نشریه زیست‌شناسی خاک / جلد 6 / شماره 2 / 1397

10.22092/sbj.2018.109428.90

تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه و قارچ‌های میکوریزی بر خصوصیات ریشه گندم در سطوح مختلف کود شیمیایی فسفری

رحیم ناصری[1]، مهرشاد براری، محمدجواد زارع، کاظم خاوازی و زهرا طهماسبی

دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام؛ rahim.naseri@gmail.com

استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام؛ bararym@gmail.com

دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام؛ mj.zarea@ilam.ac.ir

استاد موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج؛ kkhavazi@yahoo.com

استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام؛ z.tahmasebi@ilam.ac.ir

دریافت: 95/12/11 و پذیرش: 96/12/22

چکیده

شناخت سیستم ریشه به عنوان نیمه پنهان گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخورداراست و گسترش مناسب آن یکی از عوامل تأثیرگذار در تولید گیاهان زراعی می‌باشد. رشد و گسترش ریشه در خاک از اهمیت ویژه‌ای در تولید گندم می‌باشد، زیرا ارتباط گیاه با آب و عناصر غذایی مورد نیاز و جذب آن‌ها به طور عمده از طریق ریشه صورت می‌گیرد. بدین منظور آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال 1394 اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل رقم گندم در دو سطح (کراس‌سبلان و ساجی) و منابع کودی در هشت سطح شامل: 1- عدم مصرف کود شیمیایی فسفر، 2- 100 درصد کود شیمیایی فسفر، 3- *Pseudomonas putida (strain 168)*، 4- *Funeliformis mosseae*، 5- *F.mosseae + P.putida*، 6- *F.mosseae + P.putida* +50 درصد کود شیمیایی فسفر، 7- *P.putida* +50 درصد کود شیمیایی فسفر و 8- *F.mosseae* +50 درصد کود شیمیایی فسفر بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که منابع کودی اثر مثبت و معنی‌داری بر سیستم ریشه‌دهی گندم داشت و موجب افزایش معنی‌دار تعداد ریشه‌های بذری، گره‌ای، زیرگره‌ای، طول ریشه‌های بذری، گره‌ای، زیرگره‌ای، حجم ریشه، طول مخصوص ریشه، تراکم طول ریشه، حجم مخصوص ریشه، تراکم حجم ریشه و چگالی سطح ریشه گردید. در این مطالعه رقم ساجی در *F.mosseae* +50 درصد کود شیمیایی فسفر دارای بیشترین تعداد و طول ریشه‌ها (13/3 و 397/2 سانتی‌متر)، تراکم طول ریشه (0/75 سانتی‌متر طول ریشه بر سانتی‌متر مکعب خاک)، سطح ریشه (150/3 سانتی‌متر مربع)، تراکم حجم ریشه (0/010 گرم وزن تر ریشه بر سانتی متر مکعب حجم خاک) و چگالی سطح ریشه (166/7 سانتی‌متر مربع بر گرم) و رقم کراس‌سبلان و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) نیز دارای کمترین خصوصیات ریشه بودند.

واژه‌های کلیدی: تراکم طول ریشه، حجم ریشه، ریشه بذری، *P.putida*، *F.mosseae* و طول ریشه.

[1]. نویسنده مسئول؛ آدرس: ایلام- خیابان پژوهش- دانشگاه ایلام، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات.

مقدمه

در بین غلات گندم (*Triticum aestivum* L.) به صورت یک محصول راهبردی در جهان مورد توجه می‌باشد که بیشترین سطح زیر کشت (بیش از 250 میلیون هکتار) و بالاترین میزان تولید (بیش از 500 میلیون تن) را در بین گیاهان مختلف زراعی دنیا دارا می‌باشد و غذای اصلی مردم جهان به شمار می‌رود (حیدریان و همکاران، 1392). ایران به لحاظ قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه خشک جهان از نظر نزولات آسمانی دچار محدودیت آبی است که البته با برنامه‌ریزی و استفاده اصولی از امکانات می‌توان تا حدودی از کاهش تولید جلوگیری کرد (تدین و امام، 1386).

باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد[1] مانند باکتری‌های جنس *Azetobacter*، *Azospirillum* و *Pseudomonas*، گروه ویژه‌ای از میکروارگانیسم‌های خاک هستند که با فعالیت در سطح و یا داخل ریشه‌با تولید مقادیر قابل ملاحظه‌ای از هورمون‌های تحریک کننده رشد به ویژه انواع اکسین، جیبرلین و سیتوکنین سبب رشد و نمو باعث افزایش رشد و کارآیی جذب آب و مواد غذایی گیاهان و در نهایت موجب بهبود در عملکرد دانه می‌شوند (آدسمو و اگامبردیو، 2013؛ سپنس و پینس، 2015).

یکی از مهمترین روابط همزیستی در عالم حیات که در طی دوره تکامل به وجود آمده است، همزیستی میکوریزا می‌باشد که در آن، ریشه گیاه با قارچ به صورت یک واحد زنده فعالیت می‌کنند و از یکدیگر سود می‌برند. بر اثر این همزیستی دو طرف سود برده و به رشد یکدیگر کمک می‌کنند. مهمترین اثر قارچ‌های میکوریزا، افزایش رشد گیاه میزبان است که معمولاً به دلیل افزایش جذب عناصرغذایی از خاک بخصوص عناصر با تحرک پائین در خاک مانند فسفر و روی انجام می‌گیرد (ناصری و همکاران، 1395 ب). نشان داده‌اند که مکانیسم‌های ممکن در مقاومت به خشکی توسط قارچ میکوریزا از طریق افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه (رابرت و همکاران، 2008)، تنظیم اسمزی یا میزان تعرق (اسرار و الهندی ، 2011)، افزایش جذب در شرایط سطوح پایین رطوبت خاک آب و انتقال توسط هیف‌ها (فاگوبلا و همکارزان، 2001)، تنظیم اسمزی از طریق نگهداری آماس سلولی (اسرار و الهندی، 2011)، افزایش فعالیت فتوسنتز، پرولیین و تجمع کربوهیدرات‌ها و بهبود وضعیت عناصر غذایی عناصر غذایی و غیر مستقیم و بالا بردن ظرفیت آنتی اکسیدانتی موجب بهبود روابط آبی می‌گردد (اسرار و الهندی ، 2011). اطلاعات ما در مورد ریشه و خصوصیات آن کم و محدود است، دلیل آن این است که ریشه اندامی زیرزمینی و مطالعه آن در مقیاس وسیع و در سطح مزرعه بسیار مشکل و طاقت فرساست، در این ارتباط شبیه‌سازی رشد ریشه یک راه حل برای ارزیابی تفاوت‌های ژنوتیپی و بررسی واکنش آن‌ها به شرایط محیطی است. توانیی ریشه‌ها برای بهره برداری از رطوبت ذخیره شده در لایه-های زیرین خاک به‌طور مستقیم از طریق افزایش تعرق گیاه و به طور غیرمستقیم از طریق تنظیم بهره‌برداری از این ذخایر در دوره‌های رشد رویشی و زایشی در افزایش عملکرد دانه مؤثر است (ناصری و همکاران، 1395 الف). از آن‌جایی‌که آب قابل دسترس، عامل اصلی محدود کننده در محیط‌های خشک است، بیشترین بازده زمانی به‌دست می‌آید که از آب محدود موجود در خاک، حداکثر جذب توسط گیاه صورت گیرد، این خصوصیت تنها از طریق مکانیسم‌های سازگاری مرتبط با سیستم ریشه حاصل خواهد شد (گنجعلی و همکاران، 1386). ریشه و اندام-های هوایی و روابط بین آن‌ها می‌تواند تعیین کننده روابط بین سرعت رشد[2] این اندام‌ها باشد. اطلاعات قابل دسترس در مورد سیستم ریشه در مقایسه با سیستم اندام-های هوایی به دلیل مشکلات اندازه‌گیری آن، کافی نیست (کاشیواگی و همکاران، 2006). سینگ و همکاران (2005) اظهار داشتند که بررسی صفاتی مانند طول، سطح و حجم ریشه و روابط بین آنها به منظور تعیین ظرفیت جذب آب از طریق ریشه ضروری است، آن‌ها بیان داشتند گیاهانی که طول ریشه اصلی، تعداد ریشه‌های جانبی، تراکم طول ریشه و نسبت ریشه به اندام‌هوایی بالاتری دارند نسبت به گیاهانی که این ویژگی را ندارند، مقاومت و تحمل بیشتری به کم آبی و تنش خشکی نشان می‌دهند. قابلیت گیاهان از نظر جذب آب و مواد غذایی از خاک بستگی به ظرفیت، توسعه و حساسیت سیستم ریشه‌ای به تنش‌های محیطی دارد. سیستم ریشه عمیق می‌تواند موجب دسترسی بیشتر به نیمرخ خاک به منظور جذب، تجمع آب و مواد غذایی گردد (گارنت و همکاران، 2009).

محققان بیان داشته‌اند که ساختار ریشه نقش مهمی در تولیدات کشاورزی از طریق تغییر در کارآیی جذب مواد غذایی گیاهان از خاک دارند به گونه‌ای که عملکرد دانه گندم به‌طور مستقیم وابسته به صفات ریشه می‌باشد (رابین و همکاران، 2014). تلقیح قارچ میکوریزا باعث تغییرات مورفولوژیک ریشه می‌شود که این تغییرات باعث

---

1. Plant Growth Promoting Rhizobacteria

2. Allometric

می‌شود که میزان جذب فسفر افزایش یابد (سابرامانیان و همکاران، 2008). قارچ‌های میکوریزا با افزایش سطح جذب ریشه جذب کننده سبب انتقال سریعتر عناصر از طریق هیف‌ها به ریشه نسبت به مسیر خاک به ریشه و امکان استفاده این قارچ‌ها از منابع غذایی نامحلول و یا کم محلول موجب افزایش جذب مؤثر می‌شوند (افشارنیا و همکاران، 1392). مکانیسم‌های گوناگونی می‌توانند موجب افزایش جذب فسفر توسط گیاهان میکوریزایی بیان گردند که از بین آن‌ها می‌توان به: 1-جستجوی حجم بیشتری از خاک و 2- بالا بودن سرعت جذب فسفر توسط هیف قارچ‌های میکوریزا اشاره نمود. جستجوی حجم بیشتری از خاک توسط گیاهان میکوریزایی موجب می‌گردد فاصله بین یون‌های فسفر و ریشه گیاهان کاهش یابد (تیلاک و همکاران، 2005). بانرجی و همکاران (2006) و وسی و باس (2002) افزایش وزن ریشه در غلات را به دلیل تلقیح بذر با باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گزارش نمودند، آن‌ها اظهار داشتند که تأثیر مواد تنظیم کننده رشد تولید شده به وسیله باکتری‌های افزاینده رشد بر رشد ریشه از طریق پارامترهایی بروز می‌کند که مهمترین آن‌ها افزایش وزن و انشعابات ریشه و افزایش تارهای مویین ریشه می‌باشند که از میان آن‌ها افزایش وزن ریشه بر اثر کاربرد عمومی‌تر می‌باشد. نشان داده شده است که تغییرات فتوهورمونی به دلیل استفاده از باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد سبب افزایش سطح ریشه (شاهرونا و همکاران،2008؛ جرمن و همکارن، 2000)، وزن خشک ریشه (شاهرونا و همکاران، 2006) و طول ریشه (گلیک، 2004؛ شاهرونا و همکاران، 2008) خواهد شد. عسکری و همکاران (2009) بیان داشتند یکی از مهمترین مکانیزم‌های رشد گیاه بوسیله باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد تغییر در ریخت‌شناسی و فیزیولوژی سیستم ریشه گیاه است، این باکتری‌ها موجب افزایش تعداد ریشه‌های جانبی و ریشه‌های موئین می‌شوند که این امر موجب افزایش سطح ریشه و افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی می‌شود در نتیجه، موجب بهبود وضع آبی گیاه می‌شود.

با توجه به اینکه معمولاً گندم در نقاطی کشت می‌شود که رطوبت خاک محدود کننده است، در این راستا سیستم‌های کارآمد ریشه‌های برای جذب حداکثر آب محدود موجود در خاک می‌تواند در ثبات عملکرد دانه مؤثر باشد، چون‌که ثبات عملکرد دانه به توانایی ریشه‌ها برای جذب آب و عناصر غذایی موجود در خاک بستگی دارد.

با توجه به این‌که بیشتر مطالعاتی که روی گندم صورت گرفته است مربوط به اندام‌های هوایی گیاه بوده و در مورد ریشه اطلاعاتی در بین ارقام گندم تحت کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا وجود نداشت، از این رو این تحقیق با هدف ارزیابی دو رقم گندم رایج در منطقه ایلام روی برخی از مهم‌ترین خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه تحت کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر خصوصیات رشد ریشه، این تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام در بهار سال 1394 اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل رقم گندم در دو سطح (کراس‌سبلان و ساجی) و عامل منابع کودی شیمیایی و زیستی در هشت سطح شامل: 1- عدم مصرف کود شیمیایی فسفر (C)، 2- مصرف 100 درصد کود شیمیایی فسفر (100% P)، 3- *Pseudomonas putida (strain 168)* (B)، 4- *Funeliformis mosseae* (F)، 5- *P.putida* + *F.mosseae* (B + F)، 6- 50+ *P.putida* + *F.mosseae* درصد کود شیمیایی فسفر (B + F + 50 % P)، 7- *P.putida* +50 درصد کود شیمیایی فسفر (B + 50 % P) و 8- *F.mosseae* +50 درصد کود شیمیایی فسفر (F + 50 % P) بودند. در این آزمایش کاشت بذرها در لوله‌های PVC به قطر 10 سانتی‌متر و طول 60 سانتی‌متر که از مخلوط ماسه بادی و خاک زراعی (50 درصد ماسه بادی و 50 درصد خاک زراعی) پر شده بود صورت گرفت. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک زراعی مورد استفاده در جدول 1 ارائه شده است.

جدول 1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

اسیدیته خاک	هدایت الکتریکی	کربن آلی	نیتروژن کل	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	منیزیم	منگنز	مس	روی	آهن	بافت خاک
	(دسی‌زیمنس‌بر متر)	(درصد)		(میلی‌گرم بر کیلوگرم)							
7/31	0/45	1/4	0/13	270	6/2	2/4	7/78	1/1	1	5/71	لومی‌رسی

برای نگهداری لوله‌ها نگهدارنده فلزی طراحی و نصب گردید. چهار بذر گندم در هر لوله در اردیبهشت ماه کشت گردید و پس از سبزشدن یک بوته در هر لوله نگهداری شد. *P.putida* (strain 168) (به صورت محلول) و *F.mosseae* (به صورت پودر) مورد استفاده در این پژوهش از بخش تحقیقات بیولوژی خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد. قبل از کشت، جهت تلقیح بذور گندم به میزان هفت گرم مایه تلقیح که هر گرم آن دارای 10^7 عدد *P.putida* زنده و فعال و *F.mosseae* که هر گرم آن دارای 100 اندام فعال قارچ بود. پس از آغشته کردن بذور با *P.putida* و *F.mosseae* و چرخاندن بذور در داخل ظرف به مدت چند دقیقه ادامه یافت تا مایه تلقیح به کمک صمغ عربی (40 درصد) 15 میلی‌لیتر برای هر کیلوگرم بذر به خوبی سطح بذور را (تلقیح به صورت بذر مال) پوشش دهد. بذور تیمار شده به مدت ده دقیقه روی سطح تمیز، در سایه قرار داده شدند تا خشک شوند. پس از تهیه کردن بستر کاشت، بذور تلقیح شده در شیارهای ایجاد شده قرار داده شدند مشخصات *P.putida* در جدول 2 ارایه شده است.

جدول 2- ویژگی‌های سویه باکتری حل کننده فسفات در آزمایش

جنس، گونه و سویه	تولید سیدروفور	تولید هورمون اکسین (mg/L)	قابلیت حل کنندگی فسفر	تولید ACC دآمیناز
P.putida (strain 168)	0/70	9/8	+	+

در این پژوهش بر اساس آزمون خاک و نظر کارشناسان بخش خاک و آب میزان کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل 0/315 گرم برای هر لوله PVC در زمان کاشت مصرف گردید. در این آزمایش سیستم آبیاری قطره‌ای و دور آبیاری بر اساس ظرفیت زراعی مورد استفاده قرار گرفت. درجه حرارت گلخانه تحت کنترل و دارای دامنه 25 درجه سلسیوس و متوسط رطوبت 70 درصد بود و گیاه از نور طبیعی بدون هیچ نور اضافی استفاده می‌کردند. پس از گذشت30 روز از جوانه‌زنی بذور، ابتدا قسمت‌های هوایی را نمونه‌برداری و جهت تجمع ماده خشک به آزمایشگاه منتقل، سپس جداسازی ریشه‌ها از بستر ماسه بادی توسط آب تحت فشار با دقت زیاد صورت گرفت (ناصری و همکاران، 1395 الف). پس از جدا کردن ریشه‌ها از داخل لوله‌های PVC آن‌ها را در داخل اتانول با غلظت 98 درصد قرار داده و پس از انتقال به آزمایشگاه در داخل یخچال نگهداری شدند. در این پژوهش تعداد ریشه‌های بذری، گره‌ای و زیر گره‌ای توسط دست و با دقت بالا شمارش شد، اندازه‌گیری طول ریشه‌ها (بذری، گره‌ای و زیر گره‌ای) نیز توسط خط‌کش صورت گرفت. پس از جدا کردن قسمت‌های هوایی گیاه، ریشه‌ها شستشو شده و به داخل آزمایشگاه انتقال و سپس وزن تر ریشه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم توزین گردید. پس از اندازه‌گیری پارمترهای مربوط به ریشه، وزن خشک ریشه‌های مورد آزمایش در داخل دستگاه آون در دمای70 درجه سلسیوس به مدت 48 ساعت نگهداری و سپس توزین شدند. قبل از نمونه‌برداری از ریشه اقدام به جدا کردن قسمت‌های هوایی گیاه گردید، بعد از خارج نمودن ریشه‌ها از خاک و اندازه‌گیری وزن خشک آن نسبت ریشه به قسمت‌های هوایی بدست آمد.

حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج از طریق رابطه زیر انجام گرفت:

رابطه 1

$$RV = A - B$$

RV[1]= حجم ریشه، A= حجم آب و ریشه، B= حجم آب خالی.

سطح ریشه که از طریق رابطه زیر محاسبه شد (شعبان و همکاران، 1390. اخوان و همکاران، 1391):

رابطه 2

$$RA = 2 \times SQRT\langle RV \times 3.14 \times RL\rangle$$

RA[2]= سطح ریشه، RV= حجم ریشه، RL[3]= طول ریشه،SQRT= ریشه دوم.

طول مخصوص ریشه که محاسبه آن به صورت زیر انجام گرفت (ماهانتا و همکاران، 2014؛ هانگ و همکاران، 1991):

رابطه 3

$$SRL = \frac{RL}{DRW}$$

1. Root volume
2. Root area
3. Root lenght

SRL[1]= طول مخصوص ریشه، RL= طول ریشه، DRW[2]= وزن خشک ریشه.

تراکم طول ریشه از طریق رابطه زیر بدست آمد (ماهانتا و همکاران، 2014):

رابطه 4

$$RLD = \frac{RL}{SV}$$

RLD[3]= تراکم طول ریشه، RL= طول ریشه، SV[4]= حجم خاک.

طریقه محاسبه تراکم حجم ریشه به صورت زیر انجام گرفت (حاج عباسی، 2001):

رابطه 5

$$RMD = \frac{FRW}{SV}$$

RMD[5]= تراکم حجم ریشه، FRW[6]= وزن تر ریشه، SV= حجم خاک.

طریقه محاسبه چگالی سطح ریشه به صورت زیر انجام گرفت (اخوان و همکاران، 1391):

رابطه 6

$$RAD = RL \times RD \times 3.14$$

RAD=[7] چگالی سطح ریشه، RL= طول ریشه، RD[8]= قطر ریشه.

محاسبه تراکم بافت ریشه به صورت زیر انجام گرفت (پالا و پاسا، 2011):

رابطه 7

$$RTD = RDW \times RV$$

RTD[9]= تراکم بافت ریشه ،DRW= وزن خشک ریشه،RV= حجم ریشه. تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از برنامه آماری SAS 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها به روش LSD و شکل‌ها توسط برنامه اکسل ترسیم شدند.

نتایج و بحث

تعداد ریشه‌ها

در این آزمایش در بین ارقام مورد بررسی و تیمار منابع کودی از نظر تعداد ریشه‌های بذری، گره‌ای و زیر گره‌ای و مجموع کل ریشه‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید (جدول3)، بیشترین تعداد ریشه بذری در رقم ساجی و تیمار (B + F + 50 % P) با میانگین شش ریشه بذری و کمترین تعداد ریشه بذری با میانگین سه ریشه در در ارقام ساجی و کراس‌سبلان و تیمار (C) مشاهده گردید، به طوری‌که (F + 50 % P) موجب افزایش 50 درصدی تعداد ریشه بذری نسبت به تیمار شاهد گردید.

در این پژوهش نشان داده شد که در رقم کراس‌سبلان نسبت به تیمار شاهد خود سبب افزایش 43/3 درصدی و رقم ساجی نسبت به تیمار شاهد خود موجب افزایش 50 درصدی تعداد ریشه بذری شد (جدول 6). تعداد ریشه-های گره‌ای نیز تحت تأثیر عوامل اصلی رقم و منابع کودی قرار گرفتند. رقم ساجی دارای بیشترین تعداد ریشه گره‌ای بود (جدول5).

تیمار (B + F + 50 % P) نیز نسبت به تیمار شاهد دارای بیشترین تعداد ریشه گره‌ای بودند (جدول5). در این پژوهش ریشه‌های زیر گره‌ای تحت تأثیر برهمکنش رقم در منابع کودی قرار گرفتند بیشترین تعداد ریشه زیر گره‌ای در رقم ساجی و تیمار (B + F + 50 % P) با میانگین چهار ریشه و کمترین تعداد ریشه زیر گره‌ای با میانگین یک ریشه در در رقم ساجی و کراس‌سبلان و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) مشاهده گردید، به طوری‌که تیمار (F + 50 % P) موجب افزایش 75 درصدی تعداد ریشه زیر گره‌ای نسبت به تیمار شاهد گردید. در این پژوهش نشان داده شد که در رقم کراس-سبلان نسبت به تیمار شاهد خود سبب افزایش 66 درصدی و رقم ساجی نسبت به تیمار شاهد خود موجب افزایش 75 درصدی تعداد ریشه زیرگره‌ای شد (جدول 6). محققان اظهار داشتند که ریشه‌های بذری یک صفت برای اصلاح مقاومت به خشکی است، آن‌ها بیان داشتند که اهمیت تعداد ریشه‌های بذری را به‌عنوان یک معیار مهم می‌توان مورد توجه قرار دادند (گوپتا، 1984). بین مجموع تعداد کل ریشه‌ها (بذری، گره‌ای و زیرگره‌ای) اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید (جدول 3)، در این پژوهش رقم ساجی در (F + 50 % P) با میانگین 14 ریشه دارای بیشترین و رقم کراس‌سبلان و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) با میانگین پنج ریشه دارای کمترین تعداد کل ریشه‌ها بودند، به طوری‌که (F + 50 % P) +50 درصد کود شیمیایی فسفر موجب افزایش 64 درصدی مجموع تعداد ریشه نسبت به تیمار شاهد گردید.

---

1. Special root length
2. Dry root weight
3. Root lenght density
4. Soil volume
5. Root mass density
6. Fresh root weight
7. Root area density
8. Root diameter
9. Root tissue density

جدول 3- تجزیه واریانس صفات مربوط به ریشه در گلخانه

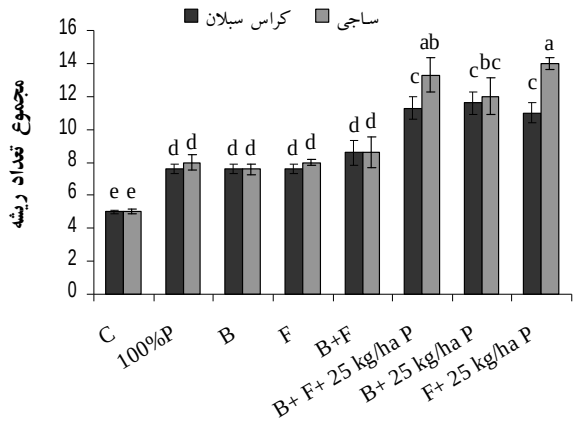
منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		تعداد ریشه-های بذری	تعداد ریشه‌های گره‌ای	تعداد ریشه‌های زیر گره‌ای	مجموع تعداد ریشه ها	طول ریشه-های بذری	طول ریشه‌های گره‌ای	طول ریشه‌های زیر گره‌ای	مجموع طول ریشه‌ها
رقم	1	0/75**	1/6*	0/18^{ns}	6/7**	17710/08**	6/6**	29/1**	16658/2**
منابع کودی	7	6/28**	3/9**	5/3**	44/2**	14535/9**	22/9**	102/9**	16543/2**
رقم^{x}منابع کودی	7	0/17*	0/30^{ns}	0/37*	1/8*	1622/6**	0/50^{ns}	5/1**	2064/8**
خطا	32	0/06	0/39	0/16	0/68	404/9	0/25	0/86	460/1
ضریب تغییرات (درصد)	-	5/5	19/3	15/9	9	6/9	7/4	7/9	6/9

*و **به ترتیب معنی‌دار در سطح 5 و 1 درصد، ^{ns}برابر با عدم تفاوت معنی‌دار.

جدول 4- تجزیه واریانس صفات مربوط به ریشه در گلخانه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	حجم ریشه	نسبت ریشه به اندام هوایی	سطح ریشه	طول مخصوص ریشه	تراکم طول ریشه	حجم مخصوص ریشه	تراکم بافت ریشه	تراکم حجم ریشه	چگالی سطح ریشه
رقم	1	1/45**	0/017**	2/2**	0/099**	2397/2**	48377/7*	0/057**	6/08**	0/60**	0/0000050**	1991/5**
منابع کودی	7	3/92**	0/0082**	2/2**	0/017**	2672/8**	52502/4**	0/068**	2/8**	0/36**	0/000013**	3509/1**
رقم*منابع کودی	7	0/23*	0/00064^{ns}	0/11^{ns}	0/0005^{ns}	178/1*	942/03^{ns}	0/0071**	2/2 ^{ns}	0/03^{ns}	0/0000080*	246/9**
خطا	32	0/076	0/0010	0/067	0/0073	60/2	8810/8	0/0019	3/6	0/028	0/00000026	63/2
ضریب تغییرات (درصد)	-	6/6	14/7	7/8	11/3	6/8	6/6	7/7	14/7	22/3	6/6	6/2

*و **^{ns}به ترتیب معنی‌دار در سطح 5 و 1 درصد و غیر معنی‌دار



شکل 1- اثر برهمکنش رقم در منابع کودی بر مجموع تعداد ریشه

C, 100% P, B, F, B + F, B + F + 50 % P, B + 50 % P and F + 50 % P

به ترتیب تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی)، 100 درصد کود شیمیایی فسفر، *P.putida*، *F.mosseae* + *P.putida*، *F.mosseae* + *P.putida* + *F.mosseae* +50 درصد کود شیمیایی فسفر، *P.putida* +50 درصد کود شیمیایی فسفر و *F.mosseae* +50 درصد کود شیمیایی فسفر

در این پژوهش نشان داده شد که در رقم کراس‌سبلان نسبت به تیمار شاهد خود سبب افزایش 56/8 درصدی و رقم ساجی نسبت به تیمار شاهد خود موجب افزایش 64 درصدی مجموع تعداد ریشه شد (شکل 1). در گزارش‌های خلوتی و همکاران (2005) و برتا و همکاران (2005) نشان داده شده است که قارچ میکوریزا از طریق تغییر ساختار ریشه و رشد بهتر ریشه از جمله افزایش تعداد ریشه موجب جذب بیشتر آب می‌گردد. حضور باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد می‌تواند باعث بهبود خصوصیات خاک و افزایش دسترسی عناصرغذایی از طریق گسترش سیستم ریشه در گندم شود (عیدی زاده و همکاران، 1389؛ امیری فارسانی و همکاران، 1392).

با این حال در مطالعه ریشه نباید ریشه‌های سطحی گندم نادیده گرفته شود. وجود ریشه‌های سطحی و کم‌عمق را در جذب سریع و کارآمد آب از لایه‌های سطحی خاک در بارندگی‌های بعد از خشکی یکی از راهکارهای مؤثر در مقابله با تنش خشکی می‌داند (آرادیا، 1989). گزارش شده است که تعداد و مقدار ریشه‌های گره‌ای در گندم همبستگی مثبتی با صفاتی مانند تعداد پنجه‌های بارور دارد (ناصری، 1395). در گزارش‌های فیضی‌اصل و همکاران (1393) همبستگی بین تعداد ریشه‌های اولیه و عملکرد گندم مشاهده شد، لذا بر اهمیت تعداد ریشه‌های بذری به عنوان یک صفت مهم در به‌گزینی ژنوتیپ‌های گندم تأکید نمود.

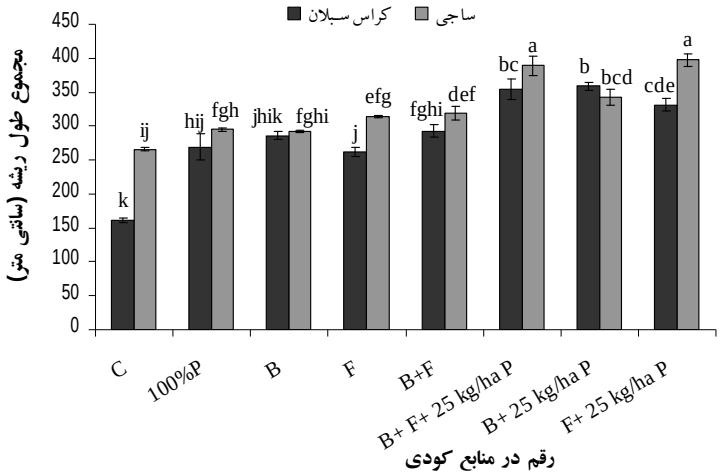
طول ریشه‌ها

طول ریشه می‌تواند به‌عنوان مهمترین پارامتر در روند رشد گیاهی استفاده گردد زیرا پژوهشگران اعتقاد دارند که طول ریشه در واحد حجم خاک بهترین خصوصیت جهت ارزیابی آب خاک و جذب عناصر توسط گیاه می‌باشد (خزاعی و همکاران، 1393). در این آزمایش در بین ارقام مورد بررسی و تیمار منابع کودی از نظر طول ریشه‌های بذری، گره‌ای و زیر گره‌ای و مجموع طول کل ریشه‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید (جدول 3). بیشترین طول ریشه بذری در رقم ساجی و تیمار (F + 50 % P) با میانگین 376/3 سانتی‌متر ریشه بذری و کمترین طول ریشه بذری با میانگین157/3 سانتی‌متر در رقم کراس‌سبلان و تیمار (C) مشاهده گردید، به طوری‌که (F + 50 % P) موجب افزایش 58/2 درصدی طول ریشه بذری نسبت به تیمار شاهد گردید. در این پژوهش نشان داده شد که در رقم کراس‌سبلان نسبت به تیمار شاهد خود سبب افزایش 53 درصدی و رقم ساجی نسبت به تیمار شاهد خود موجب افزایش 31/8 درصدی طول ریشه بذری شد (جدول 5). تعداد ریشه‌های گره‌ای نیز تحت تأثیر عوامل اصلی رقم و منابع کودی قرار گرفتند. رقم ساجی دارای بیشترین طول ریشه گره‌ای بود (جدول 5). (B + F + 50 % P) نیز نسبت به تیمار شاهد دارای بیشترین طول ریشه گره‌ای بودند (جدول 5). در این پژوهش طول ریشه‌های زیر گره‌ای تحت تأثیر برهمکنش رقم در تیمار منابع کودی معنی‌دار گردید (جدول 3).

بیشترین طول ریشه زیر گره‌ای در رقم ساجی و (F + 50 % P) با میانگین 18/1 سانتی‌متر و کمترین طول ریشه زیرگره‌ای با میانگین 2/8 سانتی‌متر در در رقم کراس‌سبلان و تیمار (C) مشاهده گردید، به طوری‌که (F + 50 % P) موجب افزایش 84/5 درصدی طول ریشه زیرگره‌ای

نسبت به تیمار شاهد گردید. در این پژوهش نشان داده شد که در رقم کراس‌سبلان نسبت به تیمار شاهد خود سبب افزایش 81/9 درصدی و رقم ساجی نسبت به تیمار شاهد خود موجب افزایش 79/5 درصدی طول ریشه زیر-گره‌ای شد (جدول 6). مجموع طول ریشه نیز تحت تأثیر برهمکنش رقم در منابع کودی معنی‌دار شد (جدول 3). رقم ساجی و (F + 50 % P) دارای بیشترین و رقم کراس‌سبلان و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) دارای کمترین مجموع طول ریشه بودند، به طوری‌که (F + 50 % P) موجب افزایش 59/2 درصدی مجموع طول ریشه نسبت به تیمار شاهد گردید. در این پژوهش نشان داده شد که در رقم کراس‌سبلان نسبت به تیمار شاهد خود سبب افزایش 54/8 درصدی و رقم ساجی نسبت به تیمار شاهد خود موجب افزایش 33 درصدی مجموع طول ریشه شد (شکل 2). ریشه‌های گسترده از طریق افزایش جذب رطوبت و متعاقب آن افزایش تعرق، در افزایش عملکرد دانه و ثبات آن مؤثر است. در گزارش-های سراج و همکاران (2004) نشان داده شد که مجموع طول ریشه از مهمترین خصوصیت بوده که گیاه را قادر می‌سازد که آب بیشتری را از لایه پایین‌تر خاک جذب و در اختیار اندام‌های هوایی گیاه قرار دهد. طول ریشه به-عنوان مهمترین پارامتر در روند رشد گیاهی استفاده گردد، زیرا پژوهشگران اعتقاد دارند که طول ریشه در واحد حجم خاک بهترین خصوصیت جهت ارزیابی آب خاک و جذب عناصر توسط گیاه می‌باشد (عشقی‌زاده و همکاران، 2012). روسو و همکاران (2005) اعلام کردند تلقیح بذور ذرت و گندم با باکتری‌های افزاینده رشد و قارچ میکوریزا باعث افزایش عمق نفوذ و حجم ریشه می‌شود، به نظر می-رسد حضور قارچ میکوریزا باعث تغیراتی در ریخت-شناسی ریشه شده به نحوی که انتشار میسیلیوم‌های قارچ میکوریزا مرتبط با بافت‌های درونی ریشه باعث افزایش طول ریشه شده است.

در این زمینه نیز دیویس و همکاران (2002) نشان دادند طول ریشه در گیاه آلوده به قارچ میکوریزا بیشتر از طول ریشه گیاه بدون میکوریزا بود. علاوه بر طول ریشه-های (بذری، گره‌ای و زیر گره‌ای) تعداد این ریشه‌ها نیز در مقابله با تنش‌های محیطی و جذب آب و عناصر غذایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، افزایش میانگین طول ریشه‌های (بذری، گره‌ای و زیر گره‌ای) در تیمارهای باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا می‌تواند اثر مثبتی را در جذب آب و عناصر غذایی و ایجاد شرایطی مناسب برای رشد سریع اولیه و همچنین تحکیم گیاه برای مقابله با تنش‌های بعدی داشته باشد، زیرا طول ریشه‌های بذری از شاخص‌های مهم مورفولوژیک و فیزیولوژیک مقاومت به خشکی محسوب می‌شوند و معمولاً تیمارهایی که بتوانند طول ریشه بذری بیشتری را تولید نمایند، سریع‌تر از تیمارهایی که دارای طول ریشه بذری کوتاه‌تری هستند، جوانه‌زده و می‌تواند در مقاومت به خشکی تأثیر مثبتی داشته باشند (فیضی‌اصل و همکاران، 1393).



شکل 2- اثر برهمکنش رقم در منابع کودی بر مجموع طول ریشه

C, 100% P, B, F, B + F, B + F + 50 % P, B + 50 % P and F + 50 % P

به ترتیب تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی)، 100 درصد کود شیمیایی فسفر، *P.putida*، *F.mosseae* + *P.putida*، *F.mosseae* + *P.putida* + *F.mosseae* +50 درصد کود شیمیایی فسفر، *P.putida* +50 درصد کود شیمیایی فسفر و *F.mosseae* +50 درصد کود شیمیایی فسفر

جدول 5- مقایسه میانگین رقم و منابع کودی بر صفات ریشه در گلخانه

صفات	تعداد ریشه‌های گره‌ای	طول ریشه‌های گره‌ای (سانتی‌متر)	وزن خشک ریشه (گرم)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	نسبت ریشه به اندام هوایی	طول مخصوص ریشه (سانتی متر ریشه بر گرم وزن خشک ریشه)
رقم						
کراس‌سبلان	1/95^{b}	6/42^{b}	0/2^{b}	3/08^{b}	0/70^{b}	1379/9^{b}
ساجی	2/33^{a}	7/17^{a}	0/23^{a}	3/5^{a}	0/79^{a}	1443/4^{a}
منابع کودی						
C	1^{c}	2/18^{c}	0/15^{d}	2/03^{c}	0/64^{c}	1271/4^{c}
100% P	1/8^{b}	6/73^{b}	0/2^{c}	3/1^{b}	0/73^{b}	1343/7^{b}
B	1/6^{bc}	6/93^{b}	0/2^{c}	3/18^{b}	0/74^{b}	1364/7^{b}
F	1/8^{b}	6/93^{b}	0/2^{c}	3/2^{b}	0/74^{b}	1378/9^{b}
B + F	1/6^{bc}	7/31^{b}	0/21^{bc}	3/3^{b}	0/74^{b}	1387/4^{b}
B + F + 50 % P	3^{a}	8/^{a}	0/27^{a}	3/9^{a}	0/81^{a}	1494/4^{a}
B + 50 % P	2/8^{a}	8/05^{a}	0/24^{ab}	3/7^{a}	0/80^{a}	1530/3^{a}
F + 50 % P	3/3^{a}	8/06^{a}	0/25^{ab}	3/9^{a}	0/79^{a}	1521/3^{a}

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند، بر اساس آزمون LSD، در سطح احتمال 5% اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول 6- مقایسه میانگین اثر برهکنش رقم در منابع کودی بر روی صفات مربوط به ریشه

رقم	منابع کودی	تعداد ریشه‌های بذری	تعداد ریشه‌های زیر گره‌ای	طول ریشه‌های بذری (سانتی‌متر)	طول ریشه‌های زیر گره‌ای (سانتی‌متر)
کراس‌سبلان	C	3^{d}	1^{d}	157/3^{h}	2/8^{h}
	100% P	4^{c}	2^{c}	253/6^{tg}	9/5^{g}
	B	4^{c}	2^{c}	268/3^{etg}	10/9^{tg}
	F	4^{c}	2^{c}	246^{g}	9/6^{g}
	B + F	4^{c}	3^{b}	275^{det}	11/1^{tg}
	B + F + 50 % P	5/3^{b}	3^{ab}	331/6^{b}	14/7^{bc}
	B + 50 % P	5/3^{b}	3^{ab}	335^{b}	15/5^{b}
	F + 50 % P	5/3^{b}	3^{b}	310^{bc}	13/4^{cde}
ساجی	C	3^{d}	1^{d}	256/3^{tg}	3/7^{h}
	100% P	4^{c}	2^{c}	276/6^{det}	11^{tg}
	B	4^{c}	2^{c}	275^{det}	10/7^{tg}
	F	4^{c}	2^{c}	293/3^{cde}	12/2de
	B + F	4^{c}	3^{b}	300^{cd}	12/7^{ed}
	B + F + 50 % P	6^{a}	4^{a}	373/3^{a}	17/4^{a}
	B + 50 % P	6^{a}	3^{b}	333/3^{b}	14/2^{bcd}
	F + 50 % P	6^{a}	4^{a}	376/3^{a}	18/1^{a}

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند، بر اساس آزمون LSD، در سطح احتمال 5% اختلاف معنی‌داری ندارند.

مانسک و همکاران (1995) بذرهای مختلف گندم را با قارچ میکوریزا تلقیح نمودند، نتایج نشان داد که قارچ میکوریزا با تولید انواع هورمون‌های گیاهی، رشد طولی و تراکم رشد ریشه‌های گندم را افزایش داده و میزان آلودگی ریشه‌های گندم را به قارچ میکوریزا در همه رقم‌ها به طور قابل مشاهده‌ای افزایش داد. نشان داده شده است که قارچ میکوریزا از طریق تغییر در ساختار ریشه و افزایش طول ریشه موجب بهبود جذب آب می‌گردد (مانوهران و همکاران، 2008). مزایای تلقیح گیاه با باکتری‌های افزاینده رشد شامل افزایش شاخص‌های متعددی مانند رشد ریشه، میزان تولید در واحد سطح، وزن اندام هوایی و ریشه، سطح برگ، محتوای کلروفیل، همچنین کنترل زیستی عوامل بیماری زا، مقاومت به خشکی و افزایش فعالیت میکروبی می‌باشد (لوسی و همکاران، 2004).

وزن ریشه

وزن خشک ریشه در این پژوهش نیز تحت تأثیر عوامل اصلی رقم و منابع کودی قرار گرفتند (جدول 4). رقم ساجی دارای بیشترین وزن خشک ریشه بود (جدول 5). (F + 50 % P) نیز نسبت به تیمار شاهد دارای بیشترین وزن خشک ریشه بودند (جدول 5). وزن تر ریشه تحت برهمکنش رقم در منابع کودی معنی‌دار گردید (جدول 4). رقم ساجی و (F + 50 % P) دارای بیشترین و رقم کراس‌سبلان و تیمار شاهد(عدم مصرف منابع کودی) دارای کمترین وزن تر ریشه بودند، به طوری‌که (F + 50 % P) موجب افزایش 73/8 درصدی وزن تر ریشه نسبت به تیمار شاهد گردید. در این پژوهش نشان داده شد که در رقم کراس‌سبلان نسبت به تیمار شاهد خود سبب افزایش 54/1 درصدی و رقم ساجی نسبت به تیمار شاهد خود موجب افزایش 69 درصدی وزن تر ریشه شد (جدول 6). در گزارشات مختلف بیان شده است که تغییرات ژنتیکی معنی‌داری بین ارقام از نظر وزن خشک ریشه وجود دارد. وزن خشک ریشه‌ها (بذری، گره‌ای و زیر گره‌ای) که مهمترین صفت جهت ارزیابی ارقام محسوب می‌گردد (کریشنامارثی و سراج، 2003؛ سراج و همکاران، 2004)، اما مطالعات زیادی نیز وجود دارند که تأکید می‌نمایند صفات مربوط به ریشه به‌شدت تحت تأثیر محیط و عوامل محیطی نیز قرار می‌گیرند (پاردو و همکاران، 2000). به طور کلی افزایش وزن خشک ریشه گیاه در اثر تلقیح با باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا مشاهده شد، اما این افزایش در حضور کودهای شیمیایی به دلیل تأمین بیشتر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه تشدید گردید. بانرجی و همکاران (2006) و وسی و باس (2002) افزایش وزن ریشه در غلات را به دلیل تلقیح بذر با باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گزارش نمودند. آن‌ها اظهار داشتند که تأثیر مواد تنظیم کننده رشد تولید شده به وسیله باکتری‌های افزاینده رشد بر رشد ریشه از طریق پارامترهایی بروز می‌کند که مهمترین آن‌ها افزایش وزن و انشعابات ریشه و افزایش تارهای مویین ریشه می‌باشند که از میان آن‌ها افزایش وزن ریشه بر اثر کاربرد عمومی‌تر می‌باشد. خلوتی و همکاران (2005) گزارش کردند که میزان وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی گیاه گندم تلقیح با قارچ میکوریزا بیشتر بود. نشان داده شده است که تغییرات فتوهورمونی به دلیل استفاده از باکتری-های ریزوسفری محرک رشد سبب افزایش سطح ریشه (شاهرونا و همکاران،2008؛ جرمن و همکارن، 2000)، وزن خشک ریشه (شاهرونا و همکاران، 2006) و طول ریشه (گلیک، 2004؛ شاهرونا و همکاران، 2008) خواهد شد. نتایج بررسی‌های شاهرونا و همکاران (2008) نشان داد که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش وزن ریشه گندم گردید.

حجم ریشه و نسبت ریشه به اندام‌های هوایی

حجم ریشه از مهمترین صفت و معیار جهت جذب آب و مواد غذایی می‌باشد بنابراین حجم ریشه یک واحد اندازه‌گیری خوبی جهت روابط عملی بین قسمت-های هوایی و ریشه می‌باشد (گنجعلی و کافی، 2007). بین اثر اصلی رقم و منابع کودی از لحاظ حجم ریشه اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید (جدول 4)، به طوری-که که بیشترین حجم ریشه در رقم ساجی با میانگین 3/5 سانتی‌متر مکعب به‌دست آمد (جدول 5). تیمار (B + F + P 50 %) نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) با میانگین 3/9 سانتی‌متر مکعب دارای بیشترین حجم ریشه ریشه بودند (جدول 5). حجم ریشه از مهمترین صفت و معیار جهت جذب آب و مواد غذایی می‌باشد، بنابراین حجم ریشه یک واحد اندازه‌گیری خوبی جهت روابط عملی بین قسمت‌های هوایی و ریشه می‌باشد (گنجعلی و کافی، 2005).

در گزارشات سایر محققین نیز بیان شد که نسبت حجم ریشه به اندام‌های هوایی می‌تواند یکی از مهمترین شاخص‌های پیش‌بینی شده برای میزان تنفس و جذب آب باشد (کارد و همکاران، 2007). در این پژوهش نشان داده شد رقم ساجی در مقایسه با رقم کراس‌سبلان از طول ریشه و حجم ریشه بیشتری در طول دوره آزمایش برخوردار بود (جدول3). به نظر می‌آید رقم ساجی از سرعت اولیه ریشه بیشتری برخوردار است، به عبارت دیگر گیاه برای اینکه توانایی جذب ریشه‌ها را افزایش دهد

ماده خشک بیشتری را به سیستم ریشه‌ای اختصاص می‌دهد (ناصری و همکاران، 1395 الف). در نتیجه تغییراتی در خصوصیات مورفولوژیک ریشه‌ها مانند افزایش طول ایجاد می‌شود. بسیاری از گونه‌های گیاهی با افزایش سهم مواد فتوسنتزی اختصاص یافته به رشد ریشه و بنابراین افزایش نسبت ریشه به اندام‌های هوایی و بهره-گیری بیشتر از آب قابل دسترس پاسخ می‌دهند (میشل و همکاران، 2009). اما از لحاظ نسبت ریشه به اندام‌های هوایی نیز اختلاف معنی‌داری از نظر رقم و تیمار منابع کودی وجود داشت (جدول 4)، به گونه‌ای که رقم ساجی با میانگین0/79 دارای بیشترین نسبت ریشه به اندام‌های هوایی بود (جدول 5). تیمار (B + F + 50 % P) نیز نسبت به تیمار شاهد با میانگین0/81 دارای بیشترین نسبت ریشه به اندام‌های هوایی بودند. تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) نیز با میانگین 0/64 دارای کمترین نسبت ریشه به اندام‌های هوایی بودند (جدول 5).

در مراحل اولیه رشد، تخصیص مواد فتوسنتزی عمدتاً به‌سمت ریشه‌ها است و بنابراین انتظار می‌رود که اختلاف‌های ارقام از نظر زیست‌توده اندام هوایی در مراحل بعدی رشد، بیشتر آشکار شود. اولویت اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به ریشه‌ها نسبت به برگ‌ها در مراحل اولیه رشد و به‌ویژه مرحله گیاهچه‌ای سبب شده است که پتانسیل ژنتیکی ژنوتیپ‌ها از نظر مقدار سطح برگ بیان نشود و احتمالاً در مراحل بعدی رشد، اختلاف‌های ژنتیکی بیشتر بروز خواهد کرد (ناصری و همکاران، 1395 الف). سایر گزارش‌ها نیز نشان داد با توجه به اینکه جذب کارآمد آب توسط ریشه است، لذا گیاهانی که در ابتدای فصل رشد نسبت ریشه به اندام هوایی بالاتری دارند در دوره‌های بعدی رشد از قابلیت بیشتری برای حفظ فشار تورگر و متعاقب آن بهبود سرعت فتوسنتز برخوردارند (گنجعلی و همکاران، 1389). ضمن اینکه ثبات عملکرد به توانایی ریشه‌ها برای جذب آب و عناصر غذایی موجود در خاک بستگی دارد و این خاصیت تنها از طریق مکانیسم‌های سازگاری مرتبط با ریشه و اندام‌های هوایی حاصل خواهد شد (سینگ و همکاران، 2005). قارچ‌های میکوریزا به دلیل افزایش مؤثر سطح جذب ریشه از طریق ایجاد هیف، سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی به وسیله گیاهان می‌شوند (اسماعیل‌پور و امانی، 1393).

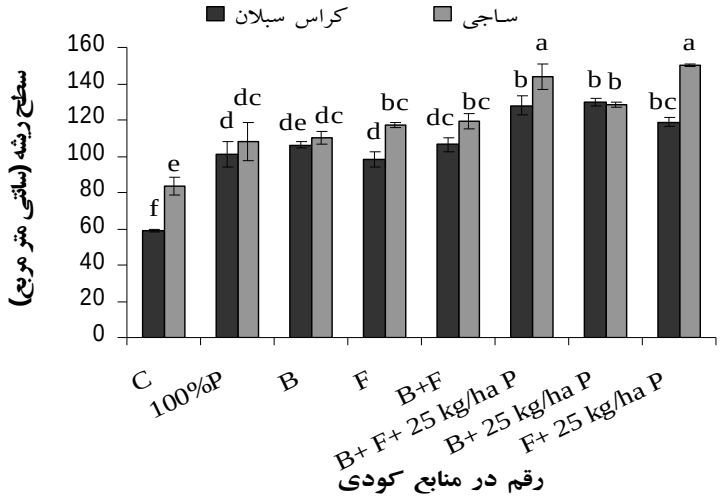
سطح ریشه

در این آزمایش اثر برهمکنش رقم در منابع کودی از نظر سطح ریشه تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید (جدول 4)، بیشترین سطح ریشه در رقم ساجی در (F + 50 % P) با میانگین 70/9 و کمترین سطح ریشه با میانگین 21/7 در در رقم کراس‌سبلان و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) مشاهده گردید به طوری‌که (F + 50 % P) موجب افزایش 60/6 درصدی سطح ریشه نسبت به تیمار شاهد گردید. در این پژوهش نشان داده شد که در رقم کراس-سبلان نسبت به تیمار شاهد خود سبب افزایش 54/6 درصدی و رقم ساجی نسبت به تیمار شاهد خود موجب افزایش 44/5 درصدی سطح ریشه شد (شکل 3). همزیستی میکوریزایی اغلب منجربه ایجاد تغییراتی در سرعت حرکت آب به داخل، سراسر و یا خارج گیاه میزبان می‌گردد و بر آبگیری بافت و فعالیت های فیزیولوژیکی برگ تأثیر گذاشته (آیگو و همکاران، 2001) و می‌تواند سطح جذب ریشه را حدود 47 برابر افزایش دهد (اسمیت و رید، 1997). افزایش سطح ریشه‌ها از طریق افزایش نقاط ورودی آب و عناصر غذایی و همچنین افزایش سطح جذب می‌تواند کارآیی جذب آب و عناصر غذایی را افزایش دهد (ابریشم‌چی و همکاران، 1391).

ادامه جدول6- مقایسه میانگین اثر برهکنش رقم *منابع کودی بر روی صفات مربوط به ریشه

رقم	منابع کودی	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	تراکم حجم ریشه (گرم وزن تر ریشه بر سانتی متر مکعب حجم خاک)	چگالی سطح ریشه (سانتی‌متر مربع بر گرم)
کراس‌سبلان	C	0/16^{g}	2/2^{h}	0/0041^{g}	65/2^{h}
	100% P	0/25^{f}	3/8^{fg}	0/0072^{e}	115/2^{f}
	B	0/27^{ef}	4/04^{fg}	0/0074^{d}	121/3^{ef}
	F	0/25^{f}	3/8^{g}	0/0071)^{e}	112/2^{f}
	B + F	0/28^{ef}	4/07^{fg}	0/0075^{d}	122/04^{ef}
	B + F + 50 % P	0/33^{bc}	4/6^{dc}	0/0086^{b}	144/6^{dc}
	B + 50 % P	0/33^{bc}	4/8^{bc}	0/0089^{b}	148/8^{bc}
	F + 50 % P	0/3^{cde}	4/3^{defg}	0/0080^{c}	134/2de
ساجی	C	0/19^{g}	2/6^{h}	0/0048^{f}	89/6^{g}
	100% P	0/29^{def}	4/1^{efg}	0/0076d	122/8^{ef}
	B	0/28^{def}	4^{fg}	0/0074^{d}	122/1^{ef}
	F	0/3^{cde}	4/32^{defg}	0/0080^{c}	131/1de
	B + F	0/31^{cde}	4/39^{cdef}	0/0081^{c}	133de
	B + F + 50 % P	0/36^{ab}	5/2^{ab}	0/0096^{a}	160/1^{ab}
	B + 50 % P	0/32^{bcd}	4/6^{cde}	0/0085^{b}	141/4^{dc}
	F + 50 % P	0/38^{a}	5/4^{a}	0/010^{a}	166/7^{a}

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می باشند، بر اساس آزمون LSD، در سطح احتمال 5% اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل 3- اثر برهمکنش رقم در منابع کودی بر سطح ریشه

C, 100% P, B, F, B + F, B + F + 50 % P, B + 50 % P and F + 50 % P

به ترتیب تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی)، 100 درصد کود شیمیایی فسفر، *P.putida*، *F.mosseae* + *P.putida*، *F.mosseae* + *P.putida* + *F.mosseae* +50 درصد کود شیمیایی فسفر، *P.putida* +50 درصد کود شیمیایی فسفر و *F.mosseae* +50 درصد کود شیمیایی فسفر

گیاه برای تأمین رطوبت مورد نیاز خود و جذب آب از مناطق دورتر از ریشه، طول ریشه خود را افزایش می‌دهد، در این شرایط قارچ های میکوریزا، به گیاه کمک کرده و با گسترش طول ریشه و افزایش سطح جذب ریشه، موجبات جذب آب بیشتر برای گیاه را فراهم می‌آورند (عامریان و همکاران، 1393). یکی از مهمترین مکانیزم-های رشد گیاه بوسیله باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد تغییر در ریخت‌شناسی سیستم ریشه گیاه است. این باکتری‌ها موجب افزایش تعداد ریشه‌های جانبی و ریشه-های موئین می‌شوند که این امر موجب افزایش سطح ریشه و افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی می‌شود در نتیجه، موجب بهبود وضع آبی گیاه می‌شود (عسکری و همکاران، 2009). تغییرات فتوهورمونی به دلیل استفاده از باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد سبب افزایش سطح ریشه (شاهرونا و همکاران،2008؛ جرمن و همکارن، 2000)، وزن خشک ریشه (شاهرونا و همکاران، 2006) و طول ریشه (گلیک، 2004؛ شاهرونا و همکاران، 2008) خواهد بود. قارچ میکوریزا با تشکیل شبکه‌هایی در اطراف ریشه‌های گیاهان، سطح تماس آن‌ها با خاک و رطوبت را بین 1000-1 برابر افزایش می‌دهند و به این ترتیب گیاه توانایی بیشتری در استفاده از منابع موجود در محیط اطراف خود را پیدا می‌کند (شارما، 2002).

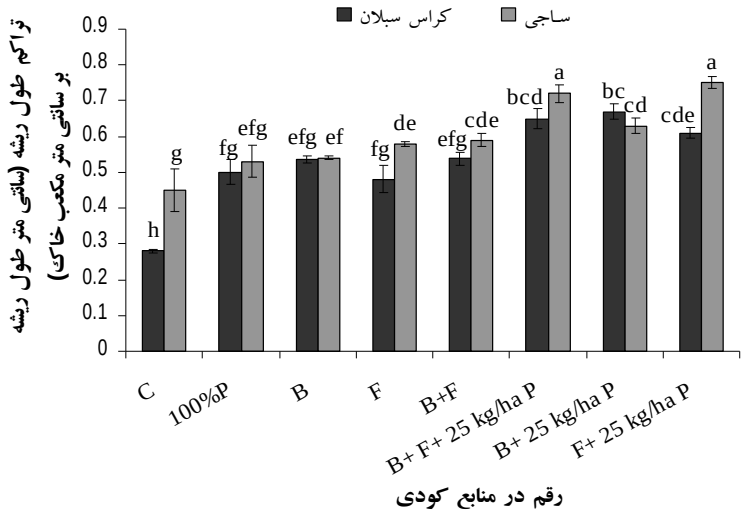
طول مخصوص ریشه

بر اساس جدول تجزیه واریانس صفت طول مخصوص ریشه تحت تیمار اصلی رقم و کود زیستی معنی‌دار گردید (جدول 4). در این پژوهش رقم ساجی دارای بیشترین طول مخصوص ریشه بود. تیمار (B + F + 50 % P) و تیمار (C) به ترتیب بیشترین و کمترین طول مخصوص ریشه را دار بودند (جدول 5). گیاه هنگام مواجه با تنش خشکی برای اینکه توانایی جذب ریشه‌ها را افزایش دهد ماده خشک بیشتری را به سیستم ریشه‌ای اختصاص می‌دهد، در نتیجه تغییراتی در خصوصیات موفولوژیکی ریشه‌ها مانند افزایش طول ریشه‌ها در واحد وزن ایجاد می‌شود (طول مخصوص ریشه) (شعبان و همکاران، 1390). تلقیح گیاه دارویی بادرشبو با میکروارگانیسم‌ها باعث افزایش جذب پتاسیم و افزایش غلظت این عنصر در گیاه شد که شاید این مسأله به اثرات مفیدی که این میکروارگانیسم‌ها (*Pseudomonas* و میکوریزا) بر افزایش تراکم،طول ریشه‌های موئین و سطح جذبی ریشه گیاه دارند، مرتبط باشد (رحیم‌زاده و همکاران، 1392). در این زمینه، ویژگی‌های متفاوتی از ریشه مورد مطالعه قرار گرفته است، برخی معتقدند که در مطالعه ریشه اندازه‌گیری تراکم و طول ریشه های بذری وگره‌ای در گندم بهتر از اندازه‌گیری توزیع وزن ریشه در خاک است، زیرا که طول ریشه‌ها تعیین کننده وضعیت جذب آب و عناصر غذایی از لایه‌های زیرین نیمرخ خاک می‌باشد که این ویژگی در شرایط دیم حائز اهمیت است (مسترز و باتن، 2000). علاوه بر طول ریشه، طول ویژه ریشه (طول مخصوص ریشه) (نسبت طول ریشه به جرم آن) نیز از صفات مهم در نشان دادن کارایی ریشه در جذب

آب و مقاومت به خشکی بشمار می‌آید (باهاس و مسیر، 1999).

تراکم طول ریشه

در این آزمایش اثر برهمکنش رقم در منابع کودی از نظر تراکم طول ریشه تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید (جدول4)، بیشترین تراکم طول ریشه در رقم ساجی و F) (P + 50 % و کمترین تراکم طول ریشه در رقم کراس-سبلان و تیمار (C) مشاهده گردید، به طوری‌که (F + 50 P) % موجب افزایش 62/6 درصدی تراکم طول ریشه نسبت به تیمار شاهد گردید. در این پژوهش نشان داده شد که در رقم کراس‌سبلان نسبت به تیمار شاهد خود سبب افزایش 58/2 درصدی و رقم ساجی نسبت به تیمار شاهد خود موجب افزایش 40 درصدی تراکم طول ریشه شد (شکل 4). به نظر می‌رسد که افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر به دلیل انتشار از طریق میسلیوم‌های میکوریزایی مرتبط با بافت های درونی ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی مکمل سیستم ریشه‌ای گیاه باشد که بهره‌برداری از حجم بیشتر خاک را ممکن می‌سازد که ریشه‌های تغذیه کننده به آن دسترسی ندارند (پارسا مطلق و همکاران، 1390).



شکل 4- اثر برهمکنش رقم در منابع کودی بر تراکم طول ریشه

C, 100% P, B, F, B + F, B + F + 50 % P, B + 50 % P and F + 50 % P

به ترتیب تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی)، 100 درصد کود شیمیایی فسفر، *P.putida*، *F.mosseae* + *P.putida*، *F.mosseae* + *P.putida* + *F.mosseae* +50 درصد کود شیمیایی فسفر، *P.putida* +50 درصد کود شیمیایی فسفر و *F.mosseae* +50 درصد کود شیمیایی فسفر

یکی از مهمترین دلایل این مسئله امکان جذب بیشتر آب در در حضور قارچ است، به‌طوری‌که میسیلیوم-ای قارچ با پراکنش بیشتر در اطراف ریشه ها سطح جذب بالاتری را ایجاد نموده و لذا گیاه را قادر می‌سازند تا آب بیشتری را جذب نماید (قبولی و همکاران، 1390). تلقیح گیاه دارویی بادرشبو با میکروارگانیسم‌ها باعث افزایش جذب پتاسیم و افزایش غلظت این عنصر در گیاه شد که شاید این مسأله به اثرات مفیدی که این میکروارگانیسم‌ها (*Pseudomonas* و میکوریزا) در افزایش تراکم، طول ریشه‌های موئین و سطح جذبی ریشه گیاه دارند، مرتبط باشد (رحیم‌زاده و همکاران، 1392). رشد و گسترش ریشه گیاهان در شرایط تنش خشکی در خاک از اهمیت ویژه‌ای در تولید محصولات کشاورزی برخوردار است (وو و هیو، 2011). زیرا ارتباط گیاه با آب و عناصر غذایی مورد نیاز و جذب آن به طور عمده از طریق ریشه صورت می‌گیرد (پدرسون و همکاران، 2009). ویژگی‌های مهم ریشه گندم مانند سرعت رشد، عمق ریشه دوانی و تراکم آن (طول ریشه در واحد حجم خاک) ویژگی‌های شناخته شده‌ای هستند که تأمین مقدار کافی رطوبت و عناصر غذایی را از لایه‌های پائینی خاک تحت تأثیر قرار می‌دهند (کینگ وهمکاران، 2003). به نظر می‌رسد که افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر به دلیل انتشار از طریق میسلیوم‌های میکوریزایی مرتبط با بافت‌های درونی ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی مکمل سیستم ریشه‌ای گیاه باشد که بهره‌برداری از حجم بیشتر خاک را ممکن می‌سازد که ریشه‌های تغذیه کننده به آن دسترسی ندارند (بهاره پارسا مطلق و همکاران،1390).

تراکم حجم ریشه

در این آزمایش بین ارقام مورد بررسی و تیمارهای کود زیستی از نظر تراکم حجم ریشه تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید (جدول 4)، بیشترین تراکم حجم ریشه در رقم ساجی و تیمار(F + 50 % P) و کمترین تراکم حجم ریشه در رقم کراس‌سبلان و تیمار (C) مشاهده گردید، به طوری‌که (F + 50 % P) موجب افزایش 59 درصدی تراکم حجم ریشه نسبت به تیمار شاهد گردید. در این پژوهش نشان داده شد که در رقم کراس‌سبلان نسبت به تیمار شاهد خود سبب افزایش 53/9 درصدی و رقم ساجی نسبت به تیمار شاهد خود موجب افزایش 52 درصدی تراکم حجم ریشه شد (جدول 6). نتایج نشان داد که قارچ میکوریزا با تولید انواع هورمون‌های گیاهی، رشد طولی و تراکم رشد ریشه‌های گندم را افزایش داده و میزان آلودگی ریشه‌های گندم را به میکوریز در ارقام گندم به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد (مانسک و همکاران، 1995).

چگالی سطح ریشه

بر اساس جدول تجزیه واریانس صفت چگالی سطح ریشه تحت تأثیر برهمکنش رقم در منابع کودی معنی‌دار گردید (جدول 4). در این پژوهش رقم ساجی و (F + 50 % P) بیشترین و رقم کراس‌سبلان و تیمار (C) کمترین چگالی سطح ریشه را دار بودند، به طوری‌که (F + 50 % P) موجب افزایش 60/8 درصدی چگالی سطح ریشه نسبت به تیمار شاهد گردید. در این پژوهش نشان داده شد که در رقم کراس‌سبلان نسبت به تیمار شاهد خود سبب افزایش 56/1 درصدی و رقم ساجی نسبت به تیمار شاهد خود موجب افزایش 46/2 درصدی چگالی سطح ریشه شد (جدول 6). نتایج تحقیقات بر گیاه میکوریزی و غیرمیکوریزی در شرایط تنش رطوبتی نشان داده است که هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌های گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی است که این امر در اثر افزایش سطح ریشه و یا طول ریشه‌های میکوریزی می‌باشد (ساجدی و رجالی، 1390). گزارش شده است در اثر تلقیح قارچ میکوریزا، ریزوسفر خاک بهبود یافته و در اثر توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود جذب آب و عناصر غذایی، سیستم دفاعی گیاه میزبان تقویت شده و خطرات اکسیداسیون کاهش می‌یابد (سونگ، 2005).

در این تحقیق، به نظر می‌رسد که *P.putida* و *F.mosseae* با ریشه گندم، از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی خواهد توانست موجب افزایش فتوسنتز شده و این موضوع سبب افزایش عملکرد دانه خواهد شد. این نتیجه نشان دهنده آن است که در شرایط تنش خشکی و گرما، گیاه برای تأمین رطوبت مورد نیاز خود و جذب آب از مناطق دورتر از ریشه، طول ریشه خود را افزایش می‌دهد. قارچ‌ای میکوریزا به گیاه گندم کمک کرده و با گسترش طول ریشه و افزایش سطح جذب ریشه، موجبات جذب آب و عناصر غذایی بیشتر برای گیاه را فراهم می‌آورند. در بررسی چگالی سطح ریشه گندم، نتایج نشان داد که تلقیح بذور با باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد و قارچ میکوریزا توانست چگالی سطح ریشه را به ترتیب 30 و 20 درصد افزایش دهد (جیریایی و همکاران، 1393).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تیمارهای منابع کودی دارای اثر مثبت و معنی‌داری بر سیستم ریشه‌دهی گندم داشت. کاربرد *P.putida* و *F.mosseae* سبب تغییر در ساختار و مورفولوژیک ریشه در هر دو رقم گندم مورد بررسی گردید. در این مطالعه رقم ساجی در تیمار (F + 50 % P) و رقم کراس‌سبلان در تیمار (C) بترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد و طول ریشه‌ها، طول مخصوص ریشه، تراکم طول ریشه، حجم مخصوص ریشه، تراکم حجم ریشه و چگالی سطح ریشه بودند. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده به دلیل نقش مهم سیستم ریشه در انتقال آب و عناصر غذایی به سمت اندام‌های هوایی استفاده از باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد و قارچ میکوریزا به دلیل نقش مثبتی که بر ساختار ریشه خواهند گذاشت می‌توانند قابل توصیه باشند.

فهرست منابع:

1. ابریشم‌چی، پ.، گنجعلی، ع. و ساکنی، ه.1391. بررسی صفات مورفولوژیک، میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان در ژنوتیپ‌های نخود در شرایط تنش خشکی، نشریهٔ پژوهش‌های حبوبات ایران. 3 (2): 17-30.
2. اخوان، س.، شعبانپو، م.ر و اصفهانی، م. 1391. اثر تراکم و بافت خاک بر رشد ریشه و اندام‌های هوایی گندم، نشریه آب و خاک، 26 (3): 727-735.

3. اسماعیل‌پور، ب.، وامانی، ا. 1393. بررسی تأثیر تلقیح با قارچ میکوریز بر رشد و جذب عناصر غذایی کاهو رقم" سیاهو" (*Lactuca sativa* L.). نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. 4 (2)، 49-68 .

4. افشارنیا، م.، علی‌اصغرزاده، ن.، حاجی بلند، ر.، ا وستان، ش و توسلی، ع. 1392. تأثیر کمبود روی بر رشد، درصد کلنیزاسیون میکوریزا ریشه و جذب روی، فسفر و آهن در گیاه ذرت، مجله پژوهش‌های خاک. 27 (2): 149-158.

5. امیری فارسانی، ف.، چرم، م و عنایتی ضمیر، ن. 1392. تأثیر کاربرد کودهای بیولوژیک و شیمیایی بر عملکرد گندم در دو نوع خاک در آزمایشی گلخانه‌ای. نشریه آب و خاک. 27 (2): 441-451.

6. پارسا مطلق، ب.، محمودی، س. سیاری زهان، م.ح. و نقیزاده، م. 1390. تأثیر قارچ میکوریزا و کود فسفر بر غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و عناصر غذایی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط تنش شوری، نشریه بوم شناسی کشاورزی. 3 (2): 233-244.

7. تدین، م.ر. و امام، ی. 1386. اثر آبیاری تکمیلی و مقدار فراهمی آب بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک دو رقم گند دیم، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، 11 (42)، 145-156.

8. جیریایی، م.، فاتح، ا وآینه‌بند، ا. 1393. پیامدهای کاربرد مجزا و توأم ریزموجودات آزوسپریلوم و میکوریزا بر عملکرد و اجزاء عملکرد ارقام گندم (*Triticum spp*) نواحی گرمسیری. نشریه بوم شناسی‌کشاورزی. 6 (3): 520-528.

9. حیدریان، م.ب.، رمضانی مژده ز. و ثامنی، ع. 1392. اثر نیتروژن و باکتری های زیستی بر عملکرد، غلظت وجذب کل عناصر غذایی شاخساره گندم، پژوهش‌های خاک. 27 (2): 141-148.

10. خزاعی، ح.ر.، ریاحی نیا، ش و عشقی زاده، ح.ر. 1393. تأثیر تنش رطوبتی بر توزیع و گسترش ریشه و بخش هوایی چهار ژنوتیپ تریتیکاله (*Triticosecale wittimack*). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. 417-426.

11. رحیم‌زاده، س.، سهرابی، ی. حیدری، غ. عیوضی، ع. و طاهر حسینی، س.م. 1392. تأثیر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی بر جذب عناصر پر مصرف، کم مصرف و درصد اسانس در گیاه داروئی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.)، نشریه پژوهشهای زراعی ایران، 11 (1): 179-190.

12. ساجدی، ن.ع. و رجالی، ف. 1390. تأثیر تنش خشکی،کاربرد روی و تلقیح میکوریز بر جذب عناصر کم مصرف در ذرت، مجله پژوهش‌های خاک، 25 (2): 83-92.

13. شعبان، م.، منصوری‌فر، قبادی، س.م. و اشرفی پارچین، ر. 1390. اثر تنش خشکی و کود نیتروژن آغازگر بر خصوصیات ریشه و عملکرد چهار ژنوتیپ نخود (*Cicer arietinum* L.)، مجله به زراعی نهال و بذر،2-27 (4): 451-470.

14. عامریان، م.ر.، یوسف ثانی، م. و کوچکی، ع.1393. تأثیر تلقیح با گونه‌های میکوریزا و سطوح آبیاری بر خصوصیات رشد، عملکرد، کارایی مصرف آب و برخی صفات گیاه ذرت (*Zea mays* L.)، نشریه بوم شناسی کشاورزی. 6 (1): 152-161.

15. عیدی زاده، خ.، مهدوی دامغانی، ع.ا، صباحی، ح و صوفی زاده س. 1389. اثرات کاربرد کودهای بیولوژیک در ترکیب با کود شیمیایی بر رشد ذرت (*Zea mays* L.) در شوشتر. نشریه بوم شناسی کشاورزی. 2: 292-301.

16. فیضی‌اصل، و.، فتوت، ا. آستارایی، ع. و و لکزیان، ا. 1393. تأثیر مقادیر و زمان مصرف نیتروژن بر برخی ویژگی‌های ریشه ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم، نشریه زراعت دیم ایران، 3 (1): 41-59.

17. قبولی، م.، شهریاری، ف. سپهری، م. مرعشی، ح. و حسینی‌سالکده، ق. 1390. تأثیر قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* بر برخی خصوصیات جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط تنش خشکی، نشریه بوم شناسی کشاورزی. 3 (3): 328-336.

18. گنجعلی، ع.، کافی، م. و باقری، ع. 1386. رهیافت‌هایی از مطالعات ریشه در گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.). علوم کشاورزی ایران. 13 (1): 179-189.
19. گنجعلی، ع.، کافی، م. و ثابت تیموری، م. 1389. تغییرات شاخص‌های فیزیولوژیکی ریشه و اندام‌های نخود در واکنش به تنش خشکی، تنش‌های محیطی در علوم زراعی،3 (1): 35-45.
20. ناصری، ر.، براری، م. زارع، م.ج. خاوازی، ک. و طهماسبی، ز. 1395. الف. مطالعه سیستم ریشه بذری و نابجای ارقام گندم نان و دوروم، اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. 10 (2)، 477-492.
21. ناصری، ر.، براری، م. زارع، م.ج. خاوازی، ک. و طهماسبی، ز. 1395. ب. اثر باکتری‌های افزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر صفات مهم زراعی دو رقم گندم در شرایط دیم، بوم شناسی کشاورزی. در دست چاپ.
22. ناصری، ر. 1395. تأثیر باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر صفات مرفو-فیزیولوژیک و عملکرد دو رقم گندم تحت شرایط دیم. رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام. 336 صفحه.
23. Adesemoye, A.O. and Egamberdieva, D. 2013. Beneficial Effects of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on Improved Crop Production: Prospects for Developing Economies. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 45-63.
24. Arraudeau, M.A. 1989. Breeding strategies for drought resistance. *In Baker, FWG (ed.), Drought resistance in cereals.* P: 101-116. CAB International.
25. Askary, M., Mostajeran, A., Amooaghaei, R. and Mostajeran, M. 2009. Influence of the coinoculation *Azospiriilum brasilense* and *Rhizobium meliloti* plus 2, 4-d on grain yield and NPK content of *Triticum aestivum* (cv. Baccros and Mahdavi). Pakistan Journal of Biological 5:296-307.
26. Asrar, A.W.A. and Elhindi, K.M. 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. Saudi Journal of Biological Sciences 18: 93–98.
27. Auge, R.M., Duan, X. Ebel, R.C. and Stodola, A.J.W. 2001. Nonhydraulic signalling of soil drying in mycorrhizal maize. Planta 193: 74-82.
28. Banerjee, M., Yesmin, R.L. and Vessey, J.L. 2006. Plant-growth- promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides., pp. 137-181. In: Handbook of microbial biofertilizers. Ed., Rai, M., K., Food Production Press, U.S.A.
29. Bauhus, J. and Messier, C. 1999. Evaluation of fine root length and diameter measurements obtained using RHIZO image analysis. Agronomy Journal 91:142–147.
30. Berta, G., Sampo, S., Gamalero, E., Massa, N. and Lemanceau, P.2005. Suppression of Rhizoctonia root-rot of tomato by Glomus mossae BEG12 and Pseudomonas fluorescens A6RI is associated with their effect on the pathogen growth and on the root morphogenesis. European Journal of Plant Pathology 111: 279–88.
31. Caird, M.A., Richards, J.H. and Donovan, L.A. 2007. Night time stomatal conductance and transpiration in C_3 and C_4 plants. Plant Physiology 143: 4–10.
32. Davies, J.R., Olalde-Portugal, L. Agvilera-Gomez, MJ. Alvarao, R.C. Ferrera-cerrato, T. and Boutton, W. 2002. Alleviation of drought stress of chile ancho pepper (*Capsicum annuum* L CV Sanluis) with Arbuscular mycorrhiza indi gennus to Mexico. Scientia Horticulturoe 92: 342-359
33. Eshghizadeh, H.R., Kafi, M. Nazami, A. and Khoshgoftarmanesh, A.H. 2012. Studies on the role of root morphology attribution in salt tolerance of blue-pani grass (*Panicum antidotale* Retz.) using artificial neural networks (ANN). Research on Crops 13 (2): 534-544.

34. Fagbola, O., Osonubi, O., Mulongox, K. and Odunfa, S.A. 2001. Effects of drought stress and arbuscular mycorrhiza on the growth of Gliricdia sepium (Jacq), Walp, Leucaenal leucocephala (Lam). De wit. In simulated eroded soil conditions. Mycorrhiza 11: 215–223.
35. Ganjeali, A. and Kafi M. 2007. Genotypic differences for allometric relationships between root and shoot characteristics chickpea (*Cicer arietinum* L.). Pakistan Journal of Botany 39 (5): 1523-1531.
36. Garnett, T., Conn, V. and Kaiser, B.N. 2009. Root based approaches to improving nitrogen use efficiency in plants. Plant, Cell and Environment 32:1272–1283.
37. Gaur, A., Adholeya, A. and Mukergi, K.G. 2000. On farm production of VAM inoculums and vegetable crops in marginal soil amended with organic matter. Tropical Agriculture 77: 1. 21-26.
38. Glick, B.R., Penrose, D. and Wenbo, M. 2001. Bacterial promotion of plant growth. Biotechnology Advance 19 (2): 135-138.
39. Gupta, U.S. 1984. Crop improvement for drought resistance. Current Agriculture Journal 8: 1-15.
40. Hajabbasi, M.A. 2001. Tillage Effects on soil compactness and wheat root morphology. Journal of Agricultural Science Technology 3: 67-77.
41. Kashiwagi, J., Krishnamurty, L. Croouch, J.H. and Serraj, R. 2006. Variability of root length density and its contributions to seed yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought stress. Field Crops Research 95: 171-181.
42. Khalvati, M. A., Mozafar, A. and Schmidhalter, V. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. Plant Biology Stuttgart 7 (6): 706-712.
43. King, J., Gay, A. Sylvester-Bradley, R. Bingham, I. Foulkes, J. Gregory, P. and Robinson, D. 2003. Modeling cereal root systems for water and nitrogen capture: Towards an economic optimum. Annals of Botany 91: 383–390.
44. Krishnamurthy, L. and Serraj, R. 2003. Root and shoot growth dynamics of some chickpea genotypes under two moisture levels. International Chickpea and Pigeonpea Newsletters 10: 24-28.
45. Lucy, M., Reed, E. and Glick, B.R.2004. **A**pplications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. Antonie van Leewenhoek 86: 1-25.
46. Mahanta, D., Rai, R.K. Mishra, S.D. Raja, A. Purakayastha, T.J. and Varghese, E. 2014. Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. Field Crops Research 166: 1–9.
47. Manoharan, P., Pandi, M., Shanmugaiah, V., Gomathinayagam, S. and Balasubramanian, N.2008. Effect of vesicular arbuscular mycorrhizal fungus on the physiology and biochemical changes of five different tree seedlings grown under nursery conditions. African journal of biotechnology 7 (19): 3431-3436.
48. Manske, G.G.B., Luttger, A.B. Behl, R.K. and Vlek, P.L.G. 1995. Nutrient efficiency based on VA mycorrhiza (VAM) and total root length of wheat cultivars grown in India. Journal of Applied Botany 69: 108-110.
49. Michele, A., Douglas, T and Frank, A. 2009. The effects of clipping and soil moisture on leaf and root morphology and root respiration in two temperate and two tropical grasses. Plant Ecology 200: 205-215.
50. Musters, P.A.D. and Bouten, W. 2000. A method for identifying optimum strategies of measuring soil water contents for calibrating a root mater uptake model. Journal of Hydrology 227: 273-286.

51. Pardo, A., Amato, M. and Chiaranda, F.Q. 2000. Relationships between soil structure, root distribution and water uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Plant growth and water distribution. European Journal of Agronomy 13: 39-45.
52. Paula, P. and Pausas, J.G. 2011. Root traits explain different foraging strategies between resprouting life histories. Oecologia 165: 321–331
53. Pedersen, A., Zhang, K. Thorup-Kristensen, K. and Jensen, L.S. 2009. Modeling diverse root density dynamics and deep nitrogen uptake–A simple approach. University of Warwick institutional repository, http://dx.doi.org/10.1007/s11104-009-0028-8.pages: 29.
54. Robert, M., Auge, R.M., Heather, D., Carl, F., Sams, E.A. and Ghazala, N.2008. Hydraulic conductance and water potential gradients in squash leaves showing mycorrhiza-induced increases in stomatal conductance. Mycorrhiza 18: 115–121.
55. Robin, A.H.K., Uddin, M.J. Afrin, S. and Paul, P.R. 2014. Genotypic variations in root traits of wheat varieties at phytomer level. Journal of Bangladesh Agricultural Univiversity 12 (1): 45–54.
56. Russo, A., Felici, C. Toffanin, A. G◌tz, M. Collados, C. and Barea, J.M. 2005. Effect of *Azospirillum inoculants* on arbuscular mycorrhiza establishment in wheat and maize plants. Journal of Biology and Fertility of Soils 41: 301–309.
57. Serraj, R., Krishnamurty, L. Kashiwagi, J. Kumar, J.K. Chandra, S. and Crouch, J.H. 2004. Variation in root traits of chickpea (*Cicer aretinum* L.) grown under terminal drought. Field Crops Research 88: 115-127.
58. Shaharoona, B., Arshad, M., Zahir, Z.A. and Khalid, A. 2006. **P**erformance of Pseudomonas spp. containing ACC deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. Soil Biology and Biochemistry 38: (9): 2971-2975.
59. Shaharoona, B., Naveed, M., Arshad, M. and Zahir, Z.A. 2008. Ferttilizer-dependent efficiency of *Pseudomonas* for improving growth, yield and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). Microbial Biotechnology 79: 147-155.
60. Sharma, A.K. 2002. Biofertilizers for sustainable agriculture. 1sd edition. Jodhpur: agrobios, Indian, 456p.
61. Singh, G., Sekhon, H.S. and Kolar, J.S. 2005. Pulses. Agrotech Publishing Academy. Udaipur, India, 329 pp.
62. Smith, S.E. and Read, D.J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis 2nd Edition. Academic Press. USA 803 pp.
63. Song, H. 2005. Effects of vam on host plant in condition of drought stress and its mechanisms. Electronic Journal of Biology 1 (3): 44-48.
64. Spence, C. and Bais, H. 2015. Role of plant growth regulators as chemical signals in plant-microbe interactions: a double edged sword. Current Opinion Plant Biology 27:52–58
65. Subramanian, K.S., Bharathi, C. and Jegan, A. 2008. Response of maize to mycorrhizal colonization at varying levels of zinc and phosphorus. Biology and Fertility of Soils 45: 133–144.
66. Tilak, K.V.B.R., Ranganayaki, N., Pal, K.K., De, R., Saxena, A.K., Shekhar Nautiyal, C., Mittal, S., Tripathi, A.K. and Johri, B.N.2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. Current Science 89: 136-150.
67. Vessey, J.K. and Buss, T.J. 2002. Bacillus cereus UW85 inoculation effects on growth, nodulation, and Naccumulation in grain Iegumes. Controlled-environment studies. Canadian Journal of Plant Science 82: 282-290.
68. Wu, Y. and He, D. 2011 Advances in root hairs in Gramineae and Triticum aestivum. African Journal of Agricultural Research. 6 (5): 1047-1050.

Wheat- Root System Influenced by Application of Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhizal Fungi under Different Levels of Phosphorous Chemical Fertilizer

R. Naseri[1], M. Barary, M. J. Zarea, K. Khavazi and Z. Tahmasebi

Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran; E-mail: rahim.naseri@gmail.com

Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran; E-mail:bararym@gmail.com

Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran; E-mail: mj.zarea@ilam.ac.ir

Professor, Water and Soil Research Institute, Karaj, Iran; E-mail: kkhavazi@yahoo.com

Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran; E-mail: z.tahmasebi@ilam.ac.ir

Received: March, 2017 & Accepted: March, 2018

Abstract

Plant root system has an important role in crop production. It is well known that roots assist as an anchor to the plant and water and nutrients absorption which are necessary for plant survival and growth. In order to evaluate the effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi under different levels of phosphorous chemical fertilizer application, an experiment was carried out in factorial arrangement using a completely randomized design with three replications at Agricultural Research Station of Ilam University in 2015. Experimental factors consisted of two dry land wheat cultivars (KerasSablan and (Saji) and chemical and biological fertilizers (1- without application of phosphorous, 2-100% phosphorous chemical fertilizer, *3- pseudomonas putida* (strain 168), 4- *Funeliformis mosseae, 5- P. putida* + *F. mosseae, 6- P. putida* + *F. mosseae* + 50% of phosphorous chemical fertilizer, 7- *P. putida* + 50% of phosphorous chemical fertilizer and 8- *F. mosseae* + 50% of phosphorous chemical fertilizer). Results showed that fertilizer sources had significant and positive effect on root system in wheat cultivars and seminal roots number, nodal roots number, sub-nodal number, seminal roots length, nodal roots length and sub-nodal roots length, root length density, root specific density, root volume density and root area density increased significantly. Maximum root number and root length (13.3 and 397.2 cm), root length density (0.75 cm root/cm^{-3}soil), root area (150.3 cm^{-2}), root volume density (0.010 g root fresh weight) and root area density (166.7 cm^{-2}/g) observed in Saji cultivar ×*F. mosseae* + 50 % of phosphorous fertilizer treatment but the minimum root system characteristics detected in Keras Sablan cultivar× control treatment.

Keywords: F. mosseae, P. putida, Root length, Root length density, Root volume, Seminal root.

[1]. Corresponding author: Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran