نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۴، ص. ۷۲۷-۷۱۵

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 4, Winter. 2016, p. 715-727

مطالعه کارآیی مصرف آب و شاخص‌های تحمل به تنش محدودیت رطوبتی انتهای دوره رشد در ارقام امیدبخش گندم نان (*Triticum astivum L.*)

محمود ناظری[1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۷

چکیده

به‌منظور مطالعه کارآیی مصرف آب و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی، ۱۰ لاین در حال نام‌گذاری گندم مناطق سرد در یک طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۱۳۸۹-۱۳۸۷) در ایستگاه تحقیقاتی طرق مشهد مورد مقایسه قرار گرفتند. فاکتور محدودیت رطوبتی (آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم و قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو گندم) در کرت‌های اصلی و ۱۰ لاین امیدبخش گندم در کرت‌های فرعی قرار گرفت. نتایج نشان داد عملکرد دانه در تیمارهای قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) و قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو گندم (L3) به‌ترتیب ۱۸/۶و ۴۵/۳ درصد نسبت به شرایط بهینه رطوبتی کاهش پیدا کرد. مقایسه ژنوتیپ نشان داد که ژنوتیپ‌های V5، V4و V10 به‌ترتیب با ۱/۸۸۵، ۱/۷۵۶ و ۱/۸۳۳ کیلوگرم در متر مکعب، بیشترین کارآیی مصرف آب را دارا بودند. نتایج نشان داد شاخص فرناندز (STI) برآورد نزدیکتری از عملکرد در شرایط تنش (r = ۰/۹۳**) و بهینه (r =۰/۵۰**) ارائه نمود. در شرایط قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) براساس شاخص تحمل (STI) ژنوتیپ‌های V5، V4، V10، V7 و V8 و در شرایط قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو گندم (L3) ژنوتیپ‌های V5، V4 و V10 به‌ترتیب بالاترین شاخص تحمل به تنش رطوبتی را دارا بودند، بنابراین باتوجه به برتری ژنوتیپ‌های V5، V4 و V10 از نظر کارآیی مصرف آب و شاخص تحمل به تنش محدودیت رطوبتی می‌توان آنها را برای شرایط مشابه این بررسی توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، ظهور بساک، مراحل نمو

مقدمه

خشکی از عمده‌ترین عوامل محدودکننده تولید گندم (*Triticum astivum L.*) در کشور می‌باشد، متوسط نزولات آسمانی کشور ۲۴۰ میلی‌متر است که در طبقه‌بندی اقلیمی، جزء مناطق خشک جهان طبقه‌بندی می‌شود (۱۰ و ۲۵). در مناطق فاریاب به دلیل محدودیت منابع آبی و عدم تطابق سطح زیر کشت گندم با آب قابل دسترس کشاورزان نیاز آبی گیاه به‌طور کامل برآورده نشده و گندم تحت تنش خشکی قرار می‌گیرد. دسترسی به ارقام گندم که در شرایط رطوبتی مطلوب از پتانسیل عملکرد بالایی برخوردار بوده و تحت شرایط تنش نیز کاهش عملکرد آنها ناچیز باشد یک هدف اساسی اصلاحی است (۹). همچنین مجموعه‌ای از صفات فنولوژیکی، مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی در تحمل به خشکی گندم دخالت داشته و اهمیت این صفات بسته به نوع خشکی از نظر زمان و شدت متفاوت می‌باشد. بنابراین دسترسی به ارقامی که درصورت مواجهه با تنش انتهای فصل کاهش عملکرد دانه کمتری داشته باشند، می‌تواند نقش مهمی در بهبود تولید ایفا نماید.

به‌طور کلی به منظور افزایش کارآیی مصرف آب بایستی به محیط مورد نظر یا مقصد توجه داشت، زیرا یک صفت ممکن است در یک محیط مؤثر و در محیط دیگر اثرات دیگری داشته باشد. برخی صفات مثل قدرت رشد اولیه، ظرفیت ریشه برای جذب با افزایش عمق و گسترش آن به‌طور عمومی در شرایط قطع آبیاری می‌توانند به افزایش کارآیی مصرف آب کمک کنند. آراوس و همکاران (۲) گزارش کردند که کمبود آب نزدیک مرحله گلدهی، تشکیل دانه و باروری آن‌را کاهش داد، در حالی‌که اعمال تنش در مرحله پر شدن دانه‌ها، ظرفیت انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها را کاهش داده و باعث چروکیدگی دانه‌ها و کاهش وزن هزار دانه شد. بنابراین آنها نتیجه گرفتند تولید

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
(*- نویسنده مسئول: Email: smnazeri56@yahoo.com)

مواد فتوسنتزی و انتقال مجدد آنها مرتبط با مرحله‌ای است که تنش خشکی اتفاق افتاده است. کالدرینی و همکاران (۴) معتقدند که افزایش عملکرد دانه عمدتاً مرهون افزایش تعداد دانه بوده و این جزء عملکرد اهمیت بیشتری از وزن دانه داشته است. اگرچه هر دو عامل منبع[1] و مخزن[2] باعث محدودیت عملکرد می‌شوند، اما شواهد نشان می‌دهد حتی در مورد لاین‌های جدید گندم نیز مخزن بیشتر محدودکننده است (۱۷). در شرایط قطع آبیاری عملکرد به مقدار آب تبخیر و تعرق یافته، راندمان مصرف آب و شاخص برداشت بستگی دارد. راندمان مصرف آب هنگامی‌که آب قابل دسترس در انتهای فصل رشد (دوره پر شدن دانه) زیاد باشد، افزایش می‌یابد. بنابراین یکی از صفت‌های مهم برای افزایش عملکرد دانه تحت شرایط محدودیت رطوبتی تطابق مراحل فنولوژی و الگوی بارندگی فصلی است (۲ و ۱۰). در حقیقت تطابق مراحل فنولوژی با الگوی بارندگی فصلی در شرایط قطع آبیاری هم آب تبخیر و تعرق یافته و هم راندمان مصرف آب را بهبود می‌بخشد (۲). ولی برخی از صفات عموماً در افزایش کارآیی مصرف آب مهم هستند، مثلاً زمان مناسب گلدهی مهمترین صفت زراعی در مناطق خشک است که می‌توان در همبستگی با افزایش کارآیی مصرف آب به آن اشاره کرد، که البته برای ایجاد تنوع ژنتیکی بیشتر به کارهای به‌نژادی گسترده‌تری نیاز است. به‌عنوان مثال کاشت زودتر به منظور زمان مناسب گلدهی ممکن است با محدودیت‌های ژنتیکی از نظر حساسیت به طول روز و بهاره‌سازی مواجه شود و نیاز به ارقامی باشد که در مقایسه با ارقام رایج تفاوت‌هایی داشته باشند (۱۷ و ۱۸).

با توجه به اینکه مرحله بعد از ظهور بساک و پر شدن دانه‌ها یکی از مراحل بحرانی و حساس نمو گندم نسبت به تنش خشکی می‌باشد و از طرف دیگر معمولاً آبیاری‌های آخر گندم با آبیاری کشت محصولات تابستانه تلاقی می‌نماید و کشاورزان آبیاری‌های آخر گندم را حذف می‌نمایند، هدف از اجرای این آزمایش تعیین ارقام برتر و متحمل به تنش انتهای فصل جهت کشت ارقام با برتری نسبی نسبت به ارقام موجود می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۱۳۸۹-۱۳۸۷) در ایستگاه تحقیقاتی طرق مشهد اجرا شد. تیمار آبیاری در سه سطح شامل: ۱- آبیاری کامل (براساس نیاز گیاه در مراحل مختلف رشد و نمو گندم) ۲- قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم ۳- قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو گندم، در کرت‌های اصلی و تعداد ۱۰ لاین امید بخش گندم شامل: ۱- توس (شاهد)، ۲- C-81-10 ۳- C-84-5509 ۴- C-84-4 ۵- C-84-8 ۶- C-D-85-15 ۷- C-D-85-9 ۸- C-D-84-5502 ۹- C-D-85-5502 ۱۰- C-85-6 حاصل از آزمایش‌های سازگاری (الیت) در شرایط خشکی انتهای فصل، در کرت‌های فرعی مورد مطالعه قرار گرفت. به‌منظور جلوگیری از بارندگی در تیمارهای تنش رطوبتی، از باران‌گیر متحرک[3] استفاده شد. این باران‌گیرها متحرک و همچنین از نظر ارتفاع چتر قابل تنظیم بودند. با پیشرفت مراحل رشد ارتفاع چتر تنظیم شده و چتر فقط در زمان بارندگی گسترده و بلافاصله پس از خاتمه بارندگی جمع‌آوری شد. هر کرت فرعی شامل ۱۲ ردیف کاشت به فواصل ۲۰ سانتی‌متر و طول پنج متر بود. سه ردیف کاشت از هر طرف به‌منظور اثرات حاشیه‌ای، حذف شدند و شش ردیف باقیمانده پس از حذف یک متر از ابتدا و انتهای هر کرت برداشت شد. بنابراین مساحت کاشت هر کرت فرعی ۱۲=۵×۰/۲×۱۲متر مربع و مساحت برداشت ۳/۶=۳×۰/۲×۶ متر مربع بود. رطوبت موجود در حد فاصل ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی آب قابل استفاده گیاه می‌باشد که به‌منظور عدم مواجهه گیاه با تنش، آبیاری با تخلیه ۵۰ درصد این میزان رطوبت انجام می‌شود (۱۰، ۱۴ و ۲۶)، بنابراین به منظور تعیین این میزان رطوبت در تیمار آبیاری کامل نمونه‌هایی از خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متری اخذ شد و پس از خشک کردن کامل در آون آزمایشگاهی و سنجش درصد رطوبت وزنی، آبیاری در زمان مناسب انجام شد (۱۸). میزان بذر مصرفی لاین‌ها و ارقام گندم براساس تراکم ۴۵۰ بذر در مترمربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه آنها تعیین شد. برای کنترل علف‌های هرز از توفوردی و پوماسوپر با غلظت یک و نیم لیتر در هکتار استفاده شد. مرحله ظهور بساک نیز با مشاهده پرچم‌ها در قسمت میانی ۵۰ درصد سنبله‌ها و مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی با زرد شدن ۵۰ درصد میانگره‌های انتهایی تعیین و تعداد روز لازم تا هر یک از این مراحل محاسبه گردید (۱۳). با برش بوته‌های هر کرت از سطح زمین و توزین آنها از سطح ۳/۶ مترمربع، عملکرد بیولوژیک در هر کرت محاسبه شد، پس از جداسازی کاه و دانه و توزین دانه، عملکرد دانه به‌دست آمد. پس از برداشت براساس موازین طرح تجزیه واریانس ساده سالیانه و سپس تجزیه مرکب دوساله انجام و شاخص‌های حساسیت و تحمل به خشکی (شاخص حساسیت به تنش SSI، شاخص تحمل به تنش (STI) و شاخص تحمل (TOL)) و کارآیی مصرف آب آبیاری (WUE) محاسبه و نهایتاً مشخصات فوق برای لاین‌های گندم در حال نام‌گذاری مشخص و با یکدیگر مقایسه شد.

1- Source
2- Sink
3- Mobile rain shelter

به‌منظور تعیین شاخص حساسیت به تنش رطوبتی ابتدا شدت سختی محیط (D) و سپس شاخص حساسیت به تنش از معادلات زیر محاسبه شد (۱۰).

$$D = 1- (Yd/Yp) \quad (۱)$$

در این معادله D شدت سختی محیط، Yd متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش، Yp متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش می‌باشد.

$$SSI = (1-(Ydi/Ypi)) /D \quad (۲)$$

در معادله فوق، SSI شاخص حساسیت به تنش رطوبتی، Ydi عملکرد ژنوتیپ i در شرایط تنش، Ypi عملکرد ژنوتیپ i در شرایط بدون تنش است.

مقدار SSI کمتر نشان‌دهندهٔ، حساسیت کمتر یک ژنوتیپ به تنش است و SSI کمتر همچنین نشان‌دهندهٔ تغییرات کمتر عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش است. در نتیجه پایداری آن ژنوتیپ بیشتر است. شاخص تحمل به تنش (STI) از معادله زیر محاسبه شد (۸):

$$STI =(Ypi \times Ysi)/ (Yp)^2 \quad (۳)$$

Ypi عملکرد ژنوتیپ i در محیط بدون تنش، Ysi عملکرد ژنوتیپ i در محیط تنش وYp متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش است.

ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به تنش براساس این شاخص دارای مقادیر بالاتر STI خواهد بود. با استفاده از این شاخص امکان تشخیص ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش از نظر عملکرد برتری نسبی داشته و عملکرد بالاتری تولید می‌کنند، وجود دارد.

شاخص تحمل (TOL) به روش زیر محاسبه شد (۲۰):

$$TOL= Ypi – Ysi \quad (۴)$$

در این معادله‌ها Ypi و Ysi عملکرد ژنوتیپi به‌ترتیب در محیط بدون تنش و با تنش می‌باشد.

با استفاده از شاخص TOL امکان تفکیک ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش‌دار هم عملکرد نسبی بالاتری دارند نسبت به ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط بدون تنش عملکرد بالایی دارند، وجود دارد.

با اندازه‌گیری میزان آب ورودی در هر بار آبیاری در هر کرت میزان آب مصرفی در هر بار آبیاری به‌دست آمد و کارایی مصرف آب در هرکدام از تیمارها با تقسیم میزان آب مصرفی بر عملکرد هر رقم محاسبه شد. به منظور تجزیه مرکب داده‌ها ابتدا آزمون بارتلت جهت اطمینان از متجانس بودن خطای آزمایشات انجام شد (۲۴). محاسبات F و مقایسات میانگین با فرض تصادفی بودن سال و ثابت بودن تیمار انجام شد (۵). جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از نرم افزارهای Excel و SAS استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

اثر محدودیت رطوبتی، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محدودیت رطوبتی بر عملکرد دانه در سطح ۱٪ معنی دار بود (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه در شرایط بهینه رطوبتی حاصل شد (۸/۴۷۶ تن در هکتار). قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو و قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو گندم به‌ترتیب سبب کاهش عملکرد دانه به میزان ۱۸/۶درصد و ۴۵/۳ درصد شد (جدول ۲). در تحقیقات مختلف اعمال تنش به‌ویژه پس از مرحله ظهور بساک کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و بیولوژیک را به‌دنبال داشته است که با نتایج این تحقیق موافقت دارد (۱۲ و ۲۵). مقایسه ژنوتیپ‌های گندم از نظر عملکرد دانه نشان داد که ژنوتیپ‌های V5 و V4 بالاترین عملکرد را در متوسط شرایط محدودیت رطوبتی داشتند (به‌ترتیب ۷/۵۹۳ و ۷/۱۷۰ تن در هکتار) و کمترین عملکرد دانه نیز مربوط به ژنوتیپ V1 با عملکرد ۶/۱۲۵ تن در هکتار (جدول ۲) بود. نتایج نشان داد که در شرایط بهینه رطوبتی (L1) ژنوتیپ‌های V5 و V4 به‌ترتیب با عملکرد دانه ۹/۷۱۲ و ۹/۴۷۵ تن در هکتار برترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه بودند (جدول ۴). با اعمال قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) ژنوتیپ‌های V5، V10، V4، V9 و V7 به‌ترتیب با عملکرد دانه ۷/۲۵۰، ۷/۲۱۷، ۷/۲۱۶، ۷/۱۷۹ و ۷/۰۴۴ تن در هکتار بالاترین عملکرد را دارا بودند (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات تعداد روز تا ظهور بساک و رسیدگی فیزیولوژیک نشان داد اثر محدودیت رطوبتی در ارتباط با تعداد روز تا ظهور بساک غیر معنی‌دار ولی در ارتباط با تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر ژنوتیپ نیز در ارتباط با تعداد روز تا ظهور بساک (در سطح ۱٪) و رسیدگی فیزیولوژیک (در سطح ۵٪) معنی‌دار معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج نشان داد، بین شرایط بهینه رطوبتی (L1)، اعمال قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) و قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو (L3) هیچ تفاوتی از نظر تعداد روز تا ظهور بساک وجود نداشت (جدول ۵). به دلیل شرایط بهینه رطوبتی در تیمارهای L1، L2 و L3 تا مرحله ظهور بساک تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد روز تا ظهور بساک مشاهده نشد اما تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک تحت تأثیر محدودیت رطوبتی قرار گرفت.

ژنوتیپ‌های V5، V8 و V9 به‌ترتیب با عملکرد دانه ۵/۳۹۸، ۵/۰۷۶ و ۴/۹۰۹ تن در هکتار و بدون اختلاف معنی‌داری با یکدیگر، بالاترین عملکرد دانه را به‌خود اختصاص دادند (جدول ۴).

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب (دو ساله) عملکرد دانه، روز تا ظهور بساک، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، راندمان مصرف آب عملکرد دانه (WUEG) و راندمان مصرف آب عملکرد بیولوژیک (WUEB)

Table 1- Combined analysis of variance (over two years) for grain yield (GY), biological yield (BY), days to anthesis (DA), days to physiological maturity (DPM), water use efficiency for grain (WUE_G) and biological (WUE_B) yield

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی DF	میانگین مربعات (MS)				
		عملکرد دانه (GY)	روز تا ظهور بساک (DA)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DPM)	راندمان مصرف آبیاری (WUE_G)	راندمان مصرف آبیاری (WUE_B)
سال Year (Y)	1	42.529*	1383.3**	1805**	1.1 ns	6.59 ns
سال/تکرار Replication/Year	4	3.861	4.8	10.0	0.3	3.93
محدودیت رطوبتی (L) Water limitation	2	203.4**	40.0 ns	17182**	12.4**	128.8**
سال× محدودیت رطوبتی L ×Y	2	0.556 ns	17.7 ns	6.0 ns	0.5*	5.62*
خطای Ea a	8	0.586	9.7	51.5	0.1	1.12
ژنوتیپ Genotype (G)	9	3.517**	74.9 **	23.5**	0.2**	8.58**
سال × ژنوتیپ Y ×G	9	0.537 ns	13.5 **	2.1 ns	0.04 ns	0.39 ns
محدودیت رطوبتی × ژنوتیپ L ×G	18	1.273**	19.1 ns	17.7**	0.07	0.60*
سال × محدودیت رطوبتی × ژنوتیپ L ×G × Y	18	0.156 ns	14.1**	2.6 ns	0.02 ns	0.27 ns
خطای Eb b	108	0.425	1.2	2.8	0.06	0.353
%CV		9.96	8.2	6.0	14.6	15.4

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم‌معنی‌دار.

**, * and ns are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level and non-significant, respectively.

برای مقایسه ژنوتیپ‌های گندم تحت تنش رطوبتی، عملکرد دانه مهمترین معیار می‌باشد. البته عملکرد صفتی است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود و متأثر از شرایط محیطی می‌باشد. هرچند جمع‌آوری کلیه ژن‌های مطلوب و مؤثر در تحمل به خشکی در یک رقم امکان‌پذیر نیست، لیکن این امر مانع استفاده از قابلیت صفت عملکرد دانه به‌عنوان یک معیار مهم برای مطالعه تحمل به خشکی نشده است (۹).

در طی دوره رشد و نمو گندم مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه جزء حساس‌ترین مراحل رشد و نمو گندم بوده و در صورت وقوع تنش خشکی عملکرد کاهش خواهد یافت. بنابراین ارقامی که درصورت مواجهه با شرایط محدودیت رطوبتی انتهای فصل کاهش کمتر عملکرد دانه داشته باشند می‌تواند در جلوگیری از کاهش عملکرد دانه در مناطقی با تنش انتهای فصل که از تنش‌های معمول آب و هوای مدیترانه‌ای می‌باشد نقش مهم ایفا نماید. نتایج این مطالعه نشان داد ژنوتیپ‌های V5، V10، V4، V9 و V7 در صورت مواجهه با شرایط تنش خشکی در مرحله شیری دانه و ژنوتیپ‌های V5، V8 و V9 در شرایط تنش خشکی از مرحله ظهور بساک تا انتهای فصل رشد واکنش مناسبی از نظر عملکرد دانه نشان می‌دهند و بنابراین برای شرایط مشابه قابل توصیه می‌باشند. دانشمندان معتقدند از نظر تحمل به خشکی بین ارقام گندم واریانس ژنوتیپی وجود دارد و معمولاً ارقامی که در شرایط معمولی از عملکرد زیادی برخوردارند، شرایط تنش را نیز بهتر تحمل نموده و عملکرد قابل قبولی تولید می‌کنند (۱۶، ۲۱ و ۲۲) که با نتایج این تحقیق موافقت دارد.

تعداد روز تا ظهور بساک و رسیدگی فیزیولوژیک

با قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک به ۱۴۸ روز و با قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو (L3) تعداد روز تا رسیدگی

فیزیولوژیک به ۱۴۴ روز نسبت به شرایط بهینه رطوبتی (L1) ۱۵۵ روز) کاهش یافت (جدول ۲). کاهش تعداد روز تا ظهور بساک تحت شرایط محدودیت رطوبتی قبل از ظهور بساک و کاهش تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و کاهش دوره پر شدن دانه معمولاً در محدودیت رطوبتی پس از مرحله ظهور بساک اتفاق می‌افتد (۱۷، ۲۰ و ۲۲). کمترین تعداد روز تا ظهور بساک متعلق به ژنوتیپ V4 (۱۱۸ روز) و کمترین تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک متعلق به ژنوتیپ V9 (۱۴۲ روز) بود (جدول ۲). معمولاً افزایش نسبی دوره پر شدن دانه‌ها در شرایط معمولی باعث انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شده و در نتیجه وزن دانه افزایش می‌یابد.

جدول ۲- میانگین‌های (دو ساله) اثرات اصلی ژنوتیپ و محدودیت رطوبتی صفات عملکرد دانه، روز تا ظهور بساک و رسیدگی فیزیولوژیک، راندمان مصرف آب عملکرد دانه (WUE_G) و عملکرد بیولوژیک (WUE_B)

Table 2- Means comparison (over two years) of main effects of genotypes and water deficits for grain yield (GY), biological yield (BY), days to anthesis (DA), days to physiological maturity (DPM), water use efficiency for grain (WUE_G) and biological (WUE_B) yield

تیمار Treatment	عملکرد دانه GY (ton ha^{-1})	روز تا ظهور بساک (DA)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DPM)	راندمان مصرف آب عملکرد دانه (WUE_G) kg m^{-3}	راندمان مصرف آب عملکرد بیولوژیک (WUE_B) kg m^{-3}
محدودیت رطوبتی Water Deficit					
L1	8.48 a	121.0 a	154.7 a	1.28 c	3.14 b
L2	6.90 b	119.9 a	148.8 b	1.60 b	4.23 b
L3	4.81 c	119.4 a	144.0 c	2.18 a	6.046 a
ژنوتیپ Genotypes					
V1	6.60 cde	119.8 abc	149.3 ab	1.65 cde	4.59 abc
V2	6.13 e	121.8 ab	149.3 ab	1.52 e	4.19 c
V3	6.68 cd	119.6 bc	149.3 ab	1.63 cde	4.17 c
V4	7.17 ab	117.9 c	149.1 b	1.76 abc	4.41 bc
V5	7.59 a	122.2 ab	149.2 ab	1.89 a	4.06 a
V6	6.19 de	118.2 c	150.4 a	1.58 de	4.26 c
V7	6.59 cde	122.6 a	150.2 a	1.65 cde	4.21 c
V8	6.67 cd	119.7 abc	149.3 ab	1.70 bcd	4.35 bc
V9	6.60 cde	119.8 abc	146.2/۲ c	1.68 bcde	4.63 abc
V10	7.06 bc	119.8 abc	149.1 b	1.83 ab	8.04 ab

در هر ستون و برای هر تیمار، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشند

Means followed by the same letters in each column are not significantly different at 5% level, according to Duncan's Multiple Range Test.

*: شرایط بهینه رطوبتی (L1)، اعمال قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) و قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو (L3)

* L1: Optimum condition, L2: removal irrigation and using rainshelter from milky grain stage to maturity L3: removal irrigation and using rainshelter from anthesis to maturity.

جدول ۳- میانگین‌های سالانه اثرات اصلی ژنوتیپ و محدودیت رطوبتی صفات عملکرد دانه، روز تا ظهور بساک و رسیدگی فیزیولوژیک

Table 3- Means comparison (Annuval) of main effects of genotypes and water limitations for grain yield (GY), biological yield (BY), days to anthesis (DA), days to physiological maturity (DPM)

تیمار Treatment	عملکرد دانه GY (ton ha^{-1})		روز تا ظهور بساک (DA) (Days)		روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (DPM) (Days)	
	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
محدودیت رطوبتی* Water deficit*						
L_1	8.10 a	8.85 a	118.0 a	123.4 a	151.2 a	158.2 a
L_2	6.36 b	7.44 b	117.6 a	122.4 a	145.7 b	151.2 b
L_3	4.26 c	5.35 c	117.5 a	121.9 a	141.1 c	146.2 c
ژنوتیپ Genotypes						
V_1	6.04 cde	7.17 bc	117.2 b	122.3 c	146.4 a	152.1 b
V_2	5.59 e	6.66 cd	119.3 a	124.3 b	146.0 a	152.6 b
V_3	6.24 cd	7.11 bc	117.3 b	121.8 c	146.2 a	152.4 b
V_4	6.84 ab	7.50 b	115.6 c	120.3 d	145.8 a	152.4 b
V_5	7.01 a	8.17 a	119.3 a	125.0 b	145.9 a	152.6 b
V_6	5.98 de	6.42 d	115.8 c	120.7 d	147.3 a	153.4 ab
V_7	5.92 cde	7.26 bc	117.4 b	127.8 a	146.6 a	154.2 a
V_8	6.02 cd	7.31 bc	117.0 b	122.4 c	146.4 a	152.1 b
V_9	6.16 cde	7.04 bcd	117.6 b	122.0 c	142.6 b	148.9 c
V_{10}	6.63 bc	7.49 b	117.1 b	122.4 c	145.7 a	152.4 b

در هر ستون و برای هر تیمار، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشند

Means followed by the same letters in each column are not significantly different at 5% level, according to Duncan's Multiple Range Test.

*: شرایط بهینه رطوبتی (L1)، اعمال قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) و قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو (L3)

* L1: Optimum condition, L2: removal irrigation and using rainshelter from milky grain stage to maturity L3: removal irrigation and using rainshelter from anthesis to maturity.

البته به نظر می‌رسد در شرایط تنش رطوبتی سرعت انتقال از اهمیت بیشتری برخوردار است و در این شرایط زودرسی نسبی صفتی مطلوب تلقی می‌شود (۱۳، ۱۵ و ۱۷). دستفال و رمضان پور (۶) و قدسی و همکاران (۱۰) در آزمایشات خود دلایل تحمل به خشکی رقم چمران را زودرسی نسبی آن در شرایط تنش رطوبتی عنوان نموده‌اند. نتایج نشان داد شرایط بهینه رطوبتی (L1) باعث افزایش با تعداد روز تا ظهور بساک و درجه روز رشد تا رسیدگی فیزیولولوژیک شد (جداول ۲ و ۳). افزایش تعداد روز تا ظهور بساک باعث می‌شود که دوره رشد سنبله جوان (سنبلچه انتهایی تا ظهور بساک) نیز طولانی‌تر شود. با توجه به اینکه دوره رشد سنبله از مراحل مهم تعیین‌کننده پتانسیل عملکرد دانه است و تعداد دانه که از محدودکننده‌ترین اجزاء عملکرد است در این مرحله شکل می‌گیرد و

همچنین تقاضا برای مواد فتوسنتزی (مواد پرورده) به دلیل رقابت شدید بین سنبله و ساقه در حال رشد افزایش می‌یابد، بنابراین محدودیت رطوبتی در این مرحله رقابت را تشدید خواهد کرد (۵). شرایط مناسب رطوبتی در تیمارهای L3 و L2 در قبل از ظهور بساک باعث شد تعداد روز تا ظهور بساک در حد شرایط بهینه رطوبتی باشد حال آنکه قطع آبیاری در مرحله پس از ظهور بساک تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک را در تیمار L3 به پایین‌ترین سطح تنزل داد (جداول ۲ و ۳). در صورتی‌که گیاه با قطع آبیاری مواجه نشود دوره پر شدن دانه تابعی از درجه حرارت خواهد بود. بنابراین کاهش درجه حرارت در طول دوره پر شدن دانه در شرایط بهینه رطوبتی باعث افزایش زمان دوره پرشدن دانه خواهد شد. در مراحل اولیه دوره پر شدن دانه (پس از ظهور بساک) ابتدا سلول‌های آندوسپرم شکل می‌گیرند که مخزن واقعی برای تجمع مواد پرورده در مرحله فعال بعدی دوره پر شدن دانه هستند، تجمع مواد پرورده تا رسیدگی فیزیولوژیک ادامه می‌یابد بنابراین در شرایط بهینه رطوبتی، دوره پر شدن دانه طولانی از دلایل افزایش عملکرد است (۴، ۷ و ۲۲). در شرایط قطع آبیاری تعداد روز کمتر تا ظهور بساک به مفهوم استفاده بیشتر از ذخیره آب خاک در طی مرحله پر شدن دانه خواهد بود. در یک بررسی فقط چند روز گلدهی زودتر باعث شد که ۱۰ تا ۱۵ میلی‌متر آب بیشتر در مرحله پرشدن دانه در اختیار گیاه قرار گیرد که یک مکانیزم فرار از خشکی تلقی می‌شود (۱). کاهش دوره پر شدن دانه در این شرایط نیز باعث می‌شود که گیاه کمتر در معرض شرایط نامساعد (رطوبتی، حرارتی) قرار گیرد و بنابراین در شرایط تنش از کاهش بیشتر عملکرد جلوگیری خواهد کرد. تعداد روز کمتر تا ظهور بساک در شرایط خشکی انتهای فصل رشد علاوه بر استفاده بیشتر از ذخیره رطوبت خاک در طول مرحله پر شدن دانه، باعث می‌شود که دوره پرشدن دانه در زمانی واقع شود که کاهش فشار بخار و درجه حرارت (نسبت به ظهور سنبله دیرتر) کمتر است و بنابراین در افزایش عملکرد در شرایط محدودیت رطوبتی انتهای فصل رشد (آب و هوای مدیترانه‌ای) مؤثر است (۲۰).

به نظر می‌رسد که در شرایط قطع آبیاری ژنوتیپ‌هایی که دوره پر شدن دانه را زودتر شروع کنند و با رسیدگی زودتر و در نتیجه کاهش درجه روز رشد در دوره پر شدن دانه کمتر در معرض عوامل نامساعد انتهای فصل (تنش رطوبت، درجه حرارت و حتی تنش‌های زنده مثل بیماری‌ها) قرار بگیرند از عملکرد بالاتری در شرایط قطع آبیاری برخوردار خواهند بود. دوره پر شدن دانه در شرایط قطع آبیاری انتهایی در زمانی واقع می‌شود که درجه حرارت بالا و قطع آبیاری فتوسنتز را مختل می‌کند بنابراین ژنوتیپ‌هایی که با تنظیم مراحل فنولوژیک کمتر در معرض این شرایط قرار بگیرند از عملکرد بالاتری در شرایط تنش برخوردار می‌باشند (۱۱). این ویژگی‌ها در ژنوتیپ‌های V9 و V4 تا حدودی ژنوتیپ V5 در این بررسی قابل توجه بود (جداول ۲ و ۳).

راندمان مصرف آب (WUE)

نتایج نشان داد که اثر محدودیت رطوبتی بر راندمان مصرف آب محاسبه شده براساس عملکرد دانه (WUEG) و عملکرد بیولوژیک (WUEB) و اثر ژنوتیپ بر راندمان مصرف آب محاسبه شده براساس عملکرد دانه (WUEG) در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). اعمال قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) و قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو (L3) موجب شد عملکرد دانه و بیولوژیک به‌ازای هر واحد آب مصرفی در مقایسه با شرایط بهینه رطوبتی (L1) افزایش یابد و به‌ترتیب به ۰/۳۱۷ و ۰/۸۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب (برای عملکرد دانه) و به ۱/۰۹۵ و ۲/۹۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب (برای عملکرد بیولوژیک) برسد (جدول ۲). ریچاردز و همکاران (۱۸) گزارش کردند که زودرسی در شرایط قطع آبیاری یک صفت کارآمد برای بهبود کارآیی مصرف آب است. قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) موجب کاهش درجه روز رشد تا رسیدگی فیزیولوژیک در مقایسه با شرایط بهینه رطوبتی (L1) شد، بنابراین کاهش روز تا رسیدگی فیزیولوژیک تیمار L2 و L3 نسبت به L1 که موجب شد دوره پر شدن دانه در زمان مناسب‌تری واقع شود، دلیل دیگری برای افزایش کارآیی مصرف آب (WUE) در تنش رطوبتی (تیمار L2 و L3) می‌تواند باشد.

مقایسه ژنوتیپ‌های گندم از نظر عملکرد دانه تولیدی به‌ازای هر واحد آب مصرفی نشان داد که ژنوتیپ‌های V5، V4 و V10 به‌ترتیب با ۱/۸۸۵، ۱/۱۷۵۶ و ۱/۸۳۳ کیلوگرم در متر مکعب آب مصرفی بیشترین کارآیی مصرف آب را دارا بود و پس از آن ژنوتیپ‌های V8 و V9 به‌ترتیب با ۱/۶۹۸ و ۱/۶۷۷ کیلوگرم در متر مکعب آب مصرفی قرار داشتند (جدول ۲). اختلاف ژنوتیپ‌ها از نظر کارآیی مصرف آب به توانایی آنها از نظر جذب رطوبت خاک و گسترش سیستم ریشه و توانایی آنها در اختصاص بیشتر ماده خشک به دانه مربوط می‌شود (۱ و ۲۳). گزارش‌های متعددی تنوع ژنتیکی را در بین ارقام گندم از نظر کارآیی مصرف آب مورد تأکید قرار داده است (۳، ۱۰، ۱۳، ۱۸ و ۱۹). این گزارش‌ها در موافقت با نتایج حاصل از این بررسی است.

ارزیابی حساسیت یا تحمل ارقام گندم به تنش رطوبتی با استفاده از شاخص‌های مختلف

شاخص حساسیت به تنش (SSI)

مقایسه ژنوتیپ‌های گندم از نظر شاخص حساسیت به تنش (SSI) نشان داد که ژنوتیپ‌های V9، V8 و V7 به‌ترتیب با ۰/۵۹، ۰/۷۱ و ۰/۷۵ کمترین میانگین شاخص حساسیت به تنش را داشت

(جدول ۴). مقدار کمتر SSI نشان‌دهندهٔ تغییرات کمتر عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط بهینه و در نتیجه پایداری بیشتر عملکرد آن ژنوتیپ است (۱۵). بنابراین شاخص SSI ژنوتیپ‌هایی را که در هر دو محیط (تنش و بدون تنش) از نظر عملکرد برتری نسبی دارند، مشخص نمی‌کند بلکه تغییرات کمتر عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط بهینه و در نتیجه پایداری بیشتر را نشان می‌دهد. شاخص SSI کمتر ژنوتیپ‌های V9، V8 و V7 نشان‌دهندهٔ تغییرات کمتر و در نتیجه پایداری بیشتر عملکرد این ژنوتیپ‌ها در محیط‌های بدون تنش و دارای تنش بود در صورتی‌که نتایج نشان داد که هم در شرایط بهینه و هم در شرایط تنش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بیشتر وجود داشتند (جدول ۴). در مجموع براساس شاخص حساسیت به تنش (SSI) ژنوتیپ‌های V9، V8 و V7 بهترین واکنش را دارا بودند (جدول ۴).

شاخص تحمل به تنش (STI)

براساس شاخص تحمل (STI) ژنوتیپ‌های V5، V4و V10 به‌ترتیب با ۰/۸۹، ۰/۷۹ و ۰/۷۷ بالاترین میانگین شاخص تحمل به تنش محدودیت رطوبتی را دارا بودند (جدول ۴). ژنوتیپ‌هایی که مقدار بیشتر این شاخص را دارا باشند انتظار می‌رود که هم در شرایط بهینه و هم در شرایط تنش عملکرد بالاتری داشته باشند (۸). با توجه به اهمیت این شاخص و به‌منظور حصول نتایج کاربردی نتایج را در شرایط محدودیت رطوبت متفاوت مورد بررسی قرار می‌دهیم.

در شرایط قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) که تقریباً معادل حذف آخرین آبیاری گندم است براساس شاخص تحمل (STI) ژنوتیپ‌های V5، V4، V10، V7، V8 و V9 به‌ترتیب با ۱/۰۴، ۰/۹۵، ۰/۹۲، ۰/۷۹، ۰/۷۹ و ۰/۷۷ بالاترین میانگین شاخص تحمل به تنش رطوبتی را دارا بودند (جدول ۴).

در شرایط قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو (L3) که تقریباً معادل حذف ۲ آبیاری انتهایی گندم است براساس شاخص تحمل (STI) ژنوتیپ‌های V5، V4، V10 و V8 به‌ترتیب با ۰/۷۲، ۰/۶۳، ۰/۶۱ و ۰/۵۵ بالاترین میانگین شاخص تحمل به تنش رطوبتی را دارا بودند (جدول ۳). ملاحظه می‌شود که ژنوتیپ‌های V4، V10، V7، V8 و V9 در شرایط بدون تنش بالاترین عملکردها را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارا بودند (جدول ۴) و همین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش نیز عملکرد بالاتری نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها دارا بودند (جدول ۴) بنابراین به نظر می‌رسد که شاخص تحمل (STI) برآورد بهتری از عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بهینه ارائه کرد.

شاخص تحمل به تنش (TOL)

با توجه به اینکه این شاخص افت عملکرد را در شرایط تنش نسبت به شرایط بهینه نشان می‌دهد بنابراین براساس این شاخص امکان تفکیک ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش نیز عملکرد نسبی بالاتری دارند، نسبت به ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط تنش عملکرد بالاتری دارند، فراهم می‌شود (۲۳). با توجه به اینکه مقدار کمتر این شاخص (افت کمتر عملکرد در شرایط تنش) نشان‌دهنده تحمل بیشتر به تنش می‌باشد، ژنوتیپ V9 با میانگین شاخص TOL، ۱/۶۱۲ و ژنوتیپ V8 با میانگین شاخص TOL، ۱/۸۱۹ و ژنوتیپ V7 با میانگین شاخص TOL، ۲/۰۵۴ به‌ترتیب متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۴).

روابط بین شاخص‌های حساسیت و تحمل تنش با عملکرد دانه

روابط بین شاخص‌های تحمل و حساسیت با عملکرد دانه در شرایط بهینه و قطع آبیاری نشان داد که شاخص SSI با اطمینان ۹۵٪ ($r = ۰/۴۳^{*}$) توانست عملکرد دانه را در شرایط قطع آبیاری تخمین بزند حال آنکه شاخص STI با اطمینان ۹۹٪ ($r = ۰/۹۳^{**}$) و شاخص TOL با اطمینان ۹۹٪ ($r = ۰/۸۳^{**}$) روابط نزدیکتری با عملکرد دانه در شرایط قطع آبیاری نشان دادند (جدول ۵). ضرایب همبستگی بین عملکرد در شرایط بهینه رطوبتی و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش نشان داد که فقط شاخص STI توانست همبستگی بسیار نزدیکی ($r =۰/۵۰^{**}$) با عملکرد دانه در شرایط بهینه داشت و روابط دیگر شاخص‌ها با عملکرد در شرایط بهینه غیر معنی‌دار بود (جدول ۵).

بنابراین گرچه تمام شاخص‌ها با عملکرد دانه در شرایط قطع آبیاری همبستگی معنی‌داری را نشان دادند ولی همبستگی شاخص STI با عملکرد در شرایط تنش نزدیک‌تر بود ($r = ۰/۹۳^{**}$). در شرایط بهینه رطوبتی که دیگر شاخص‌ها نتوانستند همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه نشان دهند، شاخص فرناندز (STI) همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با عملکرد دانه نشان داد ($r =۰/۵۰^{**}$). بنابراین شاخص STI برآورد نزدیکتری از عملکرد دانه هم در شرایط تنش و هم در شرایط بهینه رطوبتی ارائه کرد که نشان از کارآیی بیشتر این شاخص در تعیین ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط بهینه رطوبتی و کاهش کمتر عملکرد در شرایط تنش داشت. گزارشات متعددی در زمینه قابلیت بیشتر شاخص STI وجود دارد که مؤید نتایج این آزمایش است (۲، ۳، ۱۰ و ۲۴).

جدول ٤- شاخص‌های حساسیت و تحمل تنش ژنوتیپ‌های گندم

Table 4- Stress tolerance and sensitivity indices of wheat genotypes

ژنوتیپ Genotypes (V)	محدودیت رطوبتی* Water deficit * (L)	عملکرد دانه GY (ton ha^{-1})	درصد نسبت به شرایط بهینه (L1) %	شاخص حساسیت به تنش (SSI)	شاخص تحمل تنش (STI)	شاخص تحمل تنش (TOL)
V1	L2	7.066	88	0.63	0.80	1.20
	L3	4.693	58	0.98	0.53	3.393
Average میانگین		5.675	73	0.81	0.66	2.206
V2	L2	5.916	73	1.42	0.67	2.153
	L3	4.389	54	1.07	0.49	3.680
Average میانگین		5.153	64	1.24	0.58	2.916
V3	L2	6.451	71	1.53	0.81	2.629
	L3	4.489	49	1.19	0.56	4.591
Average میانگین		5.470	60	1.36	0.69	3.610
V4	L2	7.217	76	1.26	0.95	2.258
	L3	4.818	51	1.14	0.63	4.657
Average میانگین		6.018	63	1.20	0.79	3.458
V5	L2	7.668	79	1.11	1.04	2.044
	L3	5.396	56	1.02	0.72	4.314
Average میانگین		6.533	67	1.07	0.89	3.179
V6	L2	6.010	77	1.21	0.65	1.769
	L3	4.790	62	0.88	0.52	2.989
Average میانگین		5.400	69	1.04	0.58	2.379
V7	L2	7.179	90	0.52	0.79	0.784
	L3	4.638	58	0.98	0.51	3.325
Average میانگین		5.909	77	0.75	0.61	2.054
V8	L2	7.044	89	0.58	0.77	0.835
	L3	5.076	64	0.84	0.55	2.803
Average میانگین		6.060	77	0.71	0.66	1.819
V9	L2	7.216	94	0.32	0.77	0.459
	L3	4.909	63	0.86	0.53	2.766
Average میانگین		6.060	79	0.59	0.65	1.612
V10	L2	7.250	80	1.05	0.92	1.823
	L3	4.850	53	1.09	0.61	4.233
Average میانگین		6.050	67	1.07	0.77	3.028

*: شرایط بهینه رطوبتی (L1)، اعمال قطع آبیاری از مرحله شیری دانه تا انتهای رشد و نمو گندم (L2) و قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا انتهای رشد و نمو (L3)

* L1: Optimum condition, L2: removal irrigation and using rainshelter from milky grain stage to maturity L3: removal irrigation and using rainshelter from anthesis to maturity.

جدول ٥- ماتریس ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط بهینه (Ypi) و شرایط تنش (Ysi) با شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش محدودیت رطوبتی

Table 5- Correlation coefficients matix between grain yield in optimum (Yp) and water limited conditions (Ys) with stress tolerance and sensitivity indices

	عملکرد دانه در شرایط بهینه Ypi	شاخص حساسیت تنش SSI	شاخص تحمل تنش STI	شاخص تحمل تنش TOL
SSI شاخص حساسیت تنش	- 0.20^{ns}			
STI شاخص تحمل تنش	0.50**	-0.46*		
TOL شاخص تحمل تنش	0.012^{ns}	0.39*	-0.71**	
Ysi عملکرد دانه در شرایط تنش	0.39*	-0.43*	0.93**	0.85**

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم‌معنی‌دار

**, * and ns are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level and non-significant, respectively.

نتیجه‌گیری

در شرایط آب وهوایی مشهد (همانند سایر مناطق مدیترانه‌ای) بخش عمده‌ای از نزولات جوی در طی پاییز و زمستان نازل می‌شود، و معمولاً در کشت پاییزه گندم بخش عمده‌ای از دوره زندگی گیاه (عمدتاً مرحله پنجه‌زنی) منطبق بر این فصول بوده و گیاه می‌تواند با استفاده از نزولات جوی نیاز آبی خود را تأمین نماید. مرحله پر شدن دانه درگندم از این نظر اهمیت دارد که معمولاً به دلیل عدم بارندگی مؤثر در این مرحله، تأمین آب کافی از طریق آبیاری را ضروری می‌سازد، در حالی‌که آبیاری‌های آخر گندم (مرحله پر شدن دانه‌ها) با کاشت صیفی‌جات همزمان می‌گردد و لذا گندم در این مرحله با تنش رطوبتی و گرمای انتهای فصل رشد مواجه شده و عملکرد آن شدیداً کاهش می‌یابد.

نتایج این آزمایش نشان داد حذف آبیاری در مراحل انتهایی رشد و نمو (پس از ظهور بساک) موجب کاهش عملکرد دانه کلیه ارقام مورد بررسی شد. بنابراین، اعمال آبیاری کامل برای دسترسی به عملکرد مورد انتظار ضروری است. در این زمینه شرایط آب و هوایی نیز بسیار مؤثر است و چنانچه بارندگی در طی دروه پر شدن دانه‌ها نازل نشود اثر سوء ناشی از حذف آبیاری در طی این مرحله بر عملکرد چشمگیر خواهد بود. به‌طور کلی در ارقامی که توأم با افزایش نسبی کارآیی مصرف آب، عملکرد دانه نیز افزایش یافته یا حداقل ثابت باقی بماند می‌توان آن رقم را توصیه نمود. براساس نتایج این بررسی در شرایط بهینه رطوبتی به‌ترتیب ارقام V5 (C-84-8) و V4 (C-84-4) و V10 (C-85-6)، که ازلاین‌های امیدبخش گندم و در دست معرفی می‌باشند در مقایسه با ارقام توس (V1) و پیشگام (V3) برتری عملکرد معنی‌داری را دارا بودند. با توجه به برتری همین ارقام در شرایط قطع آبیاری و افت کمتر عملکرد دانه این ارقام در شرایط تنش، بنابر این این ارقام می‌توانند برای شرایط مشابه قابل توصیه باشند.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی شماره ۸۷۰۵۶-۸۳۰۲-۰۳-۱۴-۴۳ می‌باشد. بدینوسیله از مدیریت محترم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی که زمینه اجرای تحقیق را فراهم نمودند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

References

1. Angus, J. F., and Van Herwarden, A. F. 2001. Increasing water use and water use efficiency in dryland wheat. Agronomy Journal 93: 290-298.
2. Araus, J. L., Bort J., Steduto, P., Villegas, D., and Royo, C. 2003. Breeding cereals for Mediterranean conditions: ecophysiological clues for biotechnology application. Annals of Applied Biology 142: 129-141.
3. Araus, J. L., Salfer, G. A., Reynolds, M. P., and Royo, C. 2002. Plant breeding and drought in C3 cereals: What Should we breed for? Annals of Botany 89: 925-240.
4. Calderini, D. F., Abeledo, L. G., Savin L., and Slafer, G. A. 1999. Effect of temperature and carpel size during pre-anthesis on potential grain weight in wheat. Journal of Agricultural Science 132: 453-459.
5. Carmer, S. G., Nyqist, W. E., and Walker, W. M. 1989. Least significant differences for combined analysis of experiments with two or three factor treatment design. Agronomy Journal 81: 665-672.
6. Dastfall, M., and Ramazanpoor, M. 2000. Evaluation for drought tolerance in wheat under weather Darab conditions. p. 250-250. 6th Iranian Crop Science, Babolsar, Iran.
7. Ehdaee, B. 1993. Sellection for drought tolerance in wheat. p. 43-62. 1st Iranian Crop Science, Karaj, Iran.
8. Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetable and other Food Crops in Temperature and Water Stress. Taiwan. pp: 257-270.
9. Fischer, R. A. 2001. Selection traits for improving yield potential. In: Reynolds M. P., Ortiz- Monasterio J. I., and McNab A.(eds). Application physiology in wheat breeding. Mexico, D. F, CIMMYT, pp: 148-159.
10. Ghodsi, M. 2004. Ecophysiological aspects of water deficit on growth and development of wheat cultivars, Ph. D Thesis. Tehran University.
11. Hobbs, P. R., and Sayre, K. D. 2001. Managing experimental breeding trials. In: Reynoldss, M.P., Oritz-Monascrio, J.I., and McNab, A.(eds). Application of physiology in wheat breeding. Mexico, D.F. CIMMYT: 48-58.
12. Khazaee, H. R. 2002. Effect of drought stress on physiological traits of wheat resistant and suceptible cultivars and identification of the best suitable drought tolerance Indices, Ph. D Thesis. Ferdowsi University of Mashhad.
13. Kringwi, F. M., Van Ginkel, M., Terthowan, R., Sears, R. G., Rajaram, S., and Paulsen, G. M. 2004. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. Euphytica 135: 361-371.

14. Martyniak, L. 2002. Grain yield and yield component of spring triticale as affected by simulated drought stress applied in different growth stages. Proceeding of the 5th International Triticale Symposium, Jun 30 – July 5, 2002, Radzikow, Poland. pp: 143-147.
15. Naderi, A., Hashemi Dezfooli, A., Majidi Heravan, E., Rezaee, A., and Noormohammadi, G. H. 1990. Study on corrolation of characteristics effect on grain weight and determination of some physiological traits on grain yield in some spring wheat genotypes in optimum and drought stress conditions. Seed and Plant 16 (2): 374-386.
16. Nasseri, A., and Fallahi, H. A. 2007. Water use efficiency of winter wheat under deficit irrigation. J. Biol. Sci. 7 (1): 19-26.
17. Reynolds, M. P., Skovmand, B., Trethowan, R. M., Singh, R. P., and Van Ginkel, M. 2000. Applying physiological strategies to wheat breeding. Anonymous: Research Highlights of the CIMMYT Wheat Program. 1999-2000. pp: 49-56. International Wheat Improvement Center.
18. Richards, R. A., Condon, A. G., and Robetzke, G. J. 2001. Trait to improve yield in dry environments. In: Reynolds M. P., Ortiz- Monasterio J. I., and McNab A. (eds). Application physiology in wheat breeding. Mexico, D. F, CIMMYT. pp: 88-100.
19. Richards, R. A., Robetzke, G. J., Condon, A. G., and Van Herwarden, A. F. 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. Crop Science 42: 111-121.
20. Rosielle, A. A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspect of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science 21: 943-946.
21. Shahryari, R., Gurbanov, E., Gadimov, A., and Hassanpanah, D. 2008. Tolerance of 42 bread wheat genotypes to drought stress after anthesis. Pakistan Journal of Biological Sciences 11 (10): 1330-1335.
22. Siddique, M. R. B., Hamid, A., and Islam, M. S. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. Butanical Bullecin of Academia Sinica 41: 35-38.
23. Slafer, G. A., and Whitechurch, E. M. 2001. Manipulation wheat development to improve adaptation. In: Reynolds M. P., Ortiz- Monasterio J. I., and McNab A.(eds). Application physiology in wheat breeding. Mexico, D. F, CIMMYT. pp: 160-170.
24. Yazdi samadi, B., Rezaee, A., and Valizade, M. 1998. Statistical Designs in Agricultural Research. Tehran University Publication. (in Persian).
25. Zarea Faiz abadi, A., and Ghodsi, M. 2002. Study on drought tolerance of wheat lines and cultivares in cold regions. Agricultural Sciences and Technology Journal 16 (2): 181-189. (in Persian with English abstract).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 4, Winter. 2016, p. 715-727

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۴، ص. ۷۲۷-۷۱۵

Water Use Efficiency and Water Deficit Tolerance Indices in Terminal Growth Stages in Promising Bread Wheat genotypes

M. Nazeri[1*]

Received: 16-02-2014
Accepted: 06-12-2014

Introduction

During growth stages of wheat, anthesis and grain filling periods are the most susceptible to drought. Wheat cultivars that are more tolerant to terminal drought are more suitable to Mediterranean conditions. To increase water use efficiency, the target environment should be taken into account, because one trait might be effective in an environment but ineffective in another environment. In general, some traits like early vigour and root absorbtion capacity are so important in water deficient conditions. In recent years, increasing grain yield was due to increasing grain numbers. Although both the source and sink is considered as the limitation factors in increasing grain yield in old cultivars, even in the new cultivars sink seems to be more important. In fact, phenological adjustment adapted with seasonal precipitation pattern can improve water use efficiency in drought conditions. Suitable flowering time is the most important trait that is correlated with increasing water use efficiency in drought conditions.

Materials and Methods

In order to evaluate the level of drought tolerance in promising bread wheat lines, a split plot arrangements using randomized complete block design with three replications was carried out in 2008-09 and 2009-10 growing seasons at Torogh Agricultural Research Field Station, Mashhad. in. water limited conditions at three levels Optimum moisture conditions (L1), removal irrigation and using rain shelter from milky grain stage to maturity (L2), removal irrigation and using rainshelter from anthesis to maturity (L3) were assigned to main plots. Ten bread wheat lines include suitable for cold and dry regions (V1: (Toos), V2: (C-81-10), V3: (pishgam), V4: (C-84-4), V5: (C-84-8), V6: (C-D-85-15), V7: (C-D-85-9), V8: (C-D-84-5502), V9: (C-D-85-5502) and V10: (C-85-6) were randomized in sub-plots. Stress susceptibility index (SSI), stress tolerance index (STI) and tolerance (TOL) were calculated using following equations:

$D = 1- (Yd/Yp)$, $SSI = (1-(Ydi/Ypi)) / D$, $STI = (Ypi \times Ysi)/ (Yp)\ 2$, $TOL= Ypi – Ysi$

In which D is environment stress intensity; Yp, average of grain yield for all genotypes in optimum; Ys, in water limited conditions; Ypi, grain yield of one genotype in optimum; and Ysi, grain yield of one genotype in water limited conditions.

Anthesis and physiological maturity were determined by observing of anthers in %50 spikes and changing color of %50 pedancles to yellow, respectively.

Results and Discussions

The results revealed that water stress (L2 and L3 treatments) reduced grain yield (18.6% and 45.3%, respectively). Genotypes V5, V4 and V10 showed maximum water use efficiency (WUE) (1.885, 1.756 and 1.833 kg.m-3 respectively). A highly significant relationship was found between grain yield under moisture limited conditions and STI (r = 0.93**) and TOL (r = 0.85**). Grain yield under optimum irrigation condition was significantly (r = 0.50**) correlated with STI.

Therefore, stress tolerance index (STI) was more efficient index for estimation the grain yield under either conditions as well as grouping the genotypes with higher grain yield and tolerant to water limited condition. So, stress tolerance index (STI) was suitable for classifying the higher yielding genotypes adapted to drought prone environment. Since stress tolerance index (STI) was highly and significantly associated with grain yield in both optimum (r = 0.50**) and limited moisture (r = 0.93**) conditions, it can be used an efficient index for evaluation in the field.

1- Assistant Professor of Crop Ecology, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Mashhad
(*- Corresponding Author Email: smnazeri56@yahoo.com)

Conclusions

Our results indicated that genotypes V5, V4 and V10 with high stress tolerance index (STI) values and the greatest WUE, had the best performance among the other genotypes, respectively. These cultivars had higher grain yield in both optimum and stress conditions than other genotypes So, these cultivars could be recommended to cultivate for similar conditions.

Keywords: Anthesis, Developmental stages, Drought stress