نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۲ ، تابستان ۱۳۹۴، ص. ۳۱۵-۳۰۸

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 2, Summer. 2015, p. 308-315

مقایسه خصوصیات مورفولوژیک ریشه ارقام و لاین‌های جو (*Hordeum vulgare*) در مرحله گیاهچه‌ای، با استفاده از کاغذ صافی و اتاقک ژل

زهرا امینی[۱]- حمیدرضا خزاعی[۲*]- محمد کافی[۳]- مسعود قدسی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۳۱

چکیده

نقش رشد ریشه در افزایش عملکرد محصولات زراعی موضوع شناخته‌شده و مهمی است که امروزه بیش از پیش مورد توجه متخصصان اصلاح نباتات قرار گرفته است. به‌منظور مطالعه ریشه ۱۸ ژنوتیپ جو (*Hordeum vulgare*) در مرحله گیاهچه‌ای آزمایشی در سال ۱۳۹۱ در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. ابتدا بذرها در پتری دیش جوانه دار شدند. نیمی از بذرهای جوانه زده به اتاقک ژل انتقال داده شدند. سایر بذرها نیز درون کاغذ صافی به‌صورت رول درون آب مقطر قرار گرفتند. ژنوتیپ‌ها از لحاظ مجموع طول ریشه، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، میانگین قطر ریشه و برخی پارامترهای دیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که لاین C-87-10 با ۲۸۳ میلی‌متر طول ریشه در کاغذ صافی و با ۲۲۶ میلی‌متر طول در اتاقک ژل بیشترین مجموع طول ریشه را به‌خود اختصاص داد، درحالی‌که در کاغذ صافی رقم نیمروز با ۱۳۹/۳ میلی‌متر طول و در اتاقک ژل رقم سهند با ۳۹ میلی‌متر طول کمترین طول ریشه را در بین ژنوتیپ‌ها دارا بودند. از لحاظ وزن خشک ریشه در هر دو محیط رشد ژنوتیپ‌های یوسف، DC-85-5، C-87-10 و نصرت در رده‌های نخست و ارقام والفجر، سهند و نیمروز در رده‌های انتهایی قرار گرفتند. همچنین در آزمایش اول، لاین DC-85-5 و رقم سهند به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار طول برگ را دارا بودند. از نظر مساحت کل برگ‌ها در آزمایش دوم، لاین C-87-19 بیشترین سطح برگ و رقم سهند کمترین سطح برگ را به‌خود اختصاص داد.

واژه‌های کلیدی: اتاقک ژل، ریشه، کاغذ صافی، نرم افزار jMicrovision

مقدمه

رشد ریشه و ساختار آن در سازگاری گیاه به محیط رشد تأثیر فراوان دارد و یکی از عوامل تعیین‌کننده دسترسی به آب و عناصر غذایی خاک می‌باشد. این ساختار توسط بر هم‌کنش ژن‌ها و محیط کنترل می‌شود (۱۴). در گذشته اهمیت صفات ساختاری ریشه در افزایش عملکرد از دید متخصصان اصلاح نباتات دور مانده بود، طوری‌که در جریان انقلاب سبز صفات ریشه جزء معیارهای انتخاب قرار نمی‌گرفت (۲۹). ساختار ریشه سازگاری گیاه به شرایط نامطلوب محیطی مانند تنش خشکی نقش مؤثری ایفا می‌کند (۳۲).

یک عامل مهم در میزان مقاومت به خشکی گیاهان زراعی، توسعه سیستم ریشه‌ای آنهاست (۲). خصوصیات ریشه مانند تراکم، طول ریشه، عمق ریشه‌دهی و توزیع سیستم ریشه به‌عنوان فاکتورهای مؤثر در مقاومت به خشکی در نظر گرفته می‌شوند (۲۳ و ۲۵). صفات ریشه‌ای می‌توانند اثر خشکی را با افزایش میزان جذب آب به‌واسطه افزایش تراکم طول ریشه یا با افزایش استخراج آب به‌وسیله افزایش نفوذ ریشه تعدیل کنند (۲۱). هنگامی‌که گیاه در شرایط تنش خشکی قرار می‌گیرد، ریشه نقش مهمی در بقای آن ایفا می‌کند (۲۴). رشد ریشه می‌تواند بازده محصول را در خاک‌های عمیق خصوصاً در شرایط خشکی افزایش دهد. برخی محققان گزارش کرده‌اند که توانایی یک گیاه برای تغییر توزیع سیستم ریشه خود در خاک‌های عمیق برای استفاده بهینه از آب یک مکانیسم مهم برای اجتناب از خشکی است (۱۰ و ۳۰). برخی گیاهان به‌منظور تسهیل نفوذ در خاک‌های متراکم ریشه‌هایی قطور تولید می‌کنند و برخی دیگر ریشه‌هایی با زوایای مختلف برای دستیابی به مواد غذایی بیشتر ایجاد می‌کنند (۱۷). طول، سطح و ضخامت ریشه و ریشه‌های موئین شاخص‌های مهمی برای جذب آب و مواد غذایی در دوره رشد رویشی است (۳۲). برخی مطالعات نشان داده‌اند تفاوت در مقاومت گیاهان به تنش‌های مختلف محیطی همچون خشکی، شوری و غرقاب ناشی از اختلافات در طول، سرعت رشد و تعداد ریشه آنها می‌باشد (۱ و ۱۶).

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲ و ۳- استادان گروه زراعت و اصلاح نباتات، فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: h.khazaie@um.ac.ir)
۴- استادیار، فیزیولوژی گیاهان زراعی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

سینگ و همکاران (۲۸) بیان داشتند گیاهانی که ریشه اصلی طویل‌تر و تعداد ریشه‌های جانبی بیشتری دارند، نسبت به گیاهان دارای ریشه جانبی کمتر، تحمل بیشتری به تنش شوری دارند. طول نهایی سیستم ریشه گیاه در جذب آب و مواد غذایی اهمیت اساسی دارد و گونه‌ها به میزان زیادی در میزان طول هر واحدزیست توده ریشه تفاوت دارند (۱۱). در محیط‌های خشک آب قابل دسترس یک عامل محدودکننده کلیدی است، بنابراین بیشتر فعالیت‌های تحقیقاتی و پیشرفت‌های حاصله نیز در زمینه استخراج آب از اعماق خاک و قابل دسترس نمودن آب برای گیاه بوده است و این فقط می‌تواند از طریق راهکارهای سازگاری مربوط به سیستم ریشه حاصل شود. همچنین اثبات شده که ویژگی‌های ریشه در تعیین واکنش برخی گیاهان به خشکی بسیار مهمتر از خصوصیات اندام هوایی می‌باشد (۴). علاوه بر جذب آب و مواد غذایی، نقش ریشه را در رقابت با علف‌های هرز نمی‌توان نادیده گرفت. بدون شک گیاهی که در ابتدای رشد قادر به تشکیل یک سیستم ریشه‌ای گسترده باشد، در استفاده از منابع غذایی رقیب قدرتمندتری نسبت به سایر گونه‌های موجود خواهد بود. کازماریک و همکاران (۱۸) گزارش کردند که در کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare*) و یولاف (*Avena sativa*)، اگر این دو گونه با سیستم ریشه‌ای خود نسبت به یکدیگر واکنش نشان دهند، جو قدرت غالبیت بیشتری نسبت به یولاف خواهد داشت.

رشد و نمو ریشه بر حسب خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، اقلیم و ژنوتیپ گیاه تغییر می‌کند (۳). شواهد فراوانی مبتنی بر تنوع ژنتیکی ویژگی‌های ریشه در بسیاری از گونه‌های گیاهان زراعی وجود دارد. تنوع‌پذیری ژنوتیپی در صفات ریشه‌ای در بسیاری از گونه‌های گیاهی ازجمله در جو اثبات شده و تفاوت‌هایی در تعداد ریشه‌های جنینی، طول ریشه‌ها و زوایای پراکنش ریشه‌ها پیدا شده است (۱۷).

از آنجا که با خارج کردن ریشه از خاک ممکن است ساختار ریشه تخریب شود و با توجه به اینکه در محیط‌های رشد مختلف انعطاف‌پذیری فنوتیپی سیستم ریشه مشاهده می‌شود، مطالعه ریشه کاری دشوار بوده و غربالگری گیاهان را براساس این معیار محدود ساخته است. بنگاه و همکاران (۹) یک سیستم اتاقک ژل دو بعدی به‌منظور اندازه‌گیری سریع و پی‌درپی رشد ریشه ساختند که برای مطالعه گیاهچه جو، گندم (*Triticum aestivum*) و چاودار (*Secale cereale*) استفاده شد و صفات ریشه جنینی اندازه‌گیری شد. این سیستم جهت‌گیری ریشه‌ها را در فضای دو بعدی نمایش می‌دهد و اندازه‌گیری مداوم و غیرتخریبی سیستم ریشه را امکان‌پذیر می‌سازد.

بیشتر مناطق ایران دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است و همواره قسمتی از دوره رشد غلات ازجمله جو با کمبود آب مواجه می‌شود. هدف از این مطالعه بررسی مشخصات سیستم ریشه‌ای ۱۸ ژنوتیپ جو در یک محیط رشد کنترل شده و معرفی ژنوتیپ‌های مناسب‌تر برای کشت در مناطقی که در طول فصل رشد یا بخشی از آن گیاه با کم آبی مواجه می‌شود، بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

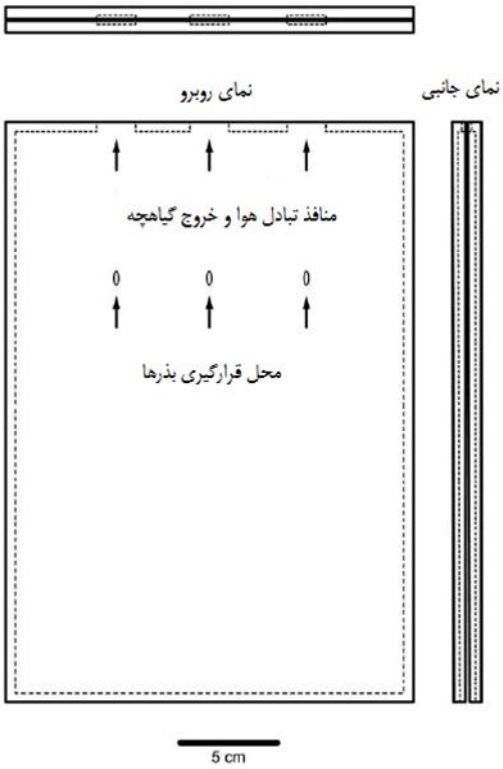
این تحقیق در سال ۱۳۹۱ در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. در این بررسی از ۸ رقم و ۱۰ لاین امید بخش جو تهیه شده از بخش غلات مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، استفاده شد. ارقام مورد استفاده شامل ریحان، زرجو، سهند، یوسف، والفجر، نصرت، ماکویی، نیمروز و D10 و لاین‌های امید بخش شامل (C-86-14)، (DC-86-4)، (DC-86-3)، (DC-86-8)، (C-87-10)، (C-87-19)، (DC-85-5)، (M-85-18)، (M-83-12) و (C-87-3) بودند بذرهای جو به مدت یک ساعت در آب مقطر خیسانده شدند، سپس به مدت یک دقیقه در هیپوکلرید سدیم ۲/۵ درصد غوطه‌ور شده تا استریل شوند. پس از شستشوی بذرها با آب مقطر، بذرها روی کاغذ صافی مرطوب قرار داده شده و به مدت سه روز در دمای ۱۱ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا جوانه بزنند. خروج ریشه‌چه دو میلی‌متری از بذر به‌عنوان معیار جوانه‌زنی در نظر گرفته شد. پس از جوانه‌زنی تعدادی از بذرها به کاغذ صافی برای انجام آزمایش اول و تعدادی نیز به اتاقک ژل، جهت انجام آزمایش دوم منتقل شدند. هر دو آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد.

آزمایش اول

با توجه به روش مارتینز و همکاران (۲۲) بذرهای جوانه زده به فواصل ۵ سانتی‌متری روی کاغذ صافی به عرض ۱۵ سانتی‌متر منتقل شدند و در نهایت کاغذ صافی به‌صورت لوله شده درون آب مقطر گذاشته شد به‌طوری‌که بخش هوایی از منطقه طوقه بیرون از آب قرار می‌گرفت. هشت روز پس از انتقال گیاهچه‌ها، برخی از پارامترهای ریشه همچون تعداد ریشه‌ها، مجموع طول ریشه‌ها، وزن ریشه و اندام هوایی و طول اندام هوایی اندازه‌گیری شد.

آزمایش دوم

محیط کشت اتاقک ژل شامل یک اتاقک دو بعدی است که از دو صفحه تشکیل شده است. یکی از صفحات پلی وینیل کلرید سیاه رنگ و دیگری یک صفحه شفاف است. ابعاد هر صفحه (۳۲۰×۲۱۵×۳) میلی‌متر می‌باشد. نواری از جنس صفحات مذکور به ضخامت سه میلی‌متر در محیط هر صفحه چسبانده می‌شود که در مجموع فضایی ۶ میلی‌متری را بین دو صفحه ایجاد می‌کند (۹) (شکل ۱).

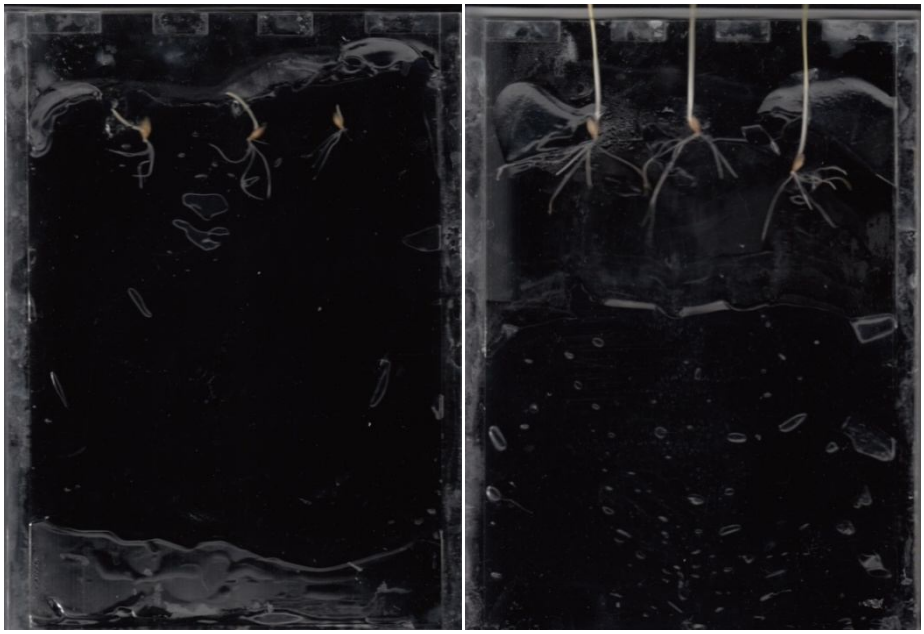


شکل ۱- نمای شماتیک اتاقک ژل

قبل از اتصال دو صفحه به هم میزان ۱۰۰ میلی‌لیتر فیتوژل (Sigma P8169) استرلیزه (۲ گرم در ۱۰۰ گرم آب مقطر) روی هر یک از صفحات ریخته شد، طوری‌که ضخامت ژل به ۱/۵ تا ۲ میلی‌متر رسید. در این صورت فضایی دو میلی‌متری از هوا بین دو صفحه باقی می‌ماند که هوای لازم برای رشد گیاهچه را تأمین می‌کرد.

بذرهای جوانه زده به روی صفحه سیاه منتقل شدند. در روی هر صفحه سه بذر به شکل عمودی قرار گرفت. فاصله هر بذر از بالا ۸۰ میلی‌متر و از حاشیه ۵۰ میلی‌متر بود. پس از انتقال بذور صفحه شفاف با استفاده از چند گیره فلزی به صفحه دیگر متصل شد. سه فضای باز در بالای اتاقک وجود داشت تا تبادل هوا به‌خوبی صورت گیرد و همچنین رشد و خروج اندام هوایی با مشکل مواجه نشود (۹). سپس اتاقک‌ها در ژرمیناتور با دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. طول روز به صورت ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی تنظیم شد. شدت نور در بالای اتاقک ۳۲۰ میکرومول فوتون در مترمربع در ثانیه تنظیم شد. اتاقک‌ها با زاویه ۸۰ درجه درون ژرمیناتور قرار گرفتند. در سه مرحله (۵، ۸ و ۱۱ روز پس از قرارگیری بذرها در محیط ژل) از ریشه‌ها با استفاده از دستگاه اسکنر (مدل Canon Lide 110) تصویربرداری شد (شکل ۲). طول، قطر و تعداد ریشه‌ها با استفاده از نرم افزار jMicrovision 1.27 مورد محاسبه قرار گرفت.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.



شکل ۲- تصاویر اسکن شده سه ژنوتیپ جو: مرحله پنج روزگی (سمت راست) و مرحله هشت روزگی (سمت چپ)

نتایج و بحث

طول و تعداد ریشه

ژنوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ مجموع طول ریشه و تعداد ریشه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد (آزمایش اول) و یک درصد (آزمایش دوم) بودند (جداول ۱ و ۲). در هر دو نوع محیط رشد ژنوتیپ‌های C-87-10، C-87-19، DC-86-3، یوسف و نصرت دارای بیشترین طول ریشه بودند و ژنوتیپ‌های D10، نیمروز، والفجر و سهند کمترین مقادیر صفت یاد شده را به‌خود اختصاص دادند (جداول ۳ و ۴). در آزمایش اول (کاغذ صافی) در ششمین روز از جوانه‌زنی لاین C-87-10 با ۲۸۳ میلی‌متر بیشترین طول و رقم نیمروز با ۱۳۹/۳ میلی‌متر طول کمترین مجموع طول ریشه را دارا بودند. در حالی‌که در مرحله اول تصویر برداری از اتاقک‌های ژل، لاین C-87-10 با ۲۲۶ میلی‌متر طول بیشترین و رقم سهند با ۳۹ میلی‌متر کمترین طول ریشه را در بین ژنوتیپ‌ها دارا بودند.

مانشادی و همکاران (۲۰) با مطالعه روی صفات ساختاری ریشه گندم و جو بیان داشتند که برخی از ارقام جو با گسترش سیستم ریشه‌ای کم عمق در ابتای فصل رشد، پتانسیل بیشتری برای استخراج آب از لایه‌های سطحی خاک دارند.

در بین خصوصیات ریشه مجموع طول ریشه بهترین پارامتر برای تعیین میزان رشد ریشه است (۳۱). گنجعلی و همکاران (۵) دریافتند که طول بیشتر ریشه موجب بهره‌بردای بیشتر از رطوبت و عناصر غذایی موجود در افق‌های مختلف خاک می‌گردد و در شرایطی که ریشه با کمبود رطوبت و تنش خشکی مواجه می‌شود، این ویژگی می‌تواند در جهت بقای گیاه عمل کند. سلول‌های ریشه هنگامی‌که با کمبود مواد غذایی در خاک مواجه می‌شوند، به سرعت تکثیر می‌شوند و تقسیم سلولی ریشه‌ها افزایش می‌یابد که موجب افزایش رشد طولی ریشه می‌گردد که این یک استراتژی جهت دستیابی به مواد غذایی از اعماق خاک است (۲).

از لحاظ تعداد ریشه در آزمایش اول، لاین DC-86-4 با هشت ریشه در بوته دارای بیشترین تعداد ریشه جنینی بود و رقم D10 با چهار ریشه کمترین مقدار صفت فوق را داشت. در آزمایش دوم، ژنوتیپ‌های DC-86-8، یوسف، C-87-19 و نصرت با دارا بودن ۶ عدد ریشه در بوته در رده‌های نخست قرار گرفتند و رقم سهند با داشتن ۳ عدد ریشه کمترین مقدار را به‌خود اختصاص داد. گوپتا (۱۵) از تعداد ریشه جنینی به‌عنوان یک معیار مهم برای انتخاب مقاومت به خشکی در گیاهانی مانند گندم، جو ذرت یاد کرده است.

وهبی و گرگوری (۳۴) با مطالعه روی ۴۸ ژنوتیپ جو که در محلول غذایی و مخلوط شن و پرلیت رشد یافته بودند تفاوت‌هایی را در رشد ریشه گیاهچه‌ای این ژنوتیپ‌ها پیدا کردند. در مطالعه جزئی‌تر شش ژنوتیپ، گیاهانی که در خاک و در محلول غذایی رشد یافته بودند، نسبت به آنهایی که در مخلوط شن و پرلیت بودند، ریشه‌های جانبی طویل‌تری داشتند اما ترتیب ژنوتیپ‌ها از لحاظ طول ریشه در هر دو محیط یکسان بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مربوط به آزمایش کاغذ صافی

منابع تغییر	درجه آزدی	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	طول اندام هوایی	تعداد ریشه	مجمول طول ریشه
ژنوتیپ	۱۷	۰/۰۰۰۰۰۵۸**	۰/۰۰۰۰۱۱*	۸/۷۷۱**	۲/۱۴۷**	۶۱/۷۰*
خطا	۳۶	۰/۰۰۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۰۴۸	۲/۱۰۵	۰/۵۶۸	۲۷/۷۱
%CV	-	۲۷/۶۷	۱۹	۱۳/۹۴	۱۳/۱۲	۲۵/۰۷

* و ** به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مربوط به آزمایش اتاقک ژل

منابع تغییر	درجه آزدی	وزن خشک ریشه	وزن خشک کل	مساحت کل برگ‌ها	مجموع طول ریشه	قطر ریشه	تعداد ریشه
ژنوتیپ	۱۷	۰/۰۰۰۰۴۷**	۰/۰۰۰۳۹۷**	۴/۷۲۴**	۵۸۱۹/۸۵**	۰/۰۹۹۲^{ns}	۲/۱۸۸*
خطا	۳۶	۰/۰۰۰۰۰۶۱	۰/۰۰۰۳۹	۰/۶۴۸	۲۶۳/۶۵	۰/۰۸۲	۰/۹۰۷
%CV	–	۳۴/۵۴	۱۸/۵۲	۲۳/۱۹	۱۲/۹۶	۲۱/۷۱	۲۰/۰۱۵

ns، * و ** به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

توروپ کریستنسن (۳۳) بیان داشت که ارقام جو بهاره نسبت به ارقام پائیزه ریشه کوتاهتری دارند، در نتیجه از نیتروژن سطح خاک استفاده می‌کنند. اما ارقام پاییزه با داشتن ریشه‌هایی عمیق‌تر قادرند از نیتروژن عمق خاک بهره‌برداری کنند. در آزمایشی که روی ۴۰ رقم گندم بهاره انجام شد مشخص شد ارقامی که در زمان جوانه‌زنی بیشترین ریشه جنینی را داشتند، بالاترین عملکرد را نیز در شرایط تنش و عدم تنش دارا بودند (۱۶). طبق گفته ریچارد (۲۶) یکی از مهارت‌های مدیریتی مهم برای افزایش رشد ریشه و عمیق‌تر شدن آن و افزایش جذب مواد غذایی در غلات افزایش دادن طول دوره رشد می‌باشد، وی بیان داشت ریشه‌های گندم از زمان کاشت تا گلدهی هر روز به میزان یک سانتی‌متر افزایش طول پیدا می‌کنند، بنابراین می‌توان با کشت یک ماه زودتر از موعد گندم، طوری‌که تاریخ گرده‌افشانی تغییری نکند، طول ریشه را به میزان چشمگیری افزایش داد.

وزن خشک ریشه

در هر دو نوع محیط رشد اختلافات معنی‌داری از لحاظ وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. در آزمایش اول ژنوتیپ‌هایی از جمله DC-85-5، C-87-19، C-87-10 و نصرت از لحاظ صفت مذکور در رده‌های نخست قرار گرفتند و ارقام والفجر و سهند کمترین مقدار را داشتند. لاین DC-85-5 با داشتن ۶/۳ میلی‌گرم وزن ریشه و رقم والفجر با داشتن یک میلی‌گرم وزن ریشه به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر را از لحاظ وزن خشک ریشه دارا بودند (جداول ۳ و ۴). در اتاقک ژل رقم یوسف با ۱۴ میلی‌گرم وزن خشک ریشه بیشترین و ارقام سهند و نیمروز با دو میلی‌گرم، کمترین میزان وزن خشک ریشه را به‌خود اختصاص دادند. افزایش وزن ریشه نقش مهمی در حفظ محتوی مواد آلی خاکی که از حاصلخیزی کمی برخوردار است، ایفا می‌کند (۱۹). مطابق با گفته فیتر (۱۲) وزن ریشه هر واحد خاک در تعیین جذب NH_4^+ نسبت به یون‌های متحرک دیگر مانند NO_3^- بسیار مؤثر است. مورفولوژی ریشه تنها برای یون‌هایی دارای اهمیت می‌شود که نسبتاً غیرمتحرک باشند و عمدتاً برای جذب یون $H_2PO_4^-$ اهمیت می‌یابد. ضخامت ریشه در اکتساب یون‌های غیرمتحرک مهم‌تر است. معمولاً ضخامت ریشه در سطوح پایین مواد غذایی افزایش می‌یابد.

میانگین قطر ریشه

طبق نتایج به‌دست آمده ژنوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ میانگین قطر ریشه در مرحله رشد گیاهچه‌ای تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. دو لاین DC-85-5 و C-87-19 به‌ترتیب با داشتن میانگین قطری معادل ۱/۶۸۶ و ۱/۶۷ میلی‌متر از لحاظ صفت مذکور نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری نشان دادند. دو ژنوتیپ والفجر و C-86-14 نیز به‌ترتیب با داشتن میانگین قطر ۱/۰۹۸ و ۱/۰۵۷ میلی‌متری کمترین مقدار صفت فوق را به‌خود اختصاص دادند. قطر ریشه از صفاتی است که با وزن خشک ریشه ارتباط دارد. محب (۶) طی انجام آزمایشی بر روی ارقام گندم تحت تنش خشکی، گزارش داد که در مرحله گرده‌افشانی که گیاه دارای بیشترین وزن خشک بوده، از نظر میانگین قطر ریشه هم بالاترین مقدار را دارا بوده است. مقایسه سیستم ریشه‌ای این ارقام نشان داد که ارقام متحمل در مواجهه با تنش خشکی ریشه قطورتری را نسبت به ارقام حساس تولید می‌کنند.

خصوصیات بخش هوایی

در آزمایش نخست اختلافات معنی‌داری از نظر طول بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد در بین ژنوتیپ‌ها مشاهده شد. در بین گیاهچه‌های رشد یافته در کاغذ صافی، لاین DC-85-5 با ۱۳/۲۶۶ سانتی‌متر طول اندام هوایی بیشترین مقدار را به‌خود اختصاص داد و رقم سهند با داشتن اندام هوایی معادل ۷/۴ سانتی‌متر، در رده آخر قرار گرفت (جدول ۳). از لحاظ مساحت کل برگ‌ها در اتاقک ژل اختلافات معنی‌داری در بین ارقام در سطح ۵ درصد به‌چشم خورد. در اتاقک ژل لاین C-87-19 با مساحت برگ برابر ۵/۸ cm^2 در رده اول و رقم سهند با داشتن مساحت برگی معادل ۰/۹۲ cm^2 در ردیف آخر قرار گرفت (جدول ۴). در مقایسه دو پارامتر اندام هوایی و ریشه، مشاهده می‌شود که ژنوتیپ‌هایی که دارای ریشه بیشتری هستند از نظر شاخص سطح برگ و یا طول اندام هوایی نیز در رده بالاتری قرار دارند. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپی که دارای سطح فتوسنتزکننده بیشتری است با تخصیص قند بیشتر به ریشه، میزان رشد این قسمت را نیز بیشتر می‌کند.

همبستگی صفات

در کاغذ صافی بین طول اندام هوایی و وزن خشک ریشه و همچنین بین طول و وزن خشک اندام هوایی و مجموع طول ریشه همبستگی زیادی در سطح احتمال یک درصد دیده شد. می‌توان گفت گیاهچه با افزایش دادن طول برگ خود سطح فتوسنتزکننده بیشتری تولید می‌کند که با افزایش یافتن اختصاص مواد به ریشه مجموع طول ریشه بیشتر می‌گردد (جدول ۵).

در اتاقک ژل بین قطر و مجموع طول ریشه در سطح احتمال یک درصد همبستگی اندکی مشاهده شد که بیانگر این نکته است که قطر ریشه هم هماهنگ با طول ریشه افزایش یا کاهش پیدا می‌کند. بین وزن خشک کل بوته و مساحت برگ نیز در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد همچنین بین وزن خشک کل بوته و طول ریشه همبستگی مثبت و بالایی در سطح احتمال یک درصد وجود داشت.

بین مساحت برگ و مجموع طول ریشه نیز در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. می‌توان اظهار داشت ژنوتیپ‌هایی که مساحت برگ بیشتری تولید می‌کنند با افزایش تولید قند و اختصاص آن به ریشه در ابتدای رشد منجر به افزایش طول ریشه می‌گردد (جدول ۶).

جدول ۳- مقایسه میانگین خصوصیات گیاهچه‌ای ژنوتیپ‌های جو رشد یافته در کاغذ صافی

ژنوتیپ	طول اندام هوایی (cm)	وزن خشک اندام هوایی (mg)	وزن خشک ریشه (mg)	مجموع طول ریشه (cm)
ریحان	۸/۶۶ efg	۱۳/۳ ab	۳/۶ bc	۲۳۲ abcd
سهند	۷/۴ g	۸/۳ c	۴ abcd	۱۵۲/۳ cd
ماکوئی	۱۱/۰۶ abcdef	۱۱/۳ abc	۵/۳ abcd	۲۲۰ abcd
نصرت	۱۱/۵ abcd	۱۳/۳ ab	۶ ab	۲۴۸ abc
نیمروز	۹/۱۶ defg	۱۲ abc	۳/۳ c	۱۳۹/۳ d
والفجر	۱۰/۹۳ abcdef	۸/۶ c	۱ e	۱۵۹/۶ bcd
یوسف	۸/۳۳ fg	۹/۳ bc	۵ abcd	۱۹۶/۶ abcd
C-86-14	۱۲/۱ abc	۱۴/۳ a	۴/۳ abcd	۲۳۱ abcd
C-87-3	۹/۱ defg	۱۰/۶ abc	۴ abcd	۱۷۶ bcd
C-87-10	۱۲/۶۷ ab	۱۰/۳ abc	۶ ab	۲۸۳ a
C-87-19	۱۲/۴ ab	۱۱ abc	۶ ab	۲۱۳/۳ abcd
D10	۹/۵ cdefg	۹/۳ bc	۳ de	۱۶۵/۳ bcd
DC-85-5	۱۳/۲۶ a	۱۳ ab	۶/۳ a	۲۴۳/۳ abc
DC-86-3	۱۰/۵۳ abcdef	۱۴ a	۴ abcd	۲۶۱ ab
DC-86-4	۱۰/۴۳ bcdef	۱۳/۶ ab	۴ abcd	۱۶۳/۳ bcd
DC-86-8	۸/۵۳ efg	۱۲/۳ abc	۳/۳ cd	۲۰۴ abcd
M-83-12	۸/۶ efg	۱۲ abc	۳/۱ cd	۱۹۵ abcd
M-85-18	۱۱/۲۶ abcde	۱۲ abc	۵/۶ abc	۲۸۰/۶ a

*میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن ندارند.

جدول ٤- مقایسه میانگین خصوصیات گیاهچه‌ای ژنوتیپ‌های جو رشد یافته در اتاقک ژل

ژنوتیپ	میانگین قطر ریشه (mm)	مساحت کل برگ‌ها (cm^2)	وزن خشک اندام هوایی (mg)	وزن خشک ریشه (mg)	مجموع طول ریشه (cm)
ریحان	۱/۱۸۰ ab	۲/۵ ef	۳۱ cde	۴/۶ d	۱۰۸/۳۳ efg
سهند	۱/۱۴۳ ab	۰/۹۲ g	۱۶/۶ f	۲ d	۳۹/۳۹ h
ماکوئی	۱/۲۵۱ ab	۴/۶۴ abc	۵۲ a	۱۰/۶ ab	۱۱۷/۳۵ efg
نصرت	۱/۲۲۸ ab	۵/۱۱ ab	۳۷ bc	۱۱/۶ a	۱۶۴/۱۲ bc
نیمروز	۱/۴۸۶ ab	۲/۰۴ fg	۲۳/۶ def	۲ d	۱۰۶/۵۴ fg
والفجر	۱/۰۹۸ b	۱/۹۶ fg	۲۴/۶ def	۲/۳ d	۹۰/۵۳ g
یوسف	۱/۴۱ ab	۴/۶۷ abc	۴۵/۳ ab	۱۴ a	۱۴۲/۴۱ cd
C-86-14	۱/۶۸۶ a	۳/۲۳ cdef	۲۸ cdef	۴/۶ d	۵۳/۲۱ h
C-87-3	۱/۰۵۷ b	۳/۴۸ cdef	۳۴/۳ cd	۶/۳ bcd	۱۳۵/۳۱ cdef
C-87-10	۱/۲۰۲ ab	۴/۱۱ bc	۴۸/۶ a	۱۲/۳ a	۲۲۶/۳۶ a
C-87-19	۱/۶۷ a	۵/۸ a	۵۶/۶ a	۱۰/۱ abc	۱۸۰/۹۴ b
D10	۱/۳۸۴ ab	۳/۱۵ cdef	۲۳ def	۲/۶ d	۸۸/۸۶ g
DC-85-5	۱/۱۵۵ ab	۴/۱۸ bc	۳۳/۳ cde	۱۰ abc	۱۲۵/۳۵ ef
DC-86-3	۱/۴۲۲ ab	۳/۱۵ cdef	۲۹/۳ cde	۶/۶ bcd	۱۶۴/۷۹ b
DC-86-4	۱/۳۴۴ ab	۳/۷ bcde	۲۷/۳ cdef	۶ bcd	۱۲۱/۸۲ ef
DC-86-8	۱/۴۰۳ ab	۲/۱۶ efg	۲۹ cde	۵/۶ cd	۱۳۸/۱ cde
M-83-12	۱/۴۷۲ ab	۲/۹۲ def	۲۲ ef	۵/۳ d	۱۳۵/۶۷ cdef
M-85-18	۱/۲۷۷ ab	۴/۴۱ abcd	۴۷ ab	۱۲/۳ a	۱۱۴/۸۶ efg

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن ندارند.

جدول ۵- همبستگی خصوصیات گیاهچه‌های رشد یافته در کاغذ صافی

صفت	۱	۲	۳	٤
طول اندام هوایی (۱)	۱			
وزن خشک اندام هوایی (۲)	۰/۲۸*	۱		
وزن خشک ریشه (۳)	۰/۳۶**	۰/۲ ns	۱	
مجموع طول ریشه (۴)	۰/۵۵**	۰/۵**	۰/۴۳**	۱

ns، * و ** به‌ترتیب بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

جدول ٦- همبستگی خصوصیات گیاهچه‌های رشد یافته در اتاقک ژل

صفت	۱	۲	۳	٤	٥
قطر ریشه (۱)	۱				
وزن خشک کل (۲)	۰/۱۲ns	۱			
وزن خشک ریشه (۳)	۰/۲۷*	۰/۲ ns	۱		
مساحت برگ‌ها (۴)	۰/۲۸*	۰/۶۹**	۰/۳۰*	۱	
مجموع طول ریشه (۵)	۰/۳۳*	۰/۵۹**	۰/۳۲*	۰/۶۰**	۱

ns، * و ** به‌ترتیب بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

نتیجه‌گیری

ریشه به‌عنوان نیمه پنهان گیاه علی‌رغم نقش حیاتی که در گیاه ایفا می‌کند تا حدی ناشناخته مانده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد ژنوتیپ‌های C-87-10، C-87-19، DC-86-3 و ارقام یوسف و نصرت به علت داشتن خصوصیات ریشه‌ای بهتر در ابتدای رشد گیاهچه‌ای علاوه بر توانایی بیشتر در جذب آب و املاح نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها، قدرت رقابتی بیشتری خواهند داشت و به علت گسترش سریع سیستم ریشه‌ای به‌طور مطلوب‌تری از منابع بهره خواهند برد، در حالی‌که ارقام D10، والفجر، نیمروز و سهند از نظر بسیاری از خصوصیات ریشه‌ای در رده‌های پایین قرار می‌گیرند و از آنجایی که اغلب مناطق ایران دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است، انتخاب و کشت چنین ارقامی در ایران توصیه نمی‌شود، چراکه به علت نقاط ضعفی همچون کم بودن مجموع طول ریشه و سرعت رشد پایین ریشه قادر به جذب مطلوب آب و مواد غذایی نبوده و در نهایت عملکرد مطلوبی نخواهند داشت.

در مقایسه دو روش کاغذ صافی و اتاقک ژل می‌توان گفت استفاده از اتاقک ژل برای مطالعه خصوصیات مورفولوژیک ریشه نسبت به کاغذ صافی روش بهتر و دقیق‌تری است، چراکه اندازه‌گیری‌ها با استفاده از نرم افزار مخصوص صورت می‌گیرد و همچنین امکان مطالعه ریشه را در دوره‌ای نسبتاً طولانی‌تر فراهم می‌آورد. در حالی‌که در کاغذ صافی با گذشت تنها چند روز از جوانه‌زنی، ریشه‌ها در هم پیچیده و به آسانی قابل جداشدن و اندازه‌گیری نیستند.

منابع

۱- باقری، ع.، ا. نظامی، و م. سلطانی. ۱۳۸۰. اصلاح حبوبات سرمادوست برای تحمل به سرما. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. ۴۴۵ صفحه.

۲- خزاعی، ح. ۱۳۸۱. اثر تنش خشکی بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک ارقام مقاوم و حساس گندم و معرفی مناسب‌ترین شاخص‌های مقاومت به خشکی. پایان نامه دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- روشن ضمیر، ف.، ع. سیروس، الف. قنبری، م. ر. اصغری پور و الف. حسینی. ۱۳۸۹. بررسی اثر تنش خشکی و کود فسفر بر عملکرد و برخی خصوصیات مورفولوژیکی ریحان. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات. دانشگاه شهید بهشتی تهران.

۴- کافی، م.، ا. برزوئی، م. صالحی، ع. کمندی، ع. معصومی، و ج. نباتی. ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۵- گنجعلی، ع.، م. کافی و ع. باقری. ۱۳۸۰. رهیافت‌هایی از مطالعات ریشه در گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.). ویژه نامه مجله پژوهشی علوم کشاورزی، سال۱۳، شماره ۱.

۶- محب، ز. ۱۳۹۰. بررسی اثر تنش خشکی بر خصوصیات موفوفیزیولوژیکی ریشه ارقام حساس و مقاوم گندم. پایان نامه کارشناسی ارشد.
7- Armstronga, J., J. F. G. Milforda, T. O. Pococka, P. J. Lasta, and W. Day. 1986. The dynamics of nitrogen uptake and its remobilization during the growth of sugar beet.The Journal of Agricultural Science 107:145-154.
8- Arora, A., and J. Mohan. 2001. Expression of Dwarfing Genes under Nitrogen and Moisture Stress in Wheat (*Triticum* spp): Dry Matter Partitioning, Root Growth and Leaf Nitrogen .Journal of Agronomy and Crop Science 186: 111-118.
9- Bengough, A. G., D. C. Gordon, H. Al-Menaie, R. P. Ellis, D. Allan, R. Keith, W. T. B. Thomas, and B. P. Forster. 2004. Gel observation chamber for rapid screening of root traits in cereal seedlings. Plant and Soil 262: 63-70.
10- Benjamin, J. G., and D. C. Nielsen. 2006. Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea. Field Crops Research 97: 248-253.
11- Eissenstat, D. M. 1991. On the relationship between specific root length and the rate of root proliferation a field study using citrus rootstock. New Phytology. 118: 63-68.
12- Fitter, A. H. 1987. An architectural approach to the comparative ecology of plant root Systems. New phytology. 106: 61-77.
13- Gaur, P. M., L. Krishnamurthy, and J. Kashiwagi. 2008. Improving drought avoidance root traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.) current status of research at ICRISAT. Plant Production Science 11: 3-11.
14- Gruber, B. D., R. F. H. Giehl, S. Friedel, and N. V. Wirén. 2013. Plasticity of the Arabidopsis Root System under Nutrient Deficiencies. Plant Physiology 163: 161-179.
15- Gupta, U. S. 1984. Crop improvement for drought resistance. Current Agriculture 8: 1-15.
16- Gupta, U. S. 1998. Production and improvement of crop for dryland. Oxford and IBH publishing.
17- Hargreaves, C. E., P. J. Gregory, and A. G. Bengough. 2009. Measuring root traits in barley (*Hordeum vulgare* ssp. vulgare and ssp. Spontaneum) seedlings using gel chambers, soil sacs and X-ray microtomography. Plant Soil 316: 285-297.
18- Kaczmarek, S., K. Matysiak, and R. krawczykthe. 2013. Effect of wheat, barley, and oat root system Interactions, in two-species mixtures. Journal of Plant Protection Research 35: 1.
19- Liu, C., and R. J. Cooper. 2000. Humic substances influence creeping bent grass growth. Golf Course Management 33: 1023-1025.
20- Manschadi, A. M., J. Christopher, P. Voi, and G. L. Hammer. 2006. The role of root architectural traits in adaptation of wheat to water-limited environments. Functional Plant Biology 33: 823-837.
21- Manschadi, A. M., G. L. Hammer, J. T. Christopher, and P. Devoil. 2008. Genotypic variation in seedling root architectural traits and implications for drought adaptation in wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Soil 303:115-129.
22- Martinez, E., M. V. Carbonell, and J. M. Amaya. 2000. A static magnetic field of 125 mT stimulates the initial growth stages of barley (*Hordeum vulgare* L.). Electromagnetic Biology and Medicine 19: 271-277.
23- Matsui, T., and B. B. Singh. 2003. Root characteristics in cowpea related to drought tolerance at the seedling stage. Experimental Agriculture 39: 29-38.
24- Michele, A., T. Douglas, and A. Frank. 2009. The effect 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.
25- Puangbut, D., S. Jogloy, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, T. Kesmala Rao, C. N. Achaputi, G. C. Wright, and A. Patanothai. 2009. Association of root dry weight and transpiration efficiency of peanut genotypes under early season drought. Agricultural Water Management 96: 1460-1466.
26- Richard, R. A. 2008. Genetic oppurtunities to improve cereal root system for dryland agriculture. Plant Production Science 11: 12-16.
27- Saini, H. S., and M. E. Westgate. 1999. Reproductive Development in Grain Crops during Drought. Advances in Agronomy 68: 59-96.
28- Singh, D. N., A. M. Masood, and D. S. Basu. 2000. Genetic variation in dry matter partitioning in shoot and root influences of chickpea to drought. 3rd International Crop Science Congress 17-22.
29- Smith, S., and Smet. 2012. Root system architecture: insights from Arabidopsis and cereal crop. Philosophical transaction of the royal society.
30- Songsri, P., S. Jogloy, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, A. Patanothai, and C. C. Holbrook. 2008. Root Distribution of Drought-Resistant Peanut Genotypes in Response to Drought Journal of Agronomy and Crop Science 194: 92-103.
31- Srivastava, H. N. 1997. Plant Physiology. Jalandhar, India: Pardeep Publication.
32- Streda, T., V. Dostal, M. Hajzler, and O. Chloupek. 2011. Yield and quality of spring barley in relation to root system size. 61 Tagung der Vereinigung der Pflfl anzenzuchter und Saatgutkauflfl eute Osterreichs 167-170.
33- Thorup kristensen, K. 2006. Effect of deep and shallow root systems on the dynamics of soil inorganic N during 3-years crop rotation. Plant and Soil. 228: 233-248.
34- Wahbi, A., and P. J. Gregory. 1989. Genotypic Differences in Root and Shoot Growth of Barley (*Hordeum vulgare*). II. Field Studies of Growth and Water Use of Crops Grown in Northern Syria. Experimental Agriculture 25: 389-399.