedobiologia, 50:413–425.
31. Rajabpoor, S., Kiani, S., Sorkheh, K., and Tavakoli, F. 2014. Changes induced by osmotic stress in the morphology, biochemistry, physiology, anatomy and stomatal parameters of almond species (*Prunus L*. spp.) grown in vitro. Forest Research, 25 (3):523-534.
32. Rincon, A., F. Valladares., T. E. Gimeno and J. J. Pueyo. 2008. Water stress responses of two Mediterranean tree species influenced by native soil microorganisms and inoculation with a plant growth promoting rhizobacterium. *Tree Physiology*. 28: 1693–1701.
33. Roldan-Fagardo, B.E., Barea, J. M., Ocampo, J. A. and Azcon-Aguilar, C. 1982. The effect of season on VA mycorrhiza of the almond tree and of phosphate fertilization and species of endophyte on its mycorrhizal dependency. Plant and Soil, 68:361–367.
34. Rümberg, B.C, Urcelay, C., Shroeder M. A., Vargas-Gil, S. and Luna C.M. 2015. The role of inoculum identity in drought stress mitigation by arbuscular mycorrhizal fungi in soybean. Biology and Fertility of Soils 51(1):1–10.
35. Shao, H.B., Chu, L.Y., Abdul-Jaleel, C., and.Zhao, C.X. 2008. Water-Deficit Stress-Induced Anatomical Changes in Higher Plants. Compt. Rend. Biol. 331:215-225.
36. Sardabi, H., Daneshvar, H. A., Rahmani, A., Assareh, M. H. 2005. Responses of cultivated and wild almond to water stress. Acta Hortic. 726, 311–316.
37. Smith, S. E., and Read, D. J. 2008. Mycorrhizal symbiosis, third ed. Academic Press, London. UK.
38. Sorkheh, K., Shiran, B., Khodambshi, M., Rouhi, V., and Ercisli, S. 2012. In vitro assay of native Iranian almond species (*Prunus* L. spp.) for drought tolerance. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 105(3): 395-404.
39. Wellburn, A. R. 1994. The spectral determination of chlorophyll a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolutions. *Journal of Plant Physiology*, 144: 307-313
40. Wu, Q. S., Srivastava, A.K. and Zou, Y.N. 2013. AMF-induced tolerance to drought stressin citrus: a review. Scientia Horticulturae 164:77–87.

www.SID.ir

Archive of SID

41. Wu, Q.S. and Xia, R.X. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. Journal of Plant Physiology 163(4):417–425.
42. Yadollahi, A., K. Arzani, A. Ebadi, M. Wirthensohn, and S. Karimi, 2011. The response of different almond genotypes to moderate and severe water stress in order to screen for drought tolerance. *Scientia Horticulturae*, 129: 403-413
43. Yin, N., Zhang, Z., Wang, L., and Qian, K. 2016. Variations in organic carbon, aggregation, and enzyme activities of gangue-fly ash-reconstructed soils with sludge andarbuscular mycorrhizal fungi during 6-year reclamation. Environmental Science andPollution Research 23(17): 17840–17849.
44. Yordanov, I., Velikova, V., and Tsonev, T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. *Plant Physiology*, Special Issue, 187-206.
45. Zamani, Z., Taheri, A., Vezvaei, A. and Poustini. K. 2002. Proline content and stomata resistance of almond seedlings affected by irrigation intervals. Acta Hort, 591: 411-416.

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of mychorhizal symbiosis on growth properties and colonization of common Almond rootstock at water deficit conditions

M. Mohammadi[1], and F. Rejali

Assistant Professor, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center; Agricultural Research, Education and Extension Organization, Shahrekord, Iran; E-mail: m.mohamadi@areeo.ac.ir

Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Karaj, Iran; E-mail: frejali@yahoo.com

Received: June, 2019 & Accepted: Ocober, 2020

Abstract

Drought is one of the most important environmental stresses that adversely affect the plant growth and crop production. Arbuscular mycorrhizae fungi help their host by absorption of water and mineral nutrition. In order to evaluate mycorrhizal fungus and water deficit stress on growth characteristics, chlorophyll content and root colonization percentage of almond (*Prunus amygdalus*) rootstock, a completely randomized design with factorial arrangement was conducted with three replications in agricultural and natural research center of Shahrekoard. The treatments consist of two levels of mycorrhizal fungus (with (M1) and without (M0) mycorrhizal fungus), four types of rootstock (bitter, local Shorab 2, GF and GN) and four levels of water deficit stresses (Control (I0), slight (I1), moderate (I2) and severe (I3)). The results revealed that the rootstock types had significant effects on studied parameters and the maximum measured parameters was observed in GF rootstock treatment. Water deficit stress also had significant effects on examined parameters. With increasing water deficit stress, root colonization percentage and root dry weight decreased significantly. Mycorrhizae fungi treatments increased root dry weight and root colonization percentage 27 and 40 percent respectively. The maximum stem length, stem diameter and plant dry weight were observed in GF +I1 treatment. The highest amount of root colonization percentage (74.5 %) was achieved in I1 + M1 treatment. Therefore, based on the results, the mycorrhizal fungus increased the growth properties of almond rootstock and reduced the harmful effects of water deficit stress.

Keywords: Almond (*Prunus amygdalus)*, Drought stress, Root Colonization, Chlorophyll

[1]. Corresponding author: Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Shahrekoard. P.O.Box: 415

www.SID.ir