نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۲، شماره ۳ ، پاییز ۱۳۹۳، ص. ۴۲۶-۴۱۷

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 12, No. 3, Fall. 2014, p. 417-426

تاثیر تنش رطوبتی بر توزیع و گسترش ریشه و بخش هوایی چهار ژنوتیپ تریتیکاله (*Triticosecale wittmack*)

حمیدرضا خزاعی[۱]- شهرام ریاحی‌نیا[۲*]- حمیدرضا عشقی‌زاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۲
تاریخ پذیرش:۱۳۹۱/۱۱/۱۷

چکیده

عمق نفوذ و گسترش ریشه گیاه نقش به سزایی در تحمل به تنش و استفاده بهینه از رطوبت ذخیره شده در خاک دارد. این پژوهش به منظور بررسی ویژگی های رشد ریشه و شناسایی صفات موثر در تحمل به کمبود آب در ژنوتیپ های تریتیکاله صورت گرفت. به منظور بررسی ویژگی های مورفولوژیک ریشه گیاه تریتیکاله در شرایط متفاوت رطوبتی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی در سه تکرار که شامل دو رژیم رطوبتی در دو سطح متفاوت رطوبت قابل دسترس خاک شامل شاهد (رطوبت در حد ظرفیت زراعی) و تنش کمبود آب (آبیاری در زمان رسیدن رطوبت به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و چهار ژنوتیپ تریتیکاله شامل سه لاین امید بخش ET-82-8، ET-82-15، 17- ET-79 به همراه رقم رایج Junillo-92 در گلخانه تحقیقاتی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۸۷ اجرا شد. نتایج نشان داد که تنش کمبود آب عمق توسعه ریشه را حدود ۹ درصد افزایش داد. همچنین تفاوت عمیق ترین عمق ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به سطحی ترین عمق در رقم Junillo-92 حدود ۸/۲ سانتی متر بود. تاخیر در آبیاری باعث کاهش ۲۵ درصدی طول تجمعی ریشه شد. همچنین اختلاف معنی دار ۴۳ درصدی بین بیشترین طول تجمعی ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین طول در 17- ET-79 وجود داشت. تنش کمبود آب؛ طول، سطح، قطر و وزن خشک ریشه در اعماق ۲۰-۰ ، ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتیمتری خاک را نیز کاهش داد. ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شرایط تنش کمبود آب نشان داد به استثنای همبستگی بین طول و قطر ریشه همه خصوصیات مورد مطالعه ریشه همبستگی مثبت و معنی داری از نظر آماری با یکدیگر دارند. به طور کلی به نظر می رسد که طول تجمعی ریشه و سطح ریشه از ویژگی‌های موثر ژنوتیپ های تریتیکاله در تولید دانه بوده که تحت شرایط تنش کمبود آب می‌توانند نقش موثری داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: نفوذ عمقی، طول تجمعی، سطح کل ریشه، عملکرد دانه

مقدمه

ریشه گیاه با توجه به ویژگی‌های ذاتی خود نقش مهمی در گسترش و توسعه ژرم پلاسم‌های گیاهان متحمل به تنش خشکی دارد (۴). محدود بودن تحقیق روی ریشه، در مقایسه با سایر اندامهای گیاهی تا حدودی به دلیل مشکلات متعددی است که بر سر راه مطالعه آنها وجود دارد. با این حال تقویت رشد گیاه از طریق ایجاد تغییر در محیط ریشه آسان تر از تغییر در محیط شاخ و برگ است. شرایط مختلف آب، هوا و مواد معدنی محیط ریشه به وسیله عملیات زراعی با سهولت بیشتری قابل تغییر می‌باشد (۲). دمای خاک به وسیله به هم زدن، شخم و مالچ، رطوبت آن به وسیله آبیاری و مواد معدنی آن به وسیله کوددهی قابل تغییر است. در حالی که تغییر محیط شاخه و برگ (اتمسفر) مشکل و گاهی غیر ممکن می‌باشد (۱). بنابراین شاید بهتر آن باشد که مطالعات روی ریشه بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

از بین تنش های مختلف محیطی که بر ریشه گیاه تاثیر می‌گذارد اثر تنش کمبود آب در مراحل رشد و نمو بارزتر است (۱۸). تنش کمبود آب مهم ترین عامل کاهش عملکرد در گیاهان زراعی، به خصوص گیاهانی با نیاز آبی بالا گزارش شده است (۲۶). راهبرد تحمل به خشکی، به مفهوم ادامه فعالیت های اساسی گیاه در صورت مواجه شدن با خشکی است (۱۸). صفات ریختی ریشه و پاسخ به

۱- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- گروه علوم و مهندسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه پیام نور
(*- نویسنده مسئول: Email: sh_riahinia@yahoo.com)
۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تنش کمبود آب از اجزای مهم تحمل به خشکی محسوب می‌شوند (۲). در برنج، ذرت و گندم تحمل به خشکی و عملکرد بالا به رشد بیشتر ریشه و ویژگی های آن ربط داده شده است (۱۷ و ۲۴). نتایج پژوهشی بر روی برنج (*Oryza sativa*) نشان داده است که هر چه سرعت رشد ریشه بالاتر باشد، بروز تنش نیز به تاخیر می افتد (۲۶). تاخیر در پسابیدگی از طریق افزایش رشد ریشه موجب افزایش توانایی استخراج رطوبت خاک می شود و به عنوان یک ساز و کار موثر برای تحمل به خشکی عمل می کند (۲۹). اسلوان و همکاران (۲۵) اظهار داشتند که افزایش حجم و طول ریشه در سویا (*Glycine max*) باعث تعویق در پسابیدگی و مقاومت به خشکی می شود و بدین ترتیب فشار تورژسانس در طول دوره خشکی حفظ می شود. برای تحمل به خشکی سه ساز و کار در ارتباط سیستم ریشه‌ی گیاهان؛ افزایش حداکثر طول ریشه برای استفاده بیشتر از ذخایر آب، افزایش حجم ریشه و نسبت وزن ریشه به بخش هوایی، افزایش توانایی نفوذ ریشه در برابر موانع فیزیکی و شیمیایی و بالا بردن توان تنظیم اسمزی در ریشه که باعث استخراج آب بیشتری از خاک و مقاومت در مقابل تنش کمبود آب و افزایش توان بازیافت گیاه می شود، پیشنهاد شده است (۲۶).

وزن خشک ریشه ملاک مناسبی برای مطالعات ریشه و پاسخ آن به واکنش‌های محیطی محسوب می‌شود. این ویژگی می‌تواند به عنوان یک پارامتر اساسی در برآورد ذخیره مواد فتوسنتزی در گیاه محسوب شود (۱). ایکانایاک و همکاران (۱۰) نسبت وزن خشک ریشه به بخش هوایی را به عنوان یک شاخص مقاومت به خشکی محسوب کردند. سطح ریشه به ندرت در مطالعات اکولوژیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد، هر چند به نظر می‌رسد این ویژگی یکی از مهمترین ویژگی های ریشه است که در مطالعات جذب آب و مواد غذایی ریشه می‌توان به آن پرداخت. طول ریشه را می‌توان پرکاربردترین ویژگی ریشه دانست زیرا محققان ریشه معتقدند پارامتر طول ریشه در واحد حجم خاک بهترین ویژگی برای محاسبه جذب آب توسط گیاه است (۳۰). توپستین و همکاران (۲۷) به این نتیجه رسیدند که ارقام متحمل به خشکی، ریشه طویل تر و حجم ریشه بیشتری نسبت به دیگر ارقام دارند. بسیاری از گونه های گیاهی با افزایش سهم مواد فتوسنتزی اختصاص یافته به رشد ریشه و بنابراین افزایش نسبت ریشه به اندام های هوایی و بهره‌گیری بیشتر از آب قابل دسترس به کمبود رطوبت پاسخ می دهند (۳).

ونوپرازاد و همکاران (۲۸) همبستگی بین عملکرد دانه و حداکثر طول ریشه را در برنج تحت شرایط تنش کمبود آب مثبت و در شرایط عادی منفی گزارش کردند، بنابراین ترکیب ژن های کنترل کننده عملکرد دانه و صفات ریخت شناسی ریشه برای افزایش مقاومت به خشکی توصیه شده است. هدف از این پژوهش، مطالعه صفات مورفولوژیک ریشه ژنوتیپ های تریتیکاله (*Triticosecale wittmack*) تحت شرایط عادی و تنش کمبود آب و ارتباط این صفات با ویژگی های بخش هوایی و همچنین بررسی پراکنش ریشه در لایه‌های مختلف خاک در شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در چهار تکرار در سال ۱۳۸۷ در گلخانه تحقیقاتی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. بذرهای چهار ژنوتیپ تریتیکاله شامل سه لاین امید بخش ET-82-8، ET-82-15 و ET-82-17 به همراه رقم رایج Junillo-92 پس از ضدعفونی و تعیین قوه نامیه در داخل سینی نشاء کشت شد و گیاهچه‌های دو برگی به داخل بستر آماده شده در تیوب های پلاستیکی با قطر دهانه ۹۰ میلیمتر و ارتفاع ۱۰۰۰ میلیمتر که با خاکی لومی پر شده بودند، کشت شدند (۱). به منظور یکنواختی محیط خاک و پرهیز از تفکیک ذرات خاک بر اساس اندازه در هنگام پر کردن تیوب های پلاستیکی ذرات خاک کاملا خشک نبود. لایه‌های خاک به ارتفاع ۱۰–۵ سانتیمتر ریخته و سپس کوبیده شد. جهت ثبات و پایداری تیوب ها و نیز جلوگیری از نفوذ نور و سبز شدن ریشه هر یک از تیوپ ها در لوله هایی از جنس پلی اتیلن سیاه رنگ قرار گرفتند. گیاهان مربوط به تیمار شرایط مساعد رطوبتی به گونه‌ای انجام شد که خاک هر تیوپ در محدوده عمق توسعه ریشه در حد ظرفیت زراعی باقی بماند و تیمارهای مربوط به تنش کمبود آب در زمان استقرار کامل گیاه و پس از رسیدن رطوبت خاک به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، با مقدار ثابت آب (ثابت در هر آبیاری به طوری که خاک هر تیوپ در محدوده عمق توسعه ریشه به ظرفیت زراعی برسد)، انجام شد.

در زمان رسیدگی محصول، قسمت هوایی گیاه از سطح خاک قطع شد و عملکرد دانه هر بوته اندازه گیری شد. به دلیل زمان‌بر بودن روند شستشوی ریشه‌ها و نیز به منظور کاهش تغییرات ناشی از فعالیت میکروارگانیسم‌ها و حذف بخش هوایی، تیوب ها به سردخانه با دمای ۴ درجه منتقل شدند. برای جدا کردن ریشه از خاک، ابتدا کیسه پلاستیکی را از درون لوله‌ی رشد خارج کرده و پس از برش طولی در حالی که بر روی تور سیمی و درون تشت آب قرار داشت ریشه‌ها با آب جاری و به آرامی از خاک جدا شد تا به این ترتیب آسیب کمتری به ریشه‌ها و آرایش آن وارد شود. سپس ریشه‌ها پس از توزین و اندازه‌گیری طول، به قطعات ۲۰ سانتیمتری تفکیک شده و پس از رنگ آمیزی با ماده شیمیایی متیلن بلو با استفاده از اسکنر کامپیوتری و نرم افزار Delta T-scan ویژگی هایی همچون سطح، طول تجمعی و قطر ریشه‌ها تعیین شدند. سپس داده‌های به دست آمده برای هر یک از صفات، مورد تجزیه‌ی واریانس قرار گرفته و

محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

وزن خشک کل ریشه

تنش کمبود آب وزن خشک ریشه هر بوته را در سطح احتمال ۱٪ تحت تاثیر قرار داد (جدول۱). کمبود رطوبت باعث کاهش حدود ۴۵ درصدی وزن خشک ریشه شد. اختلاف ۵۰ درصدی بین بیشترین وزن خشک ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین وزن در ET-82-8 از نظر آماری معنی دار بود (جدول ۱). از نظر وزن ریشه دو نوع الگوی کاملا متفاوت در ژنوتیپ های تریتیکاله مشاهده شد. کاهش حدود ۵۰ درصدی بین بیشترین وزن خشک ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین وزن در ET-82-8 به خوبی نشان می‌دهد که به غیر از لاین ET-82-15 بقیه ژنوتیپ ها توانایی کمتری در حفظ رشد ریشه تحت شرایط خشکی را دارند (جدول۲). در واقع با پیشرفت تنش خشکی همچنان که فتوسنتز برگ کاهش پیدا می کند، احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی در گیاهان و به دنبال آن رشد ریشه به طور اجتناب ناپذیری متوقف می گردد. بنابراین به ویژه در گیاهان حساس، رشد و نمو ریشه در شرایط خشکی نسبت به شرایط فراهمی رطوبت کاهش می یابد (۲۰ و۲۲). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه هر بوته نداشت (جدول۱).

توزیع وزن خشک ریشه در اعماق مختلف

تنش کمبود آب وزن خشک ریشه هر بوته را در عمق ۰-۲۰ سانتی متر را تحت تاثیر قرار داد (جدول۳). کمبود رطوبت باعث کاهش حدود ۴۵ درصدی وزن خشک ریشه شد. اختلاف حدود ۵۰ درصدی بین بیشترین وزن خشک ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین وزن در ET-82-8 از نظر آماری معنی دار نشد (جدول۴). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه هر بوته نداشت. تنش کمبود آب وزن خشک ریشه هر بوته را در اعماق ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی متر را در سطح احتمال ۱٪ تحت تاثیر قرار نداد (جدول۳). تنش کمبود آب باعث کاهش حدود ۳۶/۹ درصدی وزن خشک ریشه در عمق ۲۰-۴۰ شد، اما این افزایش از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نشد (جدول ۳ و۴). اختلاف حدود ۵۰ درصدی بین بیشترین وزن خشک ریشه در لاین ET-82-8 نسبت به کمترین وزن در رقم Junillo-92 در عمق ۲۰-۴۰ از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نشد (جدول۴). در عمق ۴۰-۶۰ سانتی متری تنش کمبود آب باعث کاهش ۳۷/۵ درصدی وزن خشک ریشه شد، اما این کاهش از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نشد (جدول ۳ و ۴). اختلاف ۶۰ درصدی بین بیشترین وزن خشک ریشه در لاین های ET-82-15، ۸-۸۲-ET و ET-82-17 نسبت به کمترین وزن در رقم Junillo-92 در عمق ۴۰-۶۰ از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نشد (جدول ۴). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه هر بوته در اعماق ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ نداشت (جدول ۳).

سطح کل ریشه

سطح کل ریشه بوته تحت تاثیر تنش کمبود آب قرار گرفت (جدول ۱). تنش کمبود آب منجر به کاهش حدود ۳۲ درصدی سطح کل ریشه بوته شد (جدول ۲). اختلاف بین بیشترین سطح کل ریشه (۴۴۲۹ میلی متر مربع) متعلق به لاین ET-82-15 با کمترین سطح در لاین ET-79-17 معنی دار بود (جدول ۱ و۲). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۱). در هنگام وقوع خشکی محتوای رطوبتی خاک به شدت کاهش می یابد، بنابراین اندک مولکول های آب موجود در خاک تحت این شرایط به وسیله نیروی مکش زیادی از طرف ذرات ریز خاک (پتانسیل ماتریک خاک) به شدت جذب می شوند. بنابراین جهت قابل دسترس ساختن این مقدار آب برای گیاهان که بسیار حیاتی است باید سطح تماس بین ریشه ها و ذرات خاک افزایش یابد. در لاین ET-82-15 با پیشرفت تنش خشکی، سطح کل ریشه به تدریج افزایش یافت به گونه ای که با ۴۵/۲ افزایش نسبت به لاین ET-79-17 بالاترین مقادیر این صفت را در بین ژنوتیپ های تریتیکاله به خود اختصاص داد. گنجعلی و همکاران (۴) بیان داشتند که افزایش سطح ریشه در زمان تنش های خشکی از طریق افزایش نقاط ورودی آب و عناصر غذایی و همچنین به وسیله افزایش سطح جذب، می تواند کارایی جذب آب و عناصر را افزایش دهد.

تنش کمبود آب سطح کل ریشه بوته را در عمق ۰-۲۰ سانتی متر را در سطح احتمال ۵ ٪ تحت تاثیر قرار نداد (جدول۳). تاخیر در آبیاری باعث کاهش حدود ۲۱/۴ درصدی سطح کل ریشه شد. اختلاف حدود ۳۲/۴ درصدی بین بیشترین سطح کل ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین سطح در ET-79-17 از نظر آماری در سطح احتمال ۵درصد معنی دار نشد (جدول ۳ و ۴). در عمق ۲۰-۴۰ سانتی متری تنش کمبود آب سبب کاهش۴۲ درصدی سطح کل ریشه شد که این کاهش از نظر آماری در سطح احتمال ۵درصد معنی دار بود (جدول ۳ و ۴). اختلاف ۶۵ درصدی بین بیشترین سطح کل ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین سطح در ET-79-17 از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد (جدول۳).

تنش کمبود آب سطح کل ریشه بوته را در عمق ۴۰-۶۰ سانتی متری را در سطح احتمال ۵درصد تحت تاثیر قرار داد (جدول۳). تاخیر

در آبیاری باعث کاهش حدود ۷۷ درصدی سطح کل ریشه شد.

جدول۱- مقادیر درجه آزادی و سطح احتمال معنی دار بودن برخی ویژگی‌های ژنوتیپ های تریتیکاله تحت تاثیر تنش کمبود آب

منابع تغییر	درجه آزادی	عمق ریشه (cm)	وزن خشک کل ریشه هر بوته (g)	سطح کل ریشه (mm^2)	طول تجمعی (mm)	قطر ریشه (mm)
		Pr > F				
رژیم آبیاری	۱	NS	**	**	*	NS
ژنوتیپ	۳	NS	*	*	**	NS
رژیم آبیاری× ژنوتیپ	۱	NS	NS	NS	NS	NS

*، ** و NS- به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی دار

اختلاف ۵۹ درصدی بین بیشترین سطح کل ریشه در لاین ET-82-8 نسبت به کمترین سطح در رقم Junillo-92 از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد (جدول ۵ و۸). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر سطح کل ریشه هر بوته نداشت (جدول۳).

نفوذ عمقی ریشه

عمق ریشه بوته در سطح احتمال ۵٪ تحت تاثیر تنش کمبود آب قرار نگرفت. با این حال تنش کمبود آب، منجر به افزایش حدود ۹ درصدی عمق توسعه ریشه هر بوته شد. ژنوتیپ و برهمکنش آن با تنش کمبود آب نیز تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول۱). تفاوت عمیق ترین عمق ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به سطحی ترین عمق در رقم Junillo-92 حدود ۸/۲ سانتی متر بود. (جدول۲). در شرایط تنش خشکی، عمق ریشه بیشتر می تواند سبب شود که آب از اعماق پایین تری جذب شده و دسترسی منابع آب بیشتری را فراهم کند. یکی از جنبه های اجتناب از تنش، دور ماندن از شرایط نقصان آب خاک و رسیدن به لایه های عمیق تر می باشد. کیان و فرای (۲۳) با اندازه گیری محتوای رطوبت حجمی خاک در اعماق مختلف نشان دادند که رطوبت در لایه های سطحی خاک تحت شرایط خشکی، به سرعت کاهش می یابد در صورتی که از محتوای رطوبتی خاک در اعماق پایین تر به کندی کاسته می شود. بنابراین بدیهی است که بیشترین طول ریشه جهت جلوگیری بروز خسارت در تنش های شدید دیده می شود.

طول تجمعی ریشه

تنش کمبود آب طول تجمعی ریشه هر بوته را در سطح احتمال ۵درصد تحت تاثیر قرار داد (جدول۱). کمبود رطوبت باعث کاهش ۲۵ درصدی طول تجمعی ریشه شد. اختلاف ۴۳ درصدی بین بیشترین طول تجمعی ریشه در لاین ET-82-15نسبت به کمترین آن در ET-79-17 از نظر آماری در سطح احتمال ۱درصد معنی دار شد (جدول ۱ و ۲). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر طول تجمعی ریشه هر بوته نداشت (جدول ۱).

تنش کمبود آب طول تجمعی ریشه هر بوته در عمق ۲۰-۰ سانتی متری را در سطح احتمال ۱درصد تحت تاثیر قرار نداد (جدول ۳). هر چند کاهش ۳۲ درصدی بین بیشترین طول تجمعی ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین میزان آن در Junillo-92 مشاهده شد ولی این اختلاف از نظر آماری معنی دار نشد (جدول ۴).

جدول۲- مقایسه میانگین های[1] صفات اندازه گیری شده در برخی ویژگی‌های ژنوتیپ های تریتیکاله تحت تاثیر تنش کمبود آب

عامل آزمایشی	سطح	صفات				
		عمق ریشه (cm)	وزن خشک کل ریشه (g)	سطح کل ریشه (mm^{-2})	طول تجمعی (mm)	قطر ریشه (mm)
الگوی آبیاری	۱۰۰	۳۳/۹^{a}	۰/۴۳۲^{a}	۸۸۴۰^{a}	۱۱۳۹۳^{a}	۰/۷۷۸^{a}
	۵۰	۳۷/۲^{a}	۰/۲۳۷^{b}	۶۰۴۲^{b}	۸۵۳۸^{b}	۰/۵۱۲^{a}
تنش(٪۵)LSD		۱۲/۳	۰/۱۱۱	۲۰۸۵	۲۴۸۰	۰/۳۵۷
ژنوتیپ	ET-82-15	۴۳/۱^{a}	۰/۴۷۹^{a}	۹۷۸۹^{a}	۱۲۴۴۳^{a}	۰/۶۴۳^{a}
	ET-82-8	۴۲/۵^{a}	۰/۲۴۱^{b}	۶۵۵۳^{b}	۸۵۲۹^{bc}	۰/۸۹۴^{a}
	ET-79-17	۳۵/۹^{a}	۰/۲۹۷^{b}	۵۳۶۰^{b}	۷۰۹۸^{c}	۰/۴۹۸^{a}
	Juanillo-92	۳۴/۹^{a}	۰/۳۲۰^{b}	۸۰۶۱^{ab}	۱۱۷۹۱^{ab}	۰/۵۰۹^{a}
ژنوتیپ(٪۵)LSD		۹/۰۲	۰/۱۵۷	۲۹۴۹	۳۵۰۷	۰/۵۰۶

۱-در هر ستون برای هر عامل آزمایشی میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند.

برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر طول تجمعی ریشه هر بوته در عمق ۲۰-۰ نداشت (جدول ۳). در مورد عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری این اختلاف از نظر آماری در سطح احتمال ۱درصد معنی دار شد (جدول ۳). در این عمق اختلاف حدود ۵۱/۷ درصدی بین بیشترین طول تجمعی ریشه در رقم Junillo-92 نسبت به کمترین آن در ET-79-17 از نظر آماری در سطح احتمال ۱درصد معنی دار شد (جدول‌های ۳ و ۴). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر طول تجمعی ریشه هر بوته در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری نداشت (جدول ۳).

در عمق ۶۰-۴۰ سانتی‌متری اختلاف حدود ۷۲/۷ درصدی بین بیشترین طول تجمعی ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین آن در ET-79-17 از نظر آماری معنی دار نشد (جدول ۳ و ۴). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر طول تجمعی ریشه هر بوته در عمق ۶۰-۴۰ سانتی‌متری نداشت (جدول۳).

قطر ریشه

قطر ریشه در سطح احتمال ۵درصد تحت تاثیر تنش کمبود آب قرار نگرفت (جدول۲). تنش کمبود آب منجر به کاهش ۳۴/۲ درصدی قطر ریشه شد. در واقع تولید ریشه های نازک تر در پاسخ به تنش خشکی می تواند یک استراتژی مناسب در گیاهان تحت تنش باشد تا بدین ترتیب جذب و استفاده از مواد غذایی در آنها با حداقل انرژی افزایش یابد. ساخت ریشه های نازک برای گیاه بسیار ساده و کم هزینه بوده ولی از آنجا که سطح بیشتری در هر واحد وزن دارا می باشند، برای جذب و استفاده مواد غذایی و آب بسیار مهم و موثرند. هوفر (۱۴) در مورد ارقام تال فسکیو[1] (*Festuca arundinacea*) اظهار داشت که کاهش ضخامت ریشه از طریق افزایش سطح تماس ریشه ها و ذرات خاک به ویژه قبل از خشکی شدید، افزایش سازگاری و تحمل به خشکی می شود. تحقیقات هومس (۱۵) نشان داد که دلیل اصلی کاهش ضخامت ریشه و تولید تارهای کشنده، اسید آبسیزیکی است که در زمان تنش خشکی در گیاه تجمع پیدا می کند.

اختلاف بین بیشترین قطر ریشه متعلق به لاین ET-82-8 با کمترین قطر در لاین ET-79-17 معنی دار نبود (جدول۲). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۱).

تنش کمبود آب قطر ریشه هر بوته را در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری را تحت تاثیر قرار نداد (جدول۲). هر چند کاهش ۱۷ درصدی بین بیشترین قطر ریشه در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین میزان آن در Junillo-۹۲ مشاهده شد ولی این اختلاف از نظر آماری معنی دار نشد (جدول ۴). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر قطر ریشه هر بوته در عمق ۲۰-۰ نداشت (جدول ۳). در عمق ۴۰-۲۰ اختلاف حدود ۲۶/۳ درصدی بین بیشترین قطر ریشه در لاین ET-79-17 نسبت به کمترین آن در رقم Junillo-۹۲ از نظر آماری در سطح احتمال ۱درصد معنی دار شد (جدول‌های ۳ و ۴). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر طول تجمعی ریشه هر بوته در عمق ۴۰-۲۰ نداشت (جدول ۳).

در عمق ۶۰-۴۰ اختلاف حدود ۵۳/۳ درصدی بین بیشترین قطر ریشه در لاین ET-82-8 نسبت به کمترین آن در ET-79-17 از نظر آماری در سطح احتمال ۱درصد معنی دار نشد (جدول‌های ۳ و ۴). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر قطر ریشه هر بوته در عمق ۶۰-۴۰ نداشت (جدول ۳).

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته تحت تاثیر تنش کمبود آب قرار گرفت (جدول ۵). تنش کمبود آب منجر به کاهش ۱۰ درصدی ارتفاع بوته شد. اختلاف بین بیشترین سطح کل ریشه (۱۵/۸ سانتی‌متر) متعلق به لاین ET-82-15 با کمترین سطح در لاین ET-79-17 معنی دار بود (جدول ۶). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۵).

تعداد پنجه

تنش کمبود آب تعداد پنجه هر بوته را تحت تاثیر قرار نداد (جدول ۵). با این حال باعث کاهش حدود ۱۷ درصدی تعداد پنجه هر بوته شد. اختلاف حدود ۱۸ درصدی بین بیشترین تعداد پنجه هر بوته در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین تعداد در لاین ET-79-17 معنی دار نشد (جدول ۶). همچنین برهمکنش ژنوتیپ و رژیم آبیاری تاثیر معنی‌داری بر تعداد پنجه هر بوته نداشت (جدول ۵).

تعداد پنجه بارور

تعداد پنجه بارور در سطح احتمال ۱٪ تحت تاثیر تنش کمبود آب قرار گرفت (جدول ۵). تنش کمبود آب منجر به کاهش حدود ۴۲ درصدی تعداد پنجه بارور در بوته شد. اختلاف بین بیشترین تعداد پنجه بارور (۰/۶۳) متعلق به لاین ET-82-15 و رقم Juanillo-92 با کمترین تعداد در لاین ET-79-17 معنی دار نبود (جدول ۶). همچنین برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۵).

عملکرد بیولوژیک بوته

تنش کمبود آب عملکرد بیولوژیک هر بوته را در سطح احتمال ۱٪ تحت تاثیر قرار داد (جدول ۵). تاخیر در آبیاری باعث کاهش ۳۷

1- Tall fescue

درصدی عملکرد بیولوژیک هر بوته شد. اختلاف حدود ۲۹ درصدی بین بیشترین عملکرد بیولوژیک هر بوته در لاین ET-82-15 نسبت به کمترین در ET-79-17 در سطح احتمال ۵درصد معنی دار شد (جدول ۶). همچنین برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه هر بوته نداشت (جدول ۵).

شاخص برداشت

تنش کمبود آب شاخص برداشت هر بوته را به طور معنی دار تحت تاثیر قرار نداد (جدول ۵). با این حال تاخیر در آبیاری باعث افزایش ۱۰ درصدی این شاخص شد. همچنین اختلاف حدود ۱۸ درصدی بین بیشترین شاخص برداشت هر بوته در لاین ET-79-17 نسبت به کمترین در ET-82-15 معنی دار نشد (جدول ۶). برهمکنش ژنوتیپ و تنش کمبود آب تاثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه هر بوته نداشت (جدول ۵).

بحث

به علت سختی کار مطالعه ریشه و نیز عدم توجه کافی پژوهشگران کشور، توجه به ویژگی های این اندام زیرزمینی مهم و تبیین نقش آن در تولید محصولات زراعی سال های زیادی است که در اولویت نبوده است. از سوی دیگر با توجه به نوع اقلیم کشور که در آن تنش کمبود آب از دغدغه های پیش رو در تولید محصولات زراعی در شرایط آبی و دیم محسوب می شود، تفکیک اهمیت ویژگی‌های مورفولوژیک ریشه در شرایط متفاوت رطوبتی در ایجاد چشم انداز مناسب در برنامه های اصلاح گیاهان زراعی کمک خواهد نمود.

جدول۳- مقادیر درجه آزادی و سطح احتمال معنی دار بودن برخی ویژگی‌های ریشه ژنوتیپ های تریتیکاله در لایه های صفر الی ۶۰ سانتی متری سانتی متری تحت تاثیر تنش کمبود آب

منابع تغییر	درجه آزادی	سطح ریشه (mm^{-2})			قطر ریشه (mm)			طول تجمعی (mm)			وزن خشک ریشه (g)		
		عمق ۰-۲۰	عمق ۲۰-۴۰	عمق ۴۰-۶۰	عمق ۰-۲۰	عمق ۲۰-۴۰	عمق ۴۰-۶۰	عمق ۰-۲۰	عمق ۲۰-۴۰	عمق ۴۰-۶۰	عمق ۰-۲۰	عمق ۲۰-۴۰	عمق ۴۰-۶۰
		Pr > F											
رژیم آبیاری	۱	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	**	NS	NS
ژنوتیپ	۳	NS	**	NS	NS	*	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS
آبیاری × ژنوتیپ	۱	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

*، ** و NS- به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی دار

جدول۴- مقایسه میانگین های مشخصات ریشه ژنوتیپ های تریتیکاله در لایه های صفر الی ۶۰ سانتی متری تحت تاثیر تنش کمبود آب

عامل آزمایشی	سطح ریشه (mm^{-2})			قطر ریشه (mm)			طول تجمعی (mm)			وزن خشک ریشه (g)		
	عمق ۰-۲۰	عمق ۲۰-۴۰	عمق ۰-۲۰	عمق ۰-۲۰	عمق ۲۰-۴۰	عمق ۴۰-۶۰	عمق ۰-۲۰	عمق ۲۰-۴۰	عمق ۴۰-۶۰	عمق ۰-۲۰	عمق ۲۰-۴۰	عمق ۴۰-۶۰
۱۰۰	۵۳۰۱^{a}	۳۰۱۶^{a}	۵۲۱^{a}	۰/۹۲۶^{a}	۰/۶۴۸^{a}	۰/۳۲۰^{a}	۵۹۱۰^{a}	۴۴۷۳^{a}	۱۰۰۹^{a}	۰/۳۵۶^{a}	۰/۰۶۵^{a}	۰/۰۰۸^{a}
۵۰	۴۱۶۷^{a}	۱۷۵۴^{b}	۱۲۰^{b}	۰/۸۵۰^{a}	۰/۵۶۴^{a}	۰/۱۲۱^{a}	۴۹۷۶^{a}	۲۹۷۷^{b}	۵۸۳^{a}	۰/۱۹۸^{b}	۰/۰۴۱^{a}	۰/۰۰۵^{a}
ET-82-15	۵۶۹۵^{a}	۳۷۱۳^{a}	۳۸۰^{a}	۰/۹۴۷^{a}	۰/۷۳۸^{a}	۰/۲۴۴^{a}	۶۲۰۵^{a}	۴۷۵۳^{a}	۱۴۸۴^{a}	۰/۳۷۲^{a}	۰/۰۰۵^{a}	۰/۰۰۵^{a}
ET-82-8	۵۳۰۱^{a}	۱۵۴۷^{b}	۴۸۴^{b}	۰/۹۳۰^{a}	۰/۶۴۰^{ab}	۰/۲۹۸^{a}	۶۱۲۸^{a}	۲۵۲۰^{b}	۷۷۹^{a}	۰/۲۰۹^{a}	۰/۰۰۶^{a}	۰/۰۰۵^{a}
ET-79-17	۳۸۴۹^{a}	۱۲۸۹^{b}	۲۲۱^{b}	۰/۸۹۲^{a}	۰/۵۰۳^{b}	۰/۱۳۹^{a}	۵۲۲۹^{a}	۲۴۸۳^{b}	۴۰۴^{a}	۰/۲۷۱^{a}	۰/۰۰۴^{a}	۰/۰۰۵^{a}
Juanillo-92	۴۸۷۲^{a}	۲۹۹۰^{a}	۱۹۸^{a}	۰/۷۸۴^{a}	۰/۵۴۴^{b}	۰/۲۰۱^{a}	۴۲۱۰^{a}	۵۱۴۳^{a}	۵۱۸^{a}	۰/۲۵۶^{a}	۰/۰۰۳^{a}	۰/۰۰۲^{a}

در هر ستون برای هر عامل آزمایشی میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ۵- مقادیر درجه آزادی و سطح احتمال معنی دار بودن برخی ویژگی‌های ژنوتیپ های تریتیکاله تحت تاثیر تنش کمبود آب

منابع تغییر	درجه آزادی	تعدادپنجه هر بوته	تعدادپنجه بارور هر بوته	عملکرد دانه (g)	عملکرد کاه (g)	نسبت ریشه به شاخساره	عملکرد بیولوژیک بوته (g)	شاخص برداشت بوته (٪)	ارتفاع گیاه (cm)
					$Pr > F$				
رژیم آبیاری	۱	NS	**	**	**	**	**	NS	**
ژنوتیپ	۳	NS	NS	NS	**	NS	*	NS	**
رژیم آبیاری× ژنوتیپ	۱	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

در هر ستون برای هر عامل آزمایشی میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ٦- مقایسه میانگین های صفات اندازه گیری شده در برخی ویژگی‌های ژنوتیپ های تریتیکاله تحت تاثیر تنش کمبود آب

عامل آزمایشی	تعدادپنجه هر بوته	تعدادپنجه بارور هر بوته	عملکرد دانه (g)	عملکرد کاه (g)	نسبت ریشه به شاخساره	عملکرد بیولوژیک بوته(g)	شاخص برداشت بوته(٪)	ارتفاع گیاه (cm)
۱۰۰	۳/۳۱a	۳/۲۵a	۲/۱۱a	۲/۳۸a	۰/۰۷۷a	۵/۸۷a	۳۶/۸a	a۷۱/۳
۵۰	۲/۷۵^{a}	۱/۸۷^{a}	۱/۴۹^{b}	۱/۴۴^{b}	۰/۰۷۰^{a}	۳/۶۸^{b}	۴۰/۷^{a}	^{b}۶۴/۳
LSD(٪۵)تنش	۰/۸۲۴	۰/۶۷۳	۰/۴۰	۰/۳۷	۰/۰۲۶	۰/۸۶	۵/۰۳	۴/۸۷
ET-82-15	۳/۳۷^{a}	۲/۷۵^{a}	۱/۸۰^{a}	۲/۵۲^{a}	۰/۰۱۰۲^{a}	۵/۵۹^{a}	۳۳/۸^{a}	^{a}۷۵/۰
ET-82-8	۳/۱۲^{a}	۲/۶۲^{a}	۱/۷۳^{a}	۱/۶۳^{bc}	۰/۰۵۷^{a}	۴/۴۰^{ab}	۴۰/۱^{a}	^{b}۶۱/۹
ET-79-17	۲/۷۵^{a}	۲/۱۲^{a}	۱/۶۱^{a}	۱/۴۱^{c}	۰/۰۷۰^{a}	۳/۹۷^{b}	۴۱/۶^{a}	^{b}۵۹/۷
Juanillo-92	۲/۸۷^{a}	۲/۷۵^{a}	۲/۰۶^{a}	۲/۰۷^{b}	۰/۰۶۴^{a}	۵/۱۴^{ab}	۳۹/۶^{a}	^{a}۷۴/۷
LSD(٪۵)ژنوتیپ	۱/۱۶	۰/۹۵۲	۰/۵۷	۰/۵۰	۰/۰۴۷	۱/۲۱	۸/۵۰	۶/۸۹

در هر ستون برای هر عامل آزمایشی میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند.

در شرایط عادی وجود ریشه های پر تراکم در قسمت های بالایی خاک، عامل عمده جذب آب برای گیاه در نظر گرفته می شود به این صورت که در شرایط رطوبتی مناسب، ریشه ها قادرند آب را به سادگی از لایه های سطحی جذب نمایند و نقش ریشه های موجود در لایه های عمقی در جذب آب اندک است (۱۲ و ۱۶). اما در طول فصل رشد ممکن است قسمت های فوقانی پروفیل خاک که تراکم ریشه در آن بیشتر است با خشکی مواجه شود، ولی با این وجود گیاه قادر است به فعالیت های حیاتی خود ادامه دهد. بنابراین در این حالت بخش های تحتانی که تراکم ریشه در آن ها کمتر است ولی دارای رطوبت مناسبی هستند، مسئول جذب آب برای گیاه می باشند. به عبارت دیگر گیاه با تغییر الگوی حداکثر جذب آب به طرف ریشه‌های با تراکم کمتر (از طریق افزایش فعالیت آنها) به رشد و نمو خود ادامه می دهد (۷ و ۱۹). یافته های مطالعه حاضر نشان داد که کمبود آب منجر به عمیق تر شدن ریشه ژنوتیپ های مورد مطالعه شد هر چند این افزایش از نظر آماری معنی دار نبود (جدول ۲). این مشاهده با توجه به تلاش گیاه برای بهره گیری از آب قابل دسترس خاک در عمق های پایین تر قابل توجیه است. تنش کمبود آب سطح کل ریشه، طول تجمعی و وزن خشک ریشه چهار ژنوتیپ مورد مطالعه را کاهش داد (جدول ۲) که با توجه به تاثیر کمبود آب بر کاهش ظرفیت پروتوپلاسم، به طور مستقیم و کاهش سطح برگ و بستن روزنه ها، به طور غیر مستقیم فعالیت های فتوسنتزی گیاه کاهش یافته و به دنبال آن انتقال مواد غذایی کمتر به بخش زیر زمینی گیاه قابل پیش بینی است (۱). یانگ و همکاران (۳۱) نیز بر محدود شدن وزن ریشه گندم در شرایط تنش خشکی اشاره کردند و میزان این محدودیت را به مدت زمان اعمال تنش و زمان وقوع آن بر حسب مرحله رشدی گیاه منوط دانستند. بنابراین همزمان با کاهش طول تجمعی که معمولا کاهش سطح کل ریشه را در پی دارد، وزن خشک کل ریشه کاهش یافته است.

در بین ژنوتیپ های مورد مطالعه، لاین ET-82-15 دارای عمق ریشه، سطح کل ریشه، وزن خشک کل ریشه و طول تجمعی بیشتری بوده است (جدول ۲). هچنین این لاین دارای تعداد پنجه در هر بوته، تعداد پنجه بارور در هر بوته و عملکرد بیولوژیک بوته بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ ها بوده است (جدول ۶).

جدول ۷- ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش کمبود آب

صفات	سطح ریشه	طول ریشه	قطر ریشه	وزن خشک ریشه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	نسبت ریشه به ساقه	وزن خوشه	تعداد پنجه	تعداد پنجه بارور	وزن ساقه
سطح ریشه	۱											
طول ریشه	۰/۸۸۷ **	۱										
قطر ریشه	۰/۵۷۸ *	۰/۳۲۶	۱									
وزن خشک ریشه	۰/۹۲۱ **	۰/۷۵۹ **	۰/۶۴۱ **	۱								
عملکرد دانه	۰/۵۰۱ *	۰/۵۷۲ *	۰/۳۹۱	۰/۲۷۱	۱							
عملکرد بیولوژیک	۰/۷۶۰ **	۰/۷۹۱ **	۰/۶۴۹	۰/۶۰۰ *	۰/۸۸۴ **	۱						
شاخص برداشت	-۰/۳۹۵	-۰/۳۰۳	-۰/۱۲۵	-۰/۵۴۲ *	۰/۳۶۶	-۰/۰۷۸	۱					
نسبت ریشه به ساقه	۰/۵۸۰ *	۰/۳۹۵	۰/۵۲۵ *	۰/۷۷۱ *	-۰/۲۳۰	۰/۰۲۴	-۰/۵۰۳ *	۱				
وزن خوشه	۰/۴۰۲	۰/۵۱۷ *	۰/۲۲۲	۰/۱۸۶	۰/۹۱۲ **	۰/۸۸۶ **	۰/۱۸۴	-۰/۴۲۵	۱			
تعداد پنجه	۰/۷۸۶ **	۰/۶۸۷ **	۰/۵۷۲ *	۰/۸۱۷ **	۰/۳۷۹	۰/۶۷۲ **	-۰/۴۵۴	۰/۴۷۹ *	۰/۳۸۳	۱		
تعداد پنجه بارور	۰/۵۰۴ *	۰/۷۱۲ **	۰/۱۰۹	۰/۳۳۲	۰/۶۶۲ **	۰/۷۱۲ **	۰/۰۲۹	-۰/۱۰۳	۰/۶۹۵ **	۰/۵۲۴ *	۱	
وزن ساقه	۰/۹۵۰ **	۰/۸۷۰ **	۰/۶۱۳ **	۰/۹۱۱ **	۰/۵۳۹ *	۰/۷۸۷ **	-۰/۳۷۴	۰/۶۰۰ *	۰/۴۱۳	۰/۷۹۲ **	۰/۴۷۵	۱

*، ** و NS- به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی دار

راندمان بیشتر ممکن است ناشی از سازوکارهای گوناگون شامل افزایش سرعت توسعه ریشه، افزایش انشعابات ریشه (۲۲)، افزایش سرعت جذب در واحد سطح یا وزن ریشه (۹)، افزایش نسبت ساقه به ریشه (۶ و ۱۳) افزایش تعداد و طول ریشه های مویین (۱۱)، افزایش ترشحات ریشه (۲۲) و بالابردن میزان همزیستی با قارچ میکوریزا (۱۳) که سبب کاهش نیاز به مواد غذایی و آب برای رشد می شود باشد. دیویس (۸) نیز کاهش تعداد میکروارگانیسم ها را که در شرایط بهینه رطوبتی و دمایی در خاک از طریق ترشح مواد آلی شرایط تغذیه‌ای را برای رشد طولی بهتر ریشه فراهم می کنند، علت کاهش عملکرد در شرایط تنش رطوبتی بیان نمود.

در شرایط مساعدتر رطوبتی دسترسی به مواد غذایی بیشتر و سهم بیشتر از بخش هوایی منجر به تولید ریشه های قطورتر می شود. این در حالی است که در شرایط تنش کمبود آب راهبرد ظریف تر شدن ریشه ها دسترسی به سطح بیشتری از خاک را فراهم می کند. در همین رابطه ویرسم (۳۰) اظهار داشت که در خاک خشک ریشه های گندم (*Triticum aestivum*) نازک تر، طویل تر و دارای انشعاب کمتری بودند. از طرفی خشکی بیش از حد خاک از توسعه ریشه های مویین جلوگیری به عمل می آورد.

ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شرایط تنش کمبود آب نشان داد به استثنای همبستگی بین طول و قطر ریشه همه خصوصیات مورد مطالعه ریشه همبستگی مثبت و معنی داری از نظر آماری با یکدیگر دارند (جدول ۷). در شرایط تنش، ضرایب همبستگی ساده بین سطح ریشه و صفات طول ریشه، قطر ریشه، وزن خشک ریشه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، نسبت ریشه به ساقه، تعداد پنجه، تعداد پنجه بارور و وزن ساقه مثبت و از نظر آماری معنی دار بود (جدول ۷). تورچی و همکاران (۲) در آزمایشی که بر روی تعدادی از ژنوتیپ های کلزا (*Brassica napus*) انجام دادند دریافتند که در شرایط تنش کمبود آب، ضرایب همبستگی ساده بین وزن خشک ریشه و صفات ضخامت، حجم، حداکثر طول ریشه و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی مثبت و معنی دار است. با توجه به نتایج حاصل شده می توان گفت که در شرایط تنش کمبود آب اغلب صفات ریشه تاثیر مثبت و معنی داری بر روی خصوصیات بخش هوایی مانند عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، نسبت ریشه به ساقه، تعداد پنجه، تعداد پنجه بارور و وزن ساقه داشتند. به نظر می رسد که طول تجمعی ریشه و سطح ریشه از ویژگی های موثر این ژنوتیپ ها در تولید عملکرد دانه تحت شرایط تنش کمبود آب بوده است.

همچنین با آن که تراکم ریشه در جذب آب نقش مستقیمی دارد اما به هنگام وقوع تنش آبی در لایه های سطحی، فعالیت ریشه های کم تراکم عمقی در جذب آب افزایش و منطقه حداکثر جذب به اعماق منتقل می شود. تحقیق حاضر به منظور اثبات واقعیت توانایی گیاه در کنترل و جبران کمبود منابع آبی انجام گرفت. به نظر می رسد که از نتایج این گونه تحقیقات بتوان در جهت مدیریت مصرف منابع آب به‌خصوص در شرایط آبیاری زیر سطحی وکم آبیاری استفاده کرد.

منابع

۱- اشرفی، ع. ۱۳۸۶. بررسی گسترش ریشه و سایر صفات مورفولوژیک ارقام گندم دیم در دو رژیم رطوبتی و دو نوع خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲- تورچی، م.، ف. شیخ، م. ولیزاده، م. شکیبا و ب. پاسبان اسلام. ۱۳۸۴. رابطه خصوصیات مورفولوژیکی ریشه با مقاومت به کمبود آب در تعدادی از ژنوتیپ های کلزا (*Brassica napus* L.). مجله دانش کشاورزی.جلد ۱۵. شماره۳. صفحه ۱۵-۲۶.

۳- کافی، م. و ع. مهدوی دامغانی. ۱۳۷۹. مکانیسم های مقاومت گیاهان به تنش های محیطی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. تعداد صفحات

۴- گنجعلی، ع. ۱۳۸۴. بررسی جنبه های فیزیومورفولوژیک مقاومت به خشکی در ژنوتیپ های نخود. رساله دکتری زراعت. دانشگاه فردوسی مشهد.

۵- نقیبی، ع. ۱۳۸۷. نشریه تریتیکاله. سایت سازمان جهاد کشاورزی استان مرکزی.

6- Bouma,T. J., K. L. Nielsen, and B. Koutstaal. 2000. Sample preparation and scanning protocol for computerized analysis of root length and diameter. Plant Soil. 218: 185-196.

7- Braud, I., N. Varado and A. Olioso. 2005. Comparison of root-water-uptake modules using eitherCollected Abstracts. The 9th Int. Conf. on Plant Grow. Subs. Lausnne.

8- Davis, G. R. 1984. Effect of soil compaction on root growth of *Pinus radiate*. Proceeding of Symposium Site and Productivity of Fast Growing Plantations, South Africa, PP. 871-890.

9- Egle ,K., G. G. B. Manske, W. Romer and P. L. G. Vlek. 1999. Improved phosphorus efficiency of three new wheat genotypes from CIMMYT in comparison with an older Mexican variety. Journal of Plant Nutrition and Soil Science.162: 353-358.

10- Ekanayak, I. J., D. P. Garriiy, T. M. Masajo, and C. O. O'Tool. 1994. Root pulling resistance in rice inheritance and association with drought tolerance. Euphytica. 34:905-913.

11- Fohse D., N. Claassen and A. Jungk. 1991. Phosphorus efficiency of plants. II. Significance of root radius, root

hairs and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. Plant Soil. 132: 261-272.
12- Green, S. R., and B. E. Clothier. 1995. Root water uptake by kiwifruit vines following partial wetting of the root zone. Plant Soil. 173:317-328.
13- Hamblin, A., D. Tennant and M. W. Perry. 1990. The cost of stress: dry matter partitioning changes with seasonal supply of water and nitrogen to dry land wheat. Plant Soil. 122: 47-58.
14- Hofer, R. M. 1991. Root hairs. P. 129-148. In: Waisel et al.(ed.). Plant Roots: The hiden half. Marcel Dekker, Inc., New york.
15- Homes, J. 1999. Induction of root hairs from maize roots and abscisic acid. P. 148-149. In P.E. Pilet (ed.) Collected Abstracts. The 9th Int. Conf. on Plant Growth. Subs. Lausnne.
16- Huang, B., R. R. Duncan and R. N. Carrow. 1997. Drought-resistance mechanisms of seven warm season turf grasses under surface soil drying: II. Root Aspects. Crop Science. 37:1863-69.
17- Jensen, C. R., V. O. Mogensen, G. Mortensen, J. K. Fieldsend, G. F. J. Milford, M. N. Anderson, and J. H. Thage. 1996. Seed glucosinolate, oil and protein contents of field-grown rape(*Brassica napus* L) affected by soil drying and evaporative demand. Field Crop Research 47:93-105.
18- Levit, J. 1990. Response of plants to environmental stresses. Vol 2. Academic Press, New York.
19- Li, K. Y., R. D. Jong, and J. B. Boisvert. 2001. An exponential root water- uptake model with water stress compensation. Journal of Hydrology. 252:189–204.
20- Lu, Z., and P. M. Neumann. 1998. Water stressed maize, barley and rice seedling shoe species specific diversity in mechanisms of leaf growth inhibition. Journal of Experimental Botany. 49:1945-1952.
21- Manske, G. G. B., J. I. Ortiz-Monasterio, M. Van Ginkel, R. Gonzalez, S. Rajaram, E. Molina and P.L.G. V1ek. 2000. Traits associated with improved P-uptake. efficiency in CIMMYT's semidwarf spring bread wheat grown on an acid Andisol in Mexico. Plant Soil. 221: 189-204.
22- Neumann, G. and V. Romheld. 1999. Root excretion of carboxylic acids and protons in phosphorus-deficient plants. Plant Soil 211: 121-130.
23- Qian, Y. L., J. D. Fry, and W. S. Upham. 1997. Rooting and drought avoidance of warm-season turfgrass and tall fescue in Kansas. Crop Science. 37:905-910.
24- Richards, R. A. and J. B. Passioura. 1991. Seminal root morphology and water use of wheat. 1. Environmental effect. Crop Science. 21:249-252.
25- Sloane, R. J., R. P. Patterson, and T. E. Carter. 1990. Field drought tolerance of soybean plant introduction. Crop Science. 30: 118-123.
26- Toorchi, M., H. E. Shashidhar, T. M. Gireesha, and S. H. Hittalman. 2003. Performance of backcross involving transgressant double haploid lines in rice under contrasting moisture regimes: yield components and marker hetrozygosity. Crop Science. 43:102-112.
27- Tupitsyn, N. V., J. G. Waines and A. K. Lyashok. 1986. Water uptake by the root system of the spring wheats Botanicheskaya 3 and Orenburgskaya 7 in relation to their drought resistance. Plant Breeding Abs. 57: 809,815.
28- Venoprasad, R., H. E. Shashidhar, S. Hittalmmani, and G. S. Hemamalini. 2002. Tagging quantitative traits in rice (*Oryza sativa* L.) under contrasting moisture regimes. Euphytica. 128: 193-300.
29- White, J. W, and J. A. Castillo. 1989. Relative effect of root and shoot genotypes on yield of common bean under drought stress. Crop Science. 29: 360-362.
30- Wiersum, L. K. 1997. The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration of roots. Plant and Soil, 9: 75-85.
31- Yang, G. Y., Y. P. Lua, B. G. Li and X. Y. Liu. 2006. The response of winter wheat root to the period and the after-effect of soil water stress. Agricultural Sciences in China .5: 284-290.