نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۲، شماره ۱، بهار ۱۳۸۹، ص. ۱۵۷-۱۴۶

Journal of Agroecology
Vol. 2, No. 1, Spning 2010, p. 146-157

تأثیر محدودیت رطوبتی بر عملکرد و توزیع ماده خشک بین اندام‌های هوایی و ریشه تک بوته ژنوتیپ‌های تریتیکاله (*Triticosecale*×Wittmack) تحت شرایط کنترل شده

حمید رضا خزاعی[۱]، احمد نظامی[۱] و کوروش شجاعی نوفرست[۲*]

تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۲۰
تاریخ پذیرش:۸۹/۳/۲۲

چکیده

به منظور بررسی اثرات محدودیت رطوبتی برعملکرد و توزیع ماده خشک بین اندام‌های هوایی و ریشه ژنوتیپ‌های تریتیکاله (*Triticosecale*×Wittmack)، این آزمایش در سال۱۳۸۸ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل میزان رطوبت قابل دسترس خاک در دو سطح شاهد و تنش (به ترتیب آبیاری پس از تخلیه ۵۰ و ۷۵ درصد رطوبت قابل استفاده در منطقه ریشه) و چهار ژنوتیپ تریتیکاله (ET-۸۲-۸، ET-۸۲-۱۵، ET-۷۹-۱۷وJunillo-۹۲) بودند که به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که تیمار محدودیت رطوبتی سبب کاهش معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۱) عملکرد دانه به مقدار ۳۲ درصد شد، اما اثر ژنوتیپ و اثر متقابل تیمارها تاثیر معنی داری در عملکرد نداشتند.وزن خشک کل اندام‌های هوایی، وزن خشک ساقه و برگ و نیز سنبله با اعمال تیمار محدودیت رطوبتی کاهش یافتند. اعمال تیمار محدودیت رطوبتی سبب کاهش معنی دار ($P\leq$۰/۰۱) عمق نفوذ ریشه گردید، بطوریکه تیمار محدودیت رطوبتی سبب حدود ۱۶ درصد کاهش در عمق نفوذ ریشه شد. همچنین ژنوتیپ و برهمکنش محدودیت رطوبتیو ژنوتیپ تاثیر معنی داری (بترتیب $P\leq$۰/۰۵ و $P\leq$۰/۰۱) بر عمق نفوذ ریشه داشتند. وزن خشک ریشه تحت تاثیر تیمارهای محدودیت رطوبتی و ژنوتیپ قرارگرفت ($P\leq$۰/۰۱) اما اثر متقابل ژنوتیپ و محدودیت رطوبتیبر این صفت معنی‌دار نبود. اعمال تیمار محدودیت رطوبتی سبب حدود ۴۶ درصد کاهش در وزن خشک ریشه گردید. سطح کل ریشه نیز تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی و اثر متقابل آنها قرار گرفت. نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام‌های هوایی تحت تاثیر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محدودیت رطوبتی قرار گرفت ($P\leq$۰/۰۱)، اما تیمار محدودیت رطوبتی بر این صفات اثر معنی‌دار آماری نداشت. در نهایت نتایج نشان داد که ژنوتیپ ET-۸۲-۸ ضمن اینکه از خصوصیات رشدی بهتری در شرایط محدودیت رطوبتی برخوردار بود، شاخص حساسیت به تنش (DSI) کمتری نیز داشت که نشان‌دهنده حساسیت کمتر و احتمالاً پایداری بیشترعملکرد این رقم در شرایط محدودیت رطوبتی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پایداری، رشد ریشه، شاخص حساسیت به تنش، نسبت ریشه به ساقه

مقدمه

حیات همواره پهنه کنش‌ها و واکنش‌های متقابل میان اجزای زنده و غیر زنده می باشد. گیاهان به عنوان تولید کنندگان عرصه حیات، نقشی اساسی در بقاء و پایداری جوامع زیستی دارند. رشد و تولید گیاهان همواره تحت تأثیر عوامل مختلف زنده و غیرزنده بوده که این عوامل به گونه‌ای مثبت یا منفی، رشد، تولید و بقاء گیاهان و در نتیجه جوامع زیستی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. تعریف تنش در شرایط بیولوژیکی بسیار مشکل است زیرا شرایطی که برای یک گیاه تنش زا می‌باشد، ممکن است برای گیاه دیگری شرایط مطلوب باشد. کاربردی ترین تعریف برای تنش در شرایط بیولوژیکی را «نیرویی مخالف یا شرایطی که باعث محدود شدن فعالیت‌های طبیعی و حیات مطلوب یک سیستم بیولوژیکی نظیر گیاه شود» دانسته اند (Jones & Jones, 1989; Mahajan & Tuteja, 2005).

محدودیت رطوبتی زمانی ایجاد می‌شود که میزان جذب آب کمتر از میزان تعرق باشد. محدودیت رطوبتیمی تواند بر رشد، مورفولوژی، انشعاب‌دهی و روابط همزیستی ریشه تاثیر داشته باشد (Gregory, 2006). میزان حساسیت ریشه و اندام‌های هوایی به تنش خشکی متفاوت است. اندام‌های هوایی حساسیت بیشتری به محدودیت

۱ و ۲- به ترتیب به ترتیب دانشیار و دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: koshojaei@yahoo.com)

رطوبتی دارند و محدودیت نموی گیاه در اثر کمبود رطوبت خاک در قسمت‌های هوایی زودتر اتفاق می‌افتد (Gowing et al., 1990; Sharp & Lenoble, 2002; Sharp & Davies, 1989).

به نظر می‌رسد که تریتیکاله (*Triticosecale*×Wittmack) جایگزین خوبی برای غلات به خصوص گندم نان در شرایط محیطی نامناسب و یا در سیستم های کم نهاده باشد (Campuzano et al., 2008; Erekul & Kohn, 2006). تریتیکاله یک گونه جدید غله می باشد که به وسیله انسان و از ترکیب ژنوم‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) وچاودار (*Secale cereale* L.) به وجود آمده است. این گیاه تطابق خوبی در محدوده وسیعی از شرایط توام با تنگناهای محیطی (خشکی، بیماریهای برگی، سرما و محدودیت حاصلخیزی) در مناطق نیمه خشک دارد (Grzesiak et al., 2003; Naylor & Su, 1998). تریتیکاله در مقایسه با سایر گونه های گیاهی جزء محصولات نیمه حساس به خشکی خاک محسوب می شود (Grzesiak et al., 2003; Naylor & Su, 1998). گزارش‌ها حاکی از برتری نسبی تریتیکاله نسبت به گندم تحت شرایط تنش رطوبتی به علت ظهور زودتر سنبله ها، توانایی بیشتر سیستم ریشه‌ای تریتیکاله در جذب آب و درصد بیشتر انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای به دانه می‌باشند (Guinta et al., 1993; Fetel, 1993).

سیستم ریشه در غلات بر اساس زاویه انشعابات ریشه و توزیع آنها در افق های خاک، به دو نوع تقسیم می شود. نوع اول سیستم ریشه‌ای متراکم است که درآن تعداد زیاد ریشه‌های گره ای متراکم وجود دارد. در نوع دوم که سیستم پراکنده نام دارد، تعداد ریشه های گره ای کم اما طول آنها زیاد است. ذرت دارای سیستم ریشه‌ای پراکنده و تریتیکاله دارای سیستم ریشه ای متراکم است (Ahmad et al., 2003).

رشد اندام های هوایی در مقایسه با رشد ریشه به خشک شدن خاک حساس تر است (Sharp & Davis, 1989) و ممکن است قبل از گسترش کمبود پتانسیل آب به بخش های هوایی گیاه رشد آن متوقف شود (Gowing et al., 1990). این عکس العمل به تنش محدودیت رطوبتی ناشی از عمل علایم تنظیم کننده غیر آبی است که از ریشه‌های در معرض خشکی خاک صادر می‌شوند. با این حال، سیستم ریشه در همین شرایط میزان پتانسیل آب اندام های هوایی را در حد کفایت تامین می کند. در چنین شرایطی آبسیسیک اسید آزاد شده از ریشه فرمان توقف رشد اندام هوایی را صادر می کند. با این حال شواهد قطعی در این مورد وجود ندارد. تحقیقات اخیر روی موتانتهای فاقد آبسیسیک اسید نشان داده است که آبسیسیک اسید داخلی ممکن است به جای توقف رشد، سبب تامین رشد اندام هوایی گردد. به دو دلیل نقش آبسیسیک اسید را در شرایط تنش خشکی با اهمیت است، اول ، در شرایط محدودیت آب آبسیسیک اسید هم در ریشه و هم در اندام های هوایی تجمع می یابد و دوم اینکه، حتی در شرایطی که گیاهان به طور مطلوب هم آبیاری شده اند، وقتی آبسیسیک اسید به گیاه اضافه می شود سبب محدود نمودن رشد می گردد (Sharp, 2002).

در ارتباط با عملکرد گیاه تعادل میان منبع و مقصد تعیین کننده است. ظرفیت مخزن در طی رشد سنبله جوان (مرحله سنبلچه انتهایی تا ظهور بساک) تعیین می شود. طی این مرحله منبع و مخزن محدود کننده عملکرد هستند (Slafer & Rawson, 1994). مواد لازم برای پرشدن دانه غلات از سه منبع تامین می شود: فتوسنتز جاری مواد در برگ ها و ساقه ها، انتقال کربوهیدرات ها و ترکیبات حاوی ازت ذخیره شده در اندام ها و فتوسنتز سنبله. تحت شرایط محدودیت رطوبت نیز مخزن و منبع محدود می شوند. تولید مواد فتوسنتزی جدید به دلیل کاهش تبادل روزنه های برگی در شرایط محدودیت رطوبت محدود می‌شود (Bradford & Hsiao, 1982). گیاهان تحت تنش آبی برای اجتناب از پسابیدگی و پژمردگی اقدام به تنظیم اسمزی از طریق افزایش میزان مواد محلول می کنند، که شرکت قندها و اسید های آمینه در تنظیم اسمزی سبب ایجاد رقابت بین فرآیندهای تنظیم اسمزی و دانه های در حال رشد می‌شود (Plaut, 1989; Wyn Jones & Gorham, 1983). در شرایط بدون محدودیت رطوبتی سهم اندام‌های رویشی در پر شدن دانه ها بسیار مهم است. معذالک در گیاهان تحت محدودیت رطوبتی، ماده خشک ذخیره شده در اندام های رویشی دارای محدودیت بوده و احتمالاً جهت تنظیم اسمزی بکار خواهند رفت. ظرفیت مخزن از طریق تعداد دانه در واحد سطح تعیین می شود. کاهش ظرفیت فتوسنتزی تحت تاثیر محدودیت رطوبتی، کاهش اختصاص مواد فتوسنتزی به سنبله در حال رشد و در نتیجه کاهش ظرفیت مخزن را به دنبال خواهد داشت. اصلاح در جهت عملکرد بالا و به حداقل رساندن رقابت موجود بین اندام های رویشی و دانه ها می تواتند در افزایش تحمل به خشکی ارقام نقش زیاد داشته باشد (Plaut et al., 2004). اثر تنش خشکی بر محصولات غلات را می توان در ارتباط با اثر آن بر اجزاء عملکرد تجزیه و تحلیل کرد (Royo & Blanco, 1998) که بسته به شدت تنش و مرحله نموی که تنش اتفاق می افتد، اهمیت هر یک از آنها را می توان متفاوت فرض کرد (Giunta et al., 1993). تعداد سنبله بارور در واحد سطح، تحت تاثیر شرایط مرحله کاشت تا ظهور سنبله بوده و بستگی به ژنوتیپ، مدیریت و شرایط محیطی دارد. تعداد سنبلچه در سنبله تحت تاثیر تنش‌های پس از مرحله سنبلچه انتهایی قرار دارد، تعداد دانه در واحد سطح تحت تاثیر اتفاقاتی است که می توانند تا مرحله ظهور بساک تعداد گیاه در واحد سطح، تعداد سنبله بارور در گیاه، تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله را تحت تاثیر قرار دهند. وزن هزار دانه نیز تحت تاثیر تنش ها در مرحله پر شدن دانه می باشد (Fischer & Maurer, 1978).

هدف از این تحقیق بررسی چگونگی پاسخ ژنوتیپ های مختلف

تریتیکاله تحت شرایط تنش و عدم تنش خشکی و بررسی چگونگی توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام های هوایی و ریشه‌ها بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۸۸ در گلخانه تحقیقاتی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار اجرا شد.عوامل آزمایشی شامل: میزان رطوبت قابل دسترس خاک در دو سطح عدم محدودیت رطوبتی و محدودیت رطوبتی (به ترتیب آبیاری پس از تخلیه ۵۰ و ۷۵ درصد رطوبت قابل استفاده خاک در منطقه ریشه) و چهار ژنوتیپ تریتیکاله شامل سه لاین امید بخش ET-۸۲-۸، ET-۸۲-۱۵، ET-۷۹-۱۷ به همراه رقم رایج Junillo-۹۲ بودند. بذرهای هر ژنوتیپ پس از ضدعفونی و تعیین قوه نامیه در داخل سینی نشاء کشت شده و گیاهچه‌های دو برگی به داخل بستر آماده شده در لوله های پلاستیکی با قطر دهانه ۹۰ میلی متر و ارتفاع ۱۰۰۰ میلیمتر که با خاکی لومی پر شده بودند، کشت شد. جهت ثبات و پایداری لوله ها و نیز ممانعت از نفوذ نور و سبز شدن ریشه، هر یک از لوله ها در لوله هایی از جنس پلی اتیلن سیاه رنگ قرار گرفتند.درصد رطوبت نمونه خاک در شرایط ظرفیت زراعی توسط دستگاه صفحات فشاری تعیین شد.گیاهان مربوط به تیمار عدم محدودیت رطوبتی پس از رسیدن رطوبت خاک لوله به ۵۰درصد ظرفیت زراعی (پس از تخلیه۵۰درصد آب موجود در خاک در ظرفیت زراعی) و تیمارهای محدودیت رطوبتی پس از رسیدن رطوبت وزنی خاک به ۲۵درصد ظرفیت زراعی (پس از تخلیه ۷۵درصد آب موجود در خاک در ظرفیت زراعی)، به نحوی آبیاری شدند که خاک هر لوله در محدوده عمق توسعه ریشه به ظرفیت زراعی برسد، به این ترتیب فاصله بین دو آبیاری در تیمارمحدودیت رطوبتی بیشتر از تیمار عدم محدودیت رطوبتی بود.

در زمان رسیدگی محصول، ابتدا تعداد پنجه و ارتفاع گیاه ها اندازه گیری و سپس قسمت هوایی گیاه از سطح خاک قطع شد و عملکرد و اجزای عملکرد دانه تک بوته، وزن خشک اندام های هوایی به تفکیک ساقه و برگ، سنبله و دانه برای هر پنجه به طور مجزا اندازه گیری شدند. به دلیل طولانی بودن مراحل شستشوی ریشه‌ها و نیز به منظور کاهش تغییرات ریشه‌ها ناشی از فعالیت میکروارگانیسم‌ها و حذف بخش هوایی، ریشه ها به همراه خاک به سردخانه با دمای چهار 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. پس از رنگ‌آمیزی با ماده شیمیایی متیلن بلو با استفاده از دستگاه اسکنر کامپیوتری ریشه و نرم افزار Delta T-scan سطح کل، طول تجمعی ریشه و قطر ریشه تعیین شدند. وزن خشک ریشه ها نیز پس از قرار گرفتن آنها به مدت ۴۸ ساعت در آون تهویه دار با دمای ۷۵ درجه توسط ترازوی دیجیتالی تعیین گردید. برای تعیین شاخص حساسیت به تنش خشکی (DSI)[1]، ابتدا شدت سختی محیط (ESI)[2] با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد.

$$D = 1 - \frac{Yd}{Yp}$$

معادله (۱)

که در آن ESI: شدت سختی محیط، Y_d: متوسط عملکرد ژنوتیپ ها در شرایط تنش، Y_p: متوسط عملکرد ژنوتیپ ها در شرایط عدم تنش می باشند. سپس با استفاده از معادله (۲) شاخص حساسیت به تنش محاسبه گردید.

$$DSI = (1 - \frac{Yd_i}{Yp_i})/ESI$$

معادله (۲)

که در آن DSI شاخص حساسیت به تنش خشکی، Yd_i: عملکرد واریته i در شرایط تنش و Yp_i: عملکرد واریته i در شرایط عدم تنش می باشد (Fischer & Maurer, 1973). داده‌های به دست آمده برای هر یک از صفات، با استفاده از برنامه آماری MSTAT-C مورد تجزیه‌ی واریانس قرار گرفته و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن انجام شد. جهت مرتب کردن داده ها و رسم نمودارها نیز از برنامه کامپیوتری Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر خشکی بر عملکرد و اجزاء عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت اثر تیمارهای آزمایشی نشان داد که تیمار محدودیت رطوبتی سبب کاهش معنی‌دار ($P\leq$ ۰/۰۱) عملکرد دانه به مقدار بیش از ۳۰ درصد شده است (جدول ۱)، اما ژنوتیپ و اثر متقابل تیمارهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری نداشتند. بنظر می رسدکه عدم مشاهده تفاوت آماری در عملکرد ژنوتیپ‌های مورد آزمایش به دلیل انتخاب ژنوتیپ های آزمایشی از میان لاین‌های امید بخش حاصل از آزمایش‌های مقایسه عملکرد مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی و پتانسیل عملکرد بالای تمامی ژنوتیپ‌ها باشد. محققین دیگر ۴۲ درصد کاهش در عملکرد دانه تریتیکاله تحت شرایط تنش خشکی را گزارش کرده‌اند (Royo & Blanco, 1998).

اثر تیمار محدودیت رطوبتی و اثر متقابل محدودیت رطوبتی و ژنوتیپ بر تعداد کل دانه در بوته معنی دار ($P\leq$ ۰/۰۱) بود. اعمال تیمار محدودیت رطوبتی سبب حدود ۴۱ درصد کاهش در تعداد دانه

1- Drought Susceptibility Index
2- Environment Stress Index

گردید. در شرایط عدم محدودیت رطوبتی تعداد دانه تولید شده در ژنوتیپ‌های مورد آزمایش تفاوت معنی دار آماری نداشتند اما تحت شرایط محدودیت رطوبتی ژنوتیپ ET-۸۲-۸ بیشترین و ژنوتیپ ET-۸۲-۱۵ کمترین تعداد دانه در گیاه را تولید کردند (جدول ۲). تعدادکل پنجه های تولید شده تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (P≤۰/۰۵)، اما اثر متقابل تیمارها تاثیر معنی دارآماری بر این صفت نداشت. اعمال تیمار محدودیت رطوبتی سبب حدود ۱۷ درصد کاهش در تعداد کل پنجه های تولید شده درگیاهان گردید. همچنین بیشترین تعداد پنجه را ژنوتیپ‌های ET-۸۲-۱۵ و ET-۸۲-۸ و کمترین تعداد پنجه را ژنوتیپ‌های ET-۷۹-۱۷ و Juanillo-۹۲ تولید کردند (جدول ۱).

محدودیت رطوبتی تاثیر معنی دار معنی‌دار آماری (P< ۰/۰۱) در تعداد پنجه های بارور داشت، به طوری که تعداد پنجه‌های بارور را حدود ۱۸ درصد کاهش داد (جدول ۲). این در حالی است که اثر ژنوتیپ و اثر متقابل محدودیت رطوبتی و ژنوتیپ نیز بر این صفت معنی دار نبود (جدول ۱). تعداد دانه در سنبله نیز تحت تاثیر تیمار محدودیت رطوبتی و اثرات متقابل ژنوتیپ و محدودیت رطوبتی قرار گرفت (به ترتیب P< ۰/۰۵ و P< ۰/۰۱).

اعمال تیمار محدودیت رطوبتی سبب حدود ۹ درصد کاهش در تعداد دانه در سنبله گردید. همچنین ژنوتیپ های مورد بررسی در شرایط عدم محدودیت رطوبتی فاقد اختلاف معنی دار آماری بودند، اما تحت شرایط محدودیت رطوبتی تعداد دانه در سنبله‌های ژنوتیپ ET-۸۲-۱۵ به مقدار بیشتری تحت تاثیر قرارگرفته و کاهش بیشتری یافت به طوری که این رقم تحت شرایط محدودیت رطوبتی حدود ۳۵ درصد نسبت به شرایط عدم محدودیت رطوبتی کاهش نشان داد، اما تعداد دانه در سنبله سایر ژنوتیپ‌ها تحت تاثیر محدودیت رطوبتی و عدم محدودیت رطوبتی تفاوت معنی‌دار آماری نداشتند (جدول ۱). وزن ۱۰۰ دانه تنها تحت تاثیر تیمار محدودیت رطوبتی قرار گرفت (P< ۰/۰۵) و اثر ژنوتیپ و اثر متقابل تیمارهای آزمایشی بر این صفت معنی دار نبود (جدول ۱).

جدول ۳ نشان دهنده میانگین شاخص حساسیت به تنش (DSI) در ژنوتیپ های مختلف است. با توجه به اینکه مقدار DSI کمتر نشان دهنده حساسیت کمتر یک ژنوتیپ به تنش خشکی است (Ahmad et al., 2003)، بنابراین حساسیت ژنوتیپ های ET-۸۲-۸ و Juanillo- ۹۲ نسبت به خشکی تحت شرایط این آزمایش کمتر است. همچنین از آنجا که DSI کمتر نشان دهنده تغییرات کمتر عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط عدم تنش است (Ahmad et al., 2003)، احتمال داده می‌شود که اگر ژنوتیپ های مورد بررسی در این آزمایش در شرایط مزرعه ای مقایسه شوند، پایداری عملکرد دو ژنوتیپ ET-۸۲-۸ و Juanillo- ۹۲ درشرایط محدودیت رطوبت بیشتراز دو ژنوتیپ دیگر باشد.

جدول ۱- میانگین مربعات عملکرد و اجزاء عملکرد تک بوته ژنوتیپ‌های تریتیکاله تحت تیمارهای آبیاری

Table 1- Means of squares for yield and yield components of triticale genotypes under irrigations treatments

منابع تغییر source of variations	درجه آزادی DF	عملکرد دانه (گرم در گیاه) Grain yield ($g.plant^{-1}$)	تعداد دانه در گیاه No. Grains per plant	تعداد پنجه در گیاه No. Tillers per plant	تعداد پنجه بارور در گیاه No. Fertile tiller per plant	تعداد دانه در سنبله No. Grains per picule	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-grain weight (g)
تکرار Replication	3	0.4^{ns}	1138.8^{**}	4.7^{**}	2.1^{*}	148.9^{**}	0.1^{ns}
آبیاری Irrigation	1	3.5^{**}	10397.1^{**}	2.5^{*}	20.2^{**}	48.0^{*}	3.6^{*}
ژنوتیپ Genotype	3	0.3^{ns}	$^{ns}161.2$	1.0^{*}	0.95^{ns}	7.4^{ns}	1.3^{ns}
آبیاری × ژنوتیپ ×Irrigation Genotype	3	0.1^{ns}	586.9^{**}	0.49^{ns}	0.27^{ns}	70.7^{**}	1.0^{ns}
خطا Error	21	0.1	101.2	0.34	0.60	9.7	0.19
C.V.(%)		20.4	14.4	19.3	25.6	11.4	17.0

ns، * و ** به ترتیب بی معنی و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** are non- significant and significantly at α=0.05 and α=0.01, respectively.

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین عملکرد و اجزاء عملکرد ژنوتیپ‌های تریتیکاله تحت تیمارهای آبیاری

Tabel 2- Results of means comparison for yield and yield components of triticale genotypes under irrigations treatments

تیمار Treatment		عملکرد دانه (گرم در گیاه) Grain yield ($g.plant^{-1}$)	تعداد دانه در گیاه No. Grains per plant	تعداد پنجه در گیاه No. Tillers per plant	تعداد پنجه بارور در گیاه No. Fertile tiller per plant	تعداد دانه در سنبله No. Grains per picule	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-grain weight (g)
آبیاری Irrigation	عدم محدودیت رطوبتی Non Moisture limitation	2.14 A*	87.97 a	3.32 a	3.31 a	28.52 a	2.43 a
	محدودیت رطوبتی Moisture limitation	1.48 b	87.97 a	2.76 b	2.72 b	26.07 b	2.74 b
ژنوتیپ Genotype	ET-82-15	1.82 a	67.42 a	3.50 a	2.19 a	25.92 a	2.42 a
	ET-82-8	1.73 a	72.76 a	3.15 ab	2.75 a	28.09 a	2.47 a
	ET-79-17	1.62 a	65.00 a	2.77 b	2.25 a	27.38 a	2.62 a
	Juanillo-92	2.06 a	74.60 a	2.75 b	2.87 a	27.78 a	2.82 a
عدم محدودیت رطوبتی Non Moisture limitation	ET-82-15	2.27 a	92.50 a	3.50 a	3.25 a	31.38 a	2.51 a
	ET-82-8	1.93 a	78.37 ab	3.30 a	3.50 a	26.70 ab	2.23 a
	ET-79-17	2.04 a	84.75 ab	3.25 a	3.00 a	28.25 a	2.39 a
	Juanillo-92	2.32 a	96.27 a	3.25 a	3.50 a	27.74 a	2.60 a
محدودیت رطوبتی Moisture limitation	ET-82-15	1.37 a	42.35 d	3.50 a	1.41 a	20.46 b	2.34 a
	ET-82-8	1.53 a	67.15 bc	3.00 a	2.00 a	29.48 a	2.71 a
	ET-79-17	1.19 a	45.25 d	2.30 a	1.50 a	26.52 ab	2.86 a
	Juanillo-92	1.81 a	52.93 cd	2.25 a	2.25 a	27.81 a	2.05 a

* در هر ستون برای هر عامل آزمایشی، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد تفاوت معنی دار آماری در سطح ۵درصد بر اساس آزمون دانکن هستند.

* Means within columns for each factor with minimum one same letters aren't significantly different at 5% base on Duncan test

جدول۳ - میانگین شاخص حساسیت به تنش ژنوتیپ های تریتیکاله تحت تیمار تنش

Table 3- Means of drought susceptibility index of triticale genotypes under stress treatment.

ژنوتیپ Genotype	شاخص حساسیت به تنش (DSI)
ET-79-17	1.44
ET-82-15	1.36
Juanillo-92	0.72
ET-82-8	0.65

تعداد دانه در واحد سطح توسط تعداد پنجه های بارور در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله تعیین می شود. قابلیت دسترسی به مواد پرورده برای سنبله های در حال رشد، قبل از ظهور بساک و اختصاص مواد بیشتری به سنبله ها در این مرحله نشان دهنده نسبت بالاتر سنبله به ساقه در این مرحله و در نتیجه مقدار بیشتر گلچه های بارور و دانه می‌باشد (Kafi et al., 2005)، لذا به نظر می رسد که اعمال محدودیت رطوبتی در مرحله رشد رویشی گیاه از طریق کاهش اختصاص مواد پرورده مورد نیاز به سنبله ها، باعث کاهش تعداد سنبله های بارور و تعداد دانه در گیاه شده باشد. کرینزر و همکاران (Krenzer et al., 1991) نیز گزارش کردند که محدودیت رطوبتی از طریق کاهش اختصاص مواد پرورده به سنبله‌ها، سبب کاهش تعداد سنبله بارور و تعداد دانه در گیاه و در واحد سطح می‌شود.کاهش تعداد دانه در واحد سطح تحت شرایط محدودیت رطوبتی در مراحل مختلف نمو توسط سایرین نیز گزارش شده است (Robertson & Giunta, 1994)، این محققین کاهش تعداد سنبله بارور در واحد سطح را عامل اصلی کاهش تعداد دانه عنوان کردند. از طرف دیگر حساسیت بیشتر مرحله سنبلچه انتهایی تا ظهور بساک به محدودیت رطوبتی که در طی آن تعداد پنجه های بارور و تعداد دانه در سنبله که در نهایت تعداد دانه در واحد سطح را تولید خواهند کرد) در حال شکل گرفتن هستند، می تواند سبب کاهش تعداد پنجه بارور در واحد سطح و به تبع آن تعداد دانه در واحد گیاه و در واحد سطح گردد (Garcia Del

Moral et al., 2005). در این ارتباط گزارش شده است که محدودیت رطوبتی به لحاظ افزایش درجه حرارت سایه انداز گیاهی سبب کوتاه شدن دوره سنبلچه انتهایی تا ظهور بساک می گردد و کاهش این دوره می تواند سبب کاهش تعداد سنبله بارور و تعداد دانه در سنبله گردد (Campuzano et al., 2008). در آزمایش گارسیا دل مورال و همکاران (Garcia Del Moral et al., 2005) گزارش شد که تمامی اجزاء عملکرد دانه گندم دوروم تحت شرایط محدودیت رطوبتی کاهش می‌یابد، در آزمایش این محققان در شرایط عدم محدودیت رطوبتی، تمامی اجزاء اولیه عملکرد شامل تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه، در تولید عملکرد دانه سهم مساوی داشتند. اما در شرایط محدودیت رطوبتی بیشترین جزء تعیین کننده عملکرد دانه تعداد سنبله در واحد سطح (تعداد پنجه بارور در واحد سطح) بود.

به طور کلی مشاهده شد که گرچه ژنوتیپ های مورد بررسی در ارتباط با عملکرد و اجزاء عملکرد، تحت شرایط عدم محدودیت رطوبتی اختلافات زیادی را نشان ندادند، اما با اعمال تیمارهای محدودیت رطوبتی باختلاف میان ژنوتیپ‌ها افزایش یافته و ژنوتیپ۸-ET-۸۲ در اغلب موارد کمتر تحت تاثیر شرایط نامطلوب ناشی از محدودیت رطوبتی قرار گرفته است. ضمن اینکه شاخص حساسیت به تنش پایین این ژنوتیپ نیز تایید کننده این مطلب است. به هر حال به نظر می رسد که در صورت افزایش شدت محدودیت رطوبتی و یا تغییر مرحله اعمال محدودیت رطوبتی اختلاف میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی بیشتر گردد.

نتایج تجزیه واریانس عملکرد بیولوژیکی تحت اثر تیمارهای آزمایشی نشان داد که تیمار محدودیت رطوبتی سبب کاهش معنی دار ($P\leq$ ۰/۰۱) عملکرد بیولوژیکی به مقدار حدود ۳۸ درصد نسبت به تیمار عدم محدودیت رطوبتی شد (جدول ۴). تفاوت عملکرد بیولوژیکی ژنوتیپ ها نیز معنی دار ($P<$۰/۰۱) بود، به نحوی که ژنوتیپ های ET-۸۲-۱۵ بیشترین و ژنوتیپ‌های ET-۸۲-۸ و ET-۱۷-۷۹ کمترین عملکرد بیولوژیکی را تولیدکردند. اثر متقابل تیمارهای آزمایشی نیز سبب ایجاد اختلاف معنی دار آماری ($P<$ ۰/۰۱) در عملکرد بیولوژیکی گردید، به طوری که ژنوتیپ ET-۸۲-۱۵ در شرایط عدم محدودیت رطوبتی بیشترین و ژنوتیپ ET-۷۹-۱۷ در شرایط محدودیت رطوبتی کمترین عملکرد بیولوژیکی را تولید کردند. ژنوتیپ ET-۸۲-۸ با حدود ۱۵درصد و ژنوتیپ های ET-۸۲-۱۵ و ET-۷۹-۱۷ با بیش از ۴۸ درصد به ترتیب کمترین و بیشترین کاهش عملکرد بیولوژیکی در شرایط محدودیت رطوبتی نسبت به شرایط عدم محدودیت رطوبتی را نشان دادند (جدول۵). در این ارتباط نیز مشاهده می‌شود که گرچه ژنوتیپ ET-۸۲-۸ تحت شرایط عدم محدودیت رطوبتی از عملکرد بیولوژیکی کمتری برخوردار بوده اما تحت تاثیر محدودیت رطوبتی، به مقدار بیشتری توانایی حفظ عملکرد بیولوژیکی خود را داشته است.

جدول ٤- میانگین مربعات صفات اندام‌های هوایی ژنوتیپ‌های تریتیکاله تحت تاثیر تیمارهای آبیاری

Table 4- Mean of squares for underground traits of triticale genotypes under irrigations treatments.

منابع تغییر Source of variations	درجه آزادی DF	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن خشک (گرم در گیاه) Dry weight (g.plant^{-1})			ارتفاع گیاه Plant height
				کل اندام هوایی Total above ground organs	ساقه و برگ Stem & leaf	سنبله Spike	
تکرار Replication	3	2.6**	63.35**	2.0**	0.76**	0.48*	172.4**
آبیاری Irrigation	1	45.3**	65.92**	40.1**	11.5**	7.8**	318.8**
ژنوتیپ Genotype	3	8.0**	1299.9**	6.0**	3.5**	0.1^{ns}	480.5**
ژنوتیپ × آبیاری Irrigation* Genotype	3	3.6**	197.0**	2.3**	1.0**	0.7**	25.7^{ns}
خطا Error	21	0.33	38.51	0.38	0.07	0.14	36.09
C.V.(%)		11.6	16.7	13.2	12.8	14.4	9

ns، * و ** به ترتیب بی معنی و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and ** are non- significant and significantly at α=0.05 and α=0.01, respectively.

شاخص برداشت نیز تحت تاثیر محدودیت رطوبتی و ژنوتیپ و اثر متقابل میان آنها قرار گرفت (P≤ ۰/۰۱) (جدول ۴). تیمار محدودیت رطوبتی سبب افزایش شاخص برداشت به مقدار بیش از ۸ درصد گردید. ژنوتیپ ET-79-17 با ۴۱/۸ درصد و ژنوتیپ ET-82-15 با ۲۶/۳ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین متوسط شاخص برداشت را داشتند (جدول ۵). همچنین در بررسی اثر متقابل میان تیمارها مشاهده شد که رقم Juanillo-92 و ژنوتیپ ET-79-17 تحت شرایط محدودیت رطوبتی بیشترین و ژنوتیپ ET-82-15 تحت شرایط عدم محدودیت رطوبتی کمترین شاخص برداشت را نشان دادند (جدول ۵).

همانطور که قبلاً نیز نشان داده شد عملکرد اقتصادی (عملکرد دانه) تحت شرایط محدودیت رطوبتی حدود ۳۰ درصد کاهش داشت (جدول ۲)، از طرفی میزان کاهش عملکرد بیولوژیکی تحت شرایط محدودیت رطوبتی حدود ۳۸ درصد بود. بنابراین ملاحظه می شود که اثرات محدودیت رطوبتی بر عملکرد بیولوژیکی بیشتر از عملکرد اقتصادی بوده و لذا شاخص برداشت که نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد بیولوژیکی می باشد، تحت این شرایط افزایش نشان داده است.

نتایج تجزیه واریانس تغییرات وزن خشک کل اندام‌های هوایی تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی نشان داد که کاهش رطوبت قابل دسترس خاک به طور معنی‌داری (P≤ ۰/۰۱) سبب کاهش وزن خشک کل اندام های هوایی گردید (جدول ۴). به طوری که آبیاری پس از تخلیه ۷۵ درصد رطوبت قابل دسترس خاک نسبت به آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس خاک، باعث حدود۴۰ درصدی وزن خشک کل اندام‌های هوایی گردید (جدول ۵).

جدول ۵- میانگین مربعات صفات اندام های هوایی ژنوتیپ‌های تریتیکاله تحت تاثیر تیمارهای آبیاری

Table 5–Results of means comparison for underground trails of triticale genotypes under irrigations treatments

تیمار Treatment		عملکرد بیولوژیکی (گرم در گیاه) Biological yield (g. plant^{-1})	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	وزن خشک (گرم در گیاه) Dry weight (gplant^{-1})			ارتفاع گیاه (سانتی متر) plant height (cm)
				کل اندام هوایی Total Above-ground organ	ساقه و برگ stem & leaf	سنبله (با دانه) Spike (with grain)	
آبیاری Irrigation	عدم محدودیت رطوبتی Non Moisture limitation	6.1a*	35.8 b	5.8 a	2.6 a	3.1 a	70.7 a
	محدودیت رطوبتی Moisture limitation	3.8 b	38.7 a	3.5 b	1.4 b	2.1 b	64.3 b
ژنوتیپ Genotype	ET-82-15	6.3 a	26.3 c	5.8a	2.9 a	2.7 a	73.6 a
	ET-82-8	4.2 c	41.3 ab	4.1 bc	1.6 c	2.5 a	61.9 b
	ET-79-17	4.1 c	41.8 a	3.8 c	1.4 c	2.5 a	59.8 b
	Juanillo-92	5.2 b	39.5 b	4.9 b	2.1 b	2.6 a	74.7 a
عدم محدودیت رطوبتی Non Moisture limitation	ET-82-15	8.3 a	28.3 e	3.9 a	3.9 a	3.5 a	77.3 a
	ET-82-8	4.6 cd	40.3 c	1.8 cd	1.8 cd	2.8 abc	63.3 b
	ET-79-17	5.4 bc	39.9 c	1.8 cd	1.8 cd	3.2 ab	62.0 b
	Juanillo-92	6.3 b	34.6 d	2.9 b	2.9 b	2.8 abc	80.1 a
محدودیت رطوبتی Moisture limitation	ET-82-15	4.3 cd	24.2 f	3.9 cd	1.9 cd	1.9 d	70.0 ab
	ET-82-8	3.9 de	42.3 b	3.6 cd	1.4 cde	2.2 cd	60.6 b
	ET-79-17	2.8 e	43.7ab	2.7 d	1.4 e	1.9 d	57.5 b
	Juanillo-92	4.1 d	44.1a	3.9 cd	1.3 de	2.4 bcd	69.3 ab

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن هستند.

* Means within columns for each factor with minimum one same letters aren't significantly different at 5% base on Duncan test.

اثر ژنوتیپ و اثر متقابل محدودیت رطوبتی و ژنوتیپ نیز بر وزن خشک کل اندام های هوایی معنی دار بود (P≤ ۰/۰۱) (جدول ۴). در میان ژنوتیپ های مورد بررسی، ژنوتیپ‌های ET-۸۲-۱۵ و ET-۷۹-۱۷ به ترتیب بیشترین و کمترین وزن خشک کل اندام‌های هوایی را نشان دادند. همچنین ژنوتیپ ET-۸۲-۱۵ تحت شرایط عدم محدودیت رطوبتی بیشترین و ژنوتیپET-۷۹-۱۷ تحت شرایط محدودیت رطوبتی، کمترین وزن خشک کل اندام های هوایی را داشتند. وزن خشک کل اندام های هوایی ژنوتیپ‌های ET-۸۲-۱۵ و ET-۸۲-۸ با ۴۹ و ۲۳ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین کاهش تحت شرایط محدودیت رطوبتی نسبت به شرایط عدم محدودیت رطوبتی را نشان دادند (جدول ۵).

وزن خشک ساقه و برگ نیز تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی و اثر متقابل میان آنها قرارگرفت (P≤۰/۰۱). به طوری که تیمار محدودیت رطوبتی سبب بیش از ۴۶ درصد کاهش در وزن خشک ساقه و برگ گردید. اثر ژنوتیپ‌های مورد بررسی نیز مشابه با وزن خشک کل اندام های هوایی بود به عبارت دیگر ژنوتیپ‌های ET-۸۲-۱۵ وET-۷۹-۱۷ به ترتیب بیشترین و کمترین وزن خشک ساقه و برگ را داشتند. رقم Juanillo-92 و ژنوتیپET-۸۲-۸ با ۵۵ و ۲۲ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین کاهش وزن خشک ساقه و برگ در شرایط محدودیت رطوبتی نسبت به عدم محدودیت رطوبتی را داشتند (جدول۵).

وزن خشک سنبله (به همراه دانه) تحت تاثیر تیمار محدودیت رطوبتی و اثر متقابل محدودیت رطوبتی و ژنوتیپ قرار گرفت (۰/۰۱ ≥P) (جدول ۴). به طوری که اعمال تیمار محدودیت رطوبتی سبب بیش از۳۲ درصد کاهش در وزن خشک سنبله نسبت به تیمار عدم محدودیت رطوبتی شد. ژنوتیپ های مورد بررسی تفاوت معنی دار آماری در ارتباط با این صفت نداشتند. ژنوتیپ‌های ET-۷۹-۱۷ وET-۸۲-۱۵ تحت شرایط محدودیت رطوبتی و ژنوتیپ ET-۸۲-۱۵ تحت شرایط عدم محدودیت رطوبتی به ترتیب کمترین و بیشترین وزن خشک سنبله را داشتند (جدول ۵). کاهش متفاوت وزن خشک ساقه و برگ به عنوان اندام های رویشی و سنبله به عنوان اندام زایشی تحت اثر تیمار محدودیت رطوبتی، نشان دهنده تفاوت پاسخ دو مرحله رویشی و زایشی به محدودیت رطوبتی بوده و خود می تواند تائید کننده دلیل عنوان شده جهت افزایش شاخص برداشت تحت شرایط محدودیت رطوبتی باشد. به نظر می رسد که با توجه به اعمال تیمار محدودیت رطوبتی از ابتدای دوره رشد، نوعی خوپذیری به محدودیت رطوبتی در گیاهان سبب توزیع بیشتر وزن خشک به سمت سنبله شده باشد، که خود می باشد پاسخی در جهت حفظ بقای گیاهان تحت این شرایط باشد.

ارتفاع گیاه تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (۰/۰۱ ≥P)، اما اثر متقابل تیمارها بر این صفت معنی دار نبود (جدول ۴). در این ارتباط مشاهده شد که محدودیت رطوبتی سبب حدود ۹ درصد کاهش در ارتفاع گیاه شد، همچنین ژنوتیپ ET-۸۲-۱۵ به همراه رقم Juanillo -۹۲ به ترتیب با ۷۳/۶ و ۷۴/۷ سانتی متر بیشترین و ژنوتیپ های ET-۸۲-۸ و ET-۷۹-۱۷ به ترتیب با ۶۱/۹ و ۵۹/۸ سانتی متر کمترین ارتفاع را داشتند (جدول ۵). گزارش شده که محدودیت رطوبتی سبب کاهش طول دوره میان سنبلچه انتهایی تا رسیدن به گرده افشانی و نیز کاهش طول دوره پر شدن دانه در تریتیکاله می شود، که پاسخ ژنوتیپ های مختلف به این کاهش متفاوت است (Campuzano et al., 2008). با توجه به اینکه کاهش طول این دوره می تواند سبب کاهش فتوسنتز گردد، احتمالاً کاهش وزن خشک اندام‌های مختلف رویشی گیاه شامل برگ، ساقه و ریشه در شرایط محدودیت رطوبتی نسبت به عدم محدودیت رطوبتی می تواند به علت کاهش فتوسنتز باشد. این موضوع توسط سایر محققین نیز مورد تایید قرار گرفته است (Grzesiak et al., 2007; Ivandic et al., 2000; Mc Master & Wilhelm, 2003).

نتایج نشان داد که اعمال تیمار محدودیت رطوبتی سبب کاهش معنی دار (P≤ ۰/۰۱) عمق نفوذ ریشه گردید (جدول ۶). به طوری که تیمار محدودیت رطوبتی سبب حدود ۱۶ درصد کاهش در عمق نفوذ ریشه گردید (جدول ۷). همچنین ژنوتیپ و اثر متقابل محدودیت رطوبتی و ژنوتیپ تاثیر معنی داری (به ترتیب P≤ ۰/۰۵ و P≤ ۰/۰۱) بر عمق نفوذ ریشه داشتند (جدول ۶). در این ارتباط ژنوتیپ های ET-۸۲-۱۵ و ET-۸۲-۸ بیشترین و ژنوتیپET-۷۹-۱۷ و رقم Juanillo -۹۲ کمترین عمق نفوذ ریشه را داشتند. همچنین بیشترین عمق نفوذ ریشه در ژنوتیپ ET-۸۲-۸ تحت شرایط عدم محدودیت رطوبتی و کمترین عمق نفوذ ریشه نیز در همین ژنوتیپ اما تحت شرایط محدودیت رطوبتی اندازه گیری شد و نکته قابل توجه اینکه تنها در این ژنوتیپ کاهش عمق نفوذ ریشه تحت تاثیر تیمار محدودیت رطوبتی معنی دار بود و تفاوت سایر ژنوتیپ ها تحت شرایط عدم محدودیت رطوبتی در مقایسه با شرایط محدودیت رطوبتی معنی دار نبودند (جدول ۶).

وزن خشک ریشه تحت تاثیر تیمارهای محدودیت رطوبتی و ژنوتیپ قرارگرفت (P≤ ۰/۰۱)، اما اثر متقابل ژنوتیپ و محدودیت رطوبتی بر این صفت معنی دار نبود. اعمال تیمار محدودیت رطوبتی سبب حدود ۴۶ درصد کاهش در وزن خشک ریشه گردید. همچنین ژنوتیپ ET-۸۲-۱۵ بیشترین و ژنوتیپ‌های ET-۸۲-۸ وET-۷۹-۱۷ کمترین وزن خشک ریشه را به خود اختصاص دادند (جدول ۷). تحت شرایط محدودیت رطوبتی کاهش وزن خشک ریشه جو (*Hordeum vulgare* L.) گزارش شده است (Sharif et al., 2007).

تیمارهای آزمایشی و اثر متقابل آنها سبب ایجاد تفاوت معنی دار آماری ($P\leq$ ۰/۰۱) در طول تجمعی ریشه در واحد گیاه شدند (جدول ۶). اعمال تیمار محدودیت رطوبتی سبب حدود ۳۱ درصد کاهش در طول تجمعی ریشه، نسبت به تیمار عدم محدودیت رطوبتی گردید. ضمن اینکه بیشترین طول تجمعی ریشه در ژنوتیپ ET-۸۲-۱۵ و رقم ۹۲- Juanillo و کمترین طول تجمعی ریشه در ژنوتیپ های ET-۸۲-۸ و ET-۷۹-۱۷ اندازه گیری شد. طول تجمعی ریشه در ژنوتیپ های ET-۸۲-۱۵ و ET-۸۲-۸ در شرایط محدودیت رطوبتی و عدم محدودیت رطوبتی اختلاف معنی دار آماری نداشت، اما تیمار محدودیت رطوبتی به طور معنی داری سبب کاهش طول تجمعی ریشه در ژنوتیپ ET-۷۹-۱۷ و رقم ۹۲- Juanillo به ترتیب به مقدار حدود ۵۳ و ۴۵ درصد، نسبت به شرایط عدم محدودیت رطوبتی شده بود (جدول ۷).

سطح کل ریشه نیز تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی و اثر متقابل آنها قرار گرفت. محدودیت رطوبتی به طور معنی داری ($P\leq$ ۰/۰۱) منجر به کاهش حدود ۴۱ درصدی سطح کل ریشه شد (جدول ۶). بنابراین مشاهده می شود که میزان کاهش وزن ریشه نسبت به سطح و طول تجمعی آن شدیدتر بوده. به نظر می رسد که گیاه از طریق این مکانیزم، حجم خاک مورد جستجو برای جذب آب را افزایش داده است. همچنین ژنوتیپ‌ها نیز دارای تفاوت معنی‌دار آماری ($P\leq$ ۰/۰۵) برای سطح کل ریشه بودند، به طوری که بیشترین سطح کل ریشه در ژنوتیپ ET-۸۲-۱۵ و کمترین سطح در ژنوتیپ ET-۷۹-۱۷ اندازه گیری شد. برهم کنش تیمارهای آزمایشی نیز بر این صفت معنی‌دار ($P\leq$ ۰/۰۵) بود. مقایسه پاسخ هر یک از ژنوتیپ ها به تیمارهای محدودیت رطوبتی و عدم محدودیت رطوبتی نشان داد که سطح کل ریشه ژنوتیپ‌های ET-۸۲-۱۵ وET-۷۹-۱۷ در شرایط محدودیت رطوبتی نسبت به شرایط عدم محدودیت رطوبتی کاهش داشت اما تفاوت سطح کل دو ژنوتیپ دیگردرشرایط محدودیت رطوبتی و عدم محدودیت رطوبتی از نظر آماری معنی دار نبود (جدول ۷).

نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام های هوایی تحت تاثیر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محدودیت رطوبتی قرار گرفت ($P\leq$ ۰/۰۱)، اما تیمار محدودیت رطوبتی بر این صفات اثر معنی دار آماری نداشت (جدول ۶). ژنوتیپ ET-۸۲-۱۵ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام های هوایی بیشتری برخوردار بود، اما تفاوت بین سایر ژنوتیپ ها از نظر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۷).کاهش توام وزن خشک اندام های هوایی و ریشه و عدم اثر پذیری نسبت وزنی اندام های هوایی به ریشه در ارقام تریتیکاله تحت محدودیت رطوبتی، توسط سایرین نیز گزارش شده است (Grzesiak et al., 2007).

جدول ٦- میانگین مربعات و مقایسه میانگین های صفات مربوط به ریشه ژنوتیپ‌های تریتیکاله تحت تاثیر تیمارهای آبیاری

Table 6- Mean of squares for root traits of triticale genotypes under irrigations treatments

منابع تغییر source of variations	درجه آزادی DF	عمق نفوذ ریشه Root depth	وزن خشک ریشه Root dry weight	طول تجمعی ریشه Root cumulative length	سطح کل ریشه Total root area	قطر ریشه Root diameter	وزن ریشه: وزن اندام هوایی Root weight/above-gound weight	وزن ریشه: وزن دانه Root weight/ grain weight
تکرار Replication	3	48.2^{ns}	111044.0^{**}	227181.2^{**}	227181.2^{**}	0.1^{**}	0.0026^{**}	0.013^{*}
آبیاری Irrigation	1	390.1^{**}	320133.0^{**}	946827.0^{**}	946827.0^{**}	0.003^{ns}	0.0001^{ns}	0.051^{**}
ژنوتیپ Genotype	3	127.7^{*}	127272.0^{**}	648261.0^{**}	648261.0^{**}	0.013^{ns}	0.0028^{**}	0.002^{ns}
آبیاری × ژنوتیپ Irrigation * Genotype	3	180.6^{**}	14257.0^{ns}	152313.8^{**}	152313.8^{**}	0.022^{*}	0.0029^{**}	0.016^{**}
خطا Error	21	33.17	117.5	3294153.0	3294153.0	0.0068	0.0004	0.003
C.V.(%)		14.0	10.1	9.6	9.6	12.1	27.7	34.0

ns، * و ** به ترتیب بی معنی و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** are non- significant and significantly at α=0.05 and α=0.01, respectively.

جدول ۷ - میانگین مربعات و مقایسه میانگین های صفات مربوط به ریشه ژنوتیپ‌های تریتیکاله تحت تاثیر تیمارهای آبیاری

Table 7- Mean comparisons for root traits of triticale genotypes under irrigations treatments

تیمار Treatment		عمق نفوذ ریشه (سانتی متر) Root depth (cm)	وزن خشک ریشه (میلی گرم درگیاه) Root dry weight ($mgplant^{-1}$)	طول تجمعی ریشه (سانتی متر) Root cumulative length (cm)	سطح کل ریشه (سانتیمتر مربع) Total root area (cm^2)	قطر ریشه (میلی متر) Root diameter (cm)	وزن ریشه به اندام هوایی (گرم) Root weight/underground weight (g)	وزن ریشه به دانه (گرم) Root weight/grain weight (g)
آبیاری Irrigation	عدم محدودیت رطوبتی Non Moisture limitation	44.5 a	438.5 a	11142.8 a	9124.2 a	0.69 a	0.07 a	0.20 a
	محدودیت رطوبتی Moisture limitation	37.5 b	238.4 b	7702.5 b	5383.8 b	0.67 a	0.07 a	0.12 b
ژنوتیپ Genotype	ET-82-15	45.0 a	521.2 a	12479.6 a	9545.8 a	0.73 a	0.10 a	0.18 a
	ET-82-8	43.9 ab	241.5 b	901.0 c	6509.3 b	0.67 a	0.06 b	0.14 a
	ET-79-17	37.1 c	270.6 b	7098.0 c	5359.6 b	0.65 a	0.06 b	0.16 a
	Juanillo-92	38.1 bc	320.4 b	11212.0 b	7601.2 ab	0.65 a	0.06 b	0.16 a
عدم محدودیت رطوبتی Non Moisture limitation	ET-82-15	47.3 ab	624.8 a	13028.7 ab	12165.5 a	0.76 a	0.09 ab	0.27 a
	ET-82-8	53.8 a	295.8 a	7445.6 cd	7649.2 b	0.63 ab	0.05 bc	0.13 bc
	ET-79-17	40.6 bc	426.0 a	9670.8 bc	7559.0 b	0.72 a	0.09 ab	0.23 ab
	Juanillo-92	36.5 bc	407.3 a	14426.0 a	9123.2 ab	0.63 ab	0.07 bc	0.17 abc
محدودیت رطوبتی Moisture limitation	ET-82-15	42.6 abc	417.7 a	11930.6 ab	6926.2 bc	0.71 ab	0.11 a	0.10 c
	ET-82-8	34.0 c	187.3 a	6356.4 cd	5369.4 bc	0.72 a	0.07 bc	0.15 abc
	ET-79-17	33.8 c	115.3 a	525.1 d	3160.2 c	0.58 b	0.04 c	0.09 c
	Juanillo-92	39.7 bc	233.5 a	7998.0 cd	6079.2 bc	0.66 ab	0.06 bc	0.14 bc

در هر ستون برای هر عامل آزمایشی، میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی دار آماری در سطح ۵درصد بر اساس آزمون دانکن هستند.

Means within columns for each factor with minimum one same letters aren't significantly different at 5% base on Duncan test

به طور کلی به نظر می رسد که با توجه به شدت زیاد محدودیت رطوبتی در این آزمایش و آبیاری از بالا و احتمال کم وجود رطوبت در قسمت های عمقی تر لوله‌های مورد استفاده در آزمایش، سیگنال-هایی که سبب افزایش تحریک رشد ریشه به سمت پایین و در نتیجه افزایش عمق نفوذ و یا طول تجمعی ریشه شوند، بسیار ضعیف بوده و لذا عمق ریشه و طول تجمعی ریشه در این آزمایش تحت تأثیر محدودیت رطوبتی افزایش نیافته است و در واقع کمبود مواد فتوسنتزی و رقابت بسیار زیاد ریشه و ساقه برای دریافت مواد فتوسنتزی در مجموع سبب کاهش رشد هر دو جزء گردیده است.

همبستگی میان عملکرد و صفات مورد بررسی

نتایج همبستگی دوگانه میان عملکرد تک بوته و صفات مورد بررسی نشان داد که در شرایط عدم محدودیت رطوبتی، وزن خشک سنبله (به همراه دانه)، تعداد دانه در گیاه و وزن ۱۰۰ دانه به ترتیب بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار (به ترتیب r =۰/۶۳۶، r =۰/۳۵۸ و r =۰/۶۳۶) (P≤ ۰/۰۵) را با عملکرد دانه تک بوته داشتند. از طرفی وزن وزن خشک سنبله (به همراه دانه) نیز بیشترین همبستگی را با وزن کل اندام‌های هوایی نشان داد (r =۰/۶۶۲) (جدول ۸). در شرایط اعمال محدودیت رطوبتی وزن خشک سنبله وزن خشک سنبله (به همراه دانه)، بیشترین همبستگی را با تعداد دانه در گیاه نشان داد (r =۰/۹۱۱). شاخص حساسیت به تنش نیز همبستگی منفی بالایی با عملکرد دانه تحت شرایط محدودیت رطوبتی داشت (r =-۰/۷۲۹). این شاخص همچنین همبستگی بالای منفی با وزن خشک سنبله وزن خشک سنبله (به همراه دانه) داشت (r =-۰/۶۹۱)، به عبارت دیگر، با افزایش شاخص حساسیت به محدودیت رطوبتی، عملکرد دانه و وزن خشک سنبله وزن خشک سنبله (به همراه دانه) تحت تاثیر محدودیت رطوبتی کاهش بیشتری یافت (جدول ۹).

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشجویان دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی ورودی

۱۳۸۷، آقایان مهندس جواد رضایی، حمید رضا عشقی زاده، شهرام ریاحی نیا، مدیریت و پرسنل محترم گلخانه تحقیقاتی و پژوهشکده علوم گیاهی و نیز همکاران محترم بخش تحقیقات غلات مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی جهت مساعدت در اجرای این مطالعه تشکر و قدردانی می‌گردد.

این طرح با حمایت مالی معونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد (طرح شماره ۴۴۰ پ، تاریخ ۸۸/۱۱/۱۰) انجام شده است. بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشکده کشاورزی و دانشگاه فردوسی مشهد تشکر و قدرانی می‌شود.

منابع

1- Ahmad, R., Qadir, S., Ahmad, N., and Hussain Shah, K. 2003. Yield potential and stability of nine wheat varieties under water stress conditions. International Journal of Agriculture and Biology 5(1): 7-9.
2- Bradford, K.J., and Hsiao, T.C. 1982. Physiological responses to moderate water stress. In: Lange, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.P., Ziegler, H. (Eds.), Encyclopedia of Plant Physiology, New Series: Physiological Plant Ecology. II. Water Relations and Carbon Assimilation, Vol. 12B. Springer, Berlin.
3- Campuzano, G.E., Miralles amd, D.J., and Slafer, G.A. 2008. Genotypic variability and response to water stress of pre- and post-anthesis phases in triticale. European JournalAgronomy 28: 171–177.
4- Erekul, O., and Kohn, W. 2006. Effect of weather and soil conditions on yield components and bread-making quality of winter wheat (*Triticum aestivun* L.) and winter triticale (*Triticosecale* Wittm) varieties in North-East Germany. Journal of Agronnomy and Crops Science 192: 452–464.
5- Fettel, N.A. 1993. Yield Physiology of Triticale Under Water Deficit: a comparison with wheat. Armidal: Univ. of New England.
6- Fischer, R.A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research 29: 897-912.
7- Garcia del Moral, L.F., Rharrabti,Y., Elhani, S., Martos, V., and Royo, C. 2005. Yield formation in mediterranean durum wheats under two contrasting water regimes based on path-coefficient analysis. Euphytica146: 203–212.
8- Giunta, F., Motzo, R., and Deidda, M. 1993. Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in a Mediterranean environment. Field Crops Research 33: 399- 409.
9- Gowing, D.J.G., Davies, W.J., and Jones, H.G. 1990. A positive root sourced signal as an indicator of soil drying in apple. Malus×domestica Borkh. Journal of Experimental Botany 41:1535-1540
10- Gregory, P.J. 2006. Plant roots (Growth, Activity and Interaction with Soils), Blackwell Publishing Pp: 150-173.
11- Grzesiak, M.T., Rzepka, A., Hura, T., Hura, K., and Skoczowski, A. 2007. Changes in response to drought stress of triticale and maize genotypes differing in drought tolerance. Photosynthetica 45 (2): 280-287.
12- Grzesiak, S., Grzesiak, M. T., Filek,W., and Stabryta, J. 2003. Evaluation of physiological screening tests for breeding drought resistant triticale (Triticosecale x Wittmack). Acta Physiologiae, Plantarum 25(1): 29-37.
13- Ivandic, V., Hackett, C.A., Zhang, Z.J., Staub, J.E., Nevo, E., Thomas, W.T.B., and Forster, B.P. 2000. Phenotipic responses of wild barley to experimentally imposed water stress. Journal of Experimental Botany 51 (353): 2021–2029.
14- Jones, H.G., and Jones, M.B. 1989. Introduction: some terminology and common mechanisms, in: H.G. Jones, T.J. Flowers, M.B. Jones (Eds.), Plants Under Stress, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1–10.
15- Kafi, M., Jafarnazhad, A., and Jami Al-ahmadi, M., 2005. Wheat: Ecology, Physiology and Yield Determination (Translated Book). Ferdowsi University of Mashhad Press. (In Persian)
16- Krenzer Jr., E.G., Nipp, T.L., and McNew, R.W. 1991.Winter wheat mainstem leaf appearance and tiller formation versus moisture treatment. Agron. J. 83, 663–667.
17- Mahajan, S., and Tuteja. N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: an overview. Archives of Biochemistry and Biophysics 444: 139–158.
18- McMaster, G.S., and Wilhelm, W.W. 2003. Simulating wheat and barley phonological responses to water and temperature stress. Journal of Agricultural Science, Cambridge 141: 129–147.
19- Naylor, R.E.L., and andSu, J. 1998. Plant development of triticale cv. Lasko at different sowing dates. Journal of Agricultural Science, Cambridge 130: 297-306.
20- Plaut, Z. 1989. Response of photosynthesis to water stress and salt stress: similarities and dissimilarities. In: Kreeb, K.H., Richter, H., Hinckley, T.M. (Eds.), Structural and Functional Responses to Environmental Stresses. SPB Academic Publishing, The Hague, the Netherlands, pp. 155–163.
21- Plaut, Z., Butow, B.J., Blumenthal, C.S. and Wrigley, C.W. 2004. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature. Field Crops Research 86: 185–198
22- Robertson, M.J., and Giunta, F. 1994. Response of spring wheat exposed to pre- anthesis water stress. Australian Journal of Agricultural Research 45: 19-35.

23- Royo, C., and Blanco, R. 1998. Use of potassium iodide to mimic drought stress in triticale. Field Crops Research 59: 201-212.
24- Sharif, S., Saffari, M., and Emam, Y. 2007. The effect of drought stress and Cycocel on barley yield (cv. Valfajr). Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resource 10(4): 281-290.
25- Sharp, R.E. 2002. Interaction with ethylene: changing views on the role of abscisic acid in root and shoot growth responses to water stress. Plant, Cell and Environment 25: 211-222.
26- Sharp, R.E., and Davies, W.J. 1989. Regulation of growth and development of plants growing with a restricted supply of water. In: Jones H.G. Flowers T.L., Jones M.B. eds. Plants under stress. Cambridge: Cambridge University Press. 71-93.
27- Sharp, R.E., and Lenoble, M.E. 2002. ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. Journal of Experimental Botany 53: 33-37.
28- Slafer, G.A., and Rawson, H.M. 1994. Sensitivity of wheat phasic development to major environment factors: a re-examination of some assumptions made by physiologists and modelers. Australian Journal of Plant Physiology 21:393-423.
29- Wyn J.R.G., and Gorham. J. 1983. Osmoregulation. In: Lange, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.P., 32- Ziegler, H. (Eds.), Physiological Plant Ecology. III. Encyclopedia of Plant Physiology, Vol.12, new edition. Springer, Berlin.