واکنش مورفوفیزیولوژیکی ارقام گندم نان تحت تاثیر تنش زیست محیطی خشکی

کمال شهبازی هومونلو[۱]، علی عبادی*[۲]، سلیم فرزانه[۲]، منوچهر خدارحمی[۳]

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲*-گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: ebadi@uma.ac.ir

تاریخ دریافت : ۱۴۰۰/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش : ۱۴۰۰/۱۱/۰۵

چکیده

به منظور بررسی تاثیر تنش زیست محیطی خشکی بر ارقام گندم نان پژوهشی طی دو سال زراعی متوالی (۹۸ – ۱۳۹۷ و ۹۹ – ۱۳۹۸) در سایت آزمایشات غلات آبی مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان) به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل رژیم آبیاری (آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد (شاهد بدون تنش زیست محیطی خشکی)، آبیاری تا مرحله گلدهی (تنش زیست محیطی خشکی متوسط) و آبیاری خاک آب (تنش زیست محیطی خشکی کامل)) و کرت‌های فرعی شامل شش رقم گندم نان شامل (تیرگان، احسان، کلاته، آراز، تکتاز و آفتاب) بودند. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که تنش زیست محیطی خشکی متوسط و تنش زیست محیطی خشکی کامل باعث کاهش ارتفاع بوته (به ترتیب ۱/۲۶ و ۱/۳۸٪)، تعداد پنجه بارور (به ترتیب ۱/۳۸ و ۲/۸۱ ٪)، تعداد دانه در سنبله (به ترتیب ۱/۲۵ و ۳/۷۴٪)، وزن دانه در سنبله (به ترتیب ۰/۵۱ و ۲/۶۲٪)، وزن هزار دانه (به ترتیب ۱۲/۹۷ و ۲۹/۹۰٪) و عملکرد دانه (به ترتیب ۱۲/۵ و ۳۱٪) نسبت به آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد شد. همچنین نتایج نشان داد تنش زیست محیطی خشکی متوسط و تنش زیست محیطی خشکی کامل باعث افزایش محتوای قند محلول (به ترتیب ۴ و ۱۰٪) و افزایش میزان پرولین (به ترتیب ۲۶ و ۴۵٪)، پلی فنول اکسیداز (به ترتیب ۱۳ و ۲۱٪) و فعالیت آنزیم پراکسیداز (به ترتیب ۱۰ و ۲۲٪) شد. به طورکلی نتایج نشان داد که ارقام تکتاز و تیرگان دارای پتانسیل عملکرد بیشتر در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش زیست محیطی خشکی متوسط بودند اما در شرایط تنش زیست محیطی خشکی متوسط و تنش زیست محیطی خشکی کامل، ارقام تکتاز و آفتاب از نظر صفات مورد بررسی برتر بودند و احتمالاً قابل توصیه برای کشت در شرایط تنش زیست محیطی خشکی آخر فصل هستند.

کلمات کلیدی

"تعداد دانه در سنبله"، "پرولین"، "آنزیم های آنتی اکسیدانت"، "عملکرد دانه"

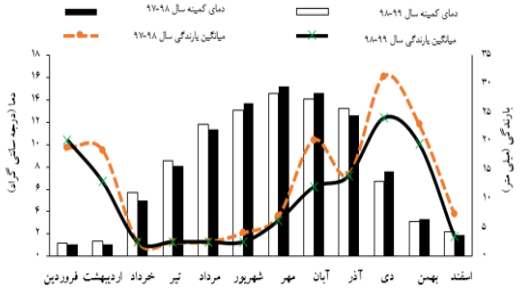
۱- مقدمه

سازمان ملل متحد گزارش داده است که جمعیت کره زمین تا سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد و ۸۰۰ میلیون نفر خواهد رسید و مسئله تامین غذا را چالش بزرگ پیش‌روی بشر دانسته است (FAO, 2017). با توجه به اینکه بیش از سه چهارم انرژی و در حدود نیمی از پروتئین مورد نیاز بشر از غلات تأمین می‌شود همواره باید به فکر افزایش تولید این محصولات بود تا بتوان نیازهای پیش‌روی جمعیت جهان را تأمین کرد. گندم، مهم‌ترین گیاه زراعی در جهان است که نقش مهمی در تأمین غذای مردم دارد. این گیاه یک منبع غذایی بسیار مهمی است، زیرا نیاز انسان را به کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌های غذایی، فیبر، کلسیم، روی، چربی و انرژی تأمین می‌کند (Boukid et al., 2019). در سال ۲۰۱۸، مقدار تولید جهانی این گیاه ۷۶۰/۶ میلیون تن بوده است. ایران در سال ۲۰۱۹ بیش از ۹/۱ میلیون تن ذخیره غلات داشته است (FAO, 2021). تنش زیست محیطی خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده و محدودیت زیست‌محیطی برای گیاهان است که اثرات نامطلوبی بر رشد و عملکرد گیاهان دارد (Luo et al., 2019). با این وجود همزمان با تغییرات اقلیمی، فراوانی و شدت تنش زیست محیطی خشکی به طور مداوم افزایش می‌یابد (Banks et al., 2019). از این رو در سال‌های اخیر به‌علت تغییر شرایط آب و هوایی تنش خشکی شدیدتر شده است. مطالعات مربوط به پاسخ‌های زراعی، ریخت شناسی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیک در شرایط تنش زیست محیطی خشکی می‌تواند درک ما را از توانایی گیاهان برای پاسخگویی و سازگاری با محیط‌های مستعد خشکسالی افزایش دهد (Pour-Aboughadareh et al., 2020). در طی یک دوره طولانی انتخاب و اصلاح گندم توسط به نژادگران، از استراتژی‌های پیچیده‌ای (شامل صفات زراعی مورفولوژیک همراه با سازوکارهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی) برای کنار آمدن با تنش زیست محیطی خشکی استفاده شده است (Turner, 1997). از این رو، می‌توان از دانش ارتباط بین عملکرد و این صفات و همچنین برآورد دقیق تحمل تنش در مواد ژنتیکی گیاهی، برای بهبود کارایی برنامه‌های تکثیر در محیط‌های مختلف استفاده کرد (Vaughan et al., 2018). چندین صفت مورفولوژیک مانند ارتفاع بوته، طول برگ، تعداد پنجه-های بارور در بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و حتی طول ریشک نه تنها بر تحمل تنش به رطوبت محدود خاک در گندم تأثیر می‌گذارد، بلکه نشان می‌دهند که ارقام سازگار چگونه از طریق تغییرات ریخت‌شناسی با تنش زیست محیطی خشکی کنار می-آیند (Liu et al., 2015). به‌عنوان مثال رقم پر پتانسیل چمران که برای اراضی آبی اقلیم گرم جنوب کشور معرفی شده بود توانست به مدت طولانی (حدود بیش از ۲۰ سال) بالاترین ضریب نفوذ اراضی دیم و آبی را در این اقلیم به خود اختصاص داده و حتی از ارقام دیم هم در شرایط تنش زیست محیطی خشکی بهتر عمل کند اما چند سالی است این رقم نسبت به بیماری‌های مختلف قارچی به ویژه بیماری زنگ زرد

حساس و از چرخه تولید بذر این اقلیم حذف شده است. یکی از اهداف اصلی مطالعه حاضر بررسی رقمی مشابه رقم چمران برای منطقه مغان (که حدود ۲۰ تا ۲۵ هزار هکتار گندم آبی و ۱۵۵ هزار هکتار گندم دیم در این منطقه کشت می شود) است. بنابراین، با توجه به اهمیت گندم و تنش زیست محیطی خشکی هدف از انجام پژوهش حاضر شناسایی ارقام متحمل و حساس گندم با استفاده از صفات مورفولوژیک، زراعی و فیزیولوژیک تحت تنش زیست محیطی خشکی و همچنین شناسایی صفات مطلوب جهت گزینش ارقام متحمل به منظور کاشت در مناطق گرم کشور صورت گرفته است.

۲- روش انجام تحقیق

این آزمایش در سال‌های زراعی ۹۸ – ۱۳۹۷ و ۹۹ – ۱۳۹۸ در سایت آزمایشات غلات آبی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان) با عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۷۶ متر از سطح دریا و با شرایط آب و هوایی نیمه خشک معتدل (بر اساس اقلیم نمای آمبرژه) اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت اصلی رژیم آبیاری شامل: آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد (شاهد بدون تنش زیست محیطی خشکی) ۲- آبیاری تا مرحله گلدهی (تنش زیست محیطی خشکی متوسط) و ۳- آبیاری خاک آب (تنش زیست محیطی خشکی کامل) و کرت فرعی شامل شش رقم گندم نان شامل (تیرگان، احسان، آراز، کلاته، تکتاز و آفتاب) بود آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد (شاهد بدون تنش زیست محیطی خشکی) شامل ۶ مرتبه: ۱- مرحله جوانه‌زدن (خاک آب)، ۲- مرحله پنجه‌دادن (پنجه آب)، ۳- مرحله ساقه رفتن (ساقاب)، ۴- مرحله خوشه رفتن (خوشاب)، ۵- مرحله ظهور سنبله (گل آب) و۶- مرحله دانه بستن (دان آب)) بود. آبیاری تا مرحله گلدهی (تنش زیست محیطی خشکی متوسط) شامل ۵ مرتبه: ۱- مرحله جوانه زدن (خاک آب)، ۲- مرحله پنجه دادن (پنجه آب)، ۳- مرحله ساقه رفتن (ساقاب) ۴- مرحله خوشه رفتن (خوشاب) ۵- مرحله ظهور سنبله (گل آب) بود. آبیاری خاک آب (تنش زیست محیطی خشکی کامل) شامل ۱ مرتبه: ۱- آبیاری پس از کشت گندم (خاک آب) بود. زمین محل آزمایش در سال قبل، آیش بود و عملیات تهیه بستر شامل شخم، دیسک و کوددهی و تسطیح در اول آبان ماه طبق روال هر سال انجام گرفت. در هر دو سال آزمایش کاشت در ۲۰ آبان ماه با بذور ضد عفونی شده ارقام گندم انجام شد. بذر هریک از ارقام مختلف گندم روی خطهایی به فاصله ۲۰ سانتیمتر از یکدیگر و بر اساس تراکم ۴۰۰ دانه در متر مربع با بذر کار مخصوص آزمایشات غلات وینتراشتایگر انجام شد. پس از کاشت، یک نوبت آبیاری در پاییز جهت سبز شدن گیاهچه‌ها و استقرار آنها انجام گرفت. کوددهی با مصرف کود سوپر فسفات تریپل (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و اوره (۵۰کیلوگرم در هکتار) در زمان خاکورزی و همچنین اوره (به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) در هنگام ساقه روی در اواسط اسفندماه انجام شد. مبارزه با علف-های هرز مزرعه هم به روش شیمیایی و هم به‌صورت وجین دستی انجام گردید. برداشت محصول در تاریخ ۳۰ خرداد ماه ۱۳۹۸ و ۲۸ خرداد ماه ۱۳۹۹ انجام شد. قبل از برداشت محصول ۶ بوته کامل از هر پلات به صورت تصادفی بعنوان نمونه جامعه هر کرت انتخاب و به آزمایشگاه غلات مرکز جهت اندازه گیری صفات مرفولوژیک منتقل شد. عملکرد دانه با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت و برداشت محصول با استفاده از کمباین آزمایشات غلات (وینتر اشتایگر) انجام و به کیلوگرم در هکتار تبدیل گردید. اندازه‌گیری فعالیت‌های آنزیمی از برگ پرچم در زمان ۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی انجام شد (Kiliç and Yağbasanlar, 2010). اندازه‌گیری میزان پرولین برگ نیز با استفاده از روش بیتس و همکاران (Bates *et al*., 1973) صورت گرفت. اندازه‌گیری قند محلول برگ به روش فنول سولفوریک صورت گرفت (Dubois et al., 1956). برای سنجش آنزیم پلی‌فنول اکسیداز از روش خان (Khan, 1975) استفاده شد. پس از انجام آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی (بارتلت)، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها انجام شد. تجزیه‌های آماری و رسم نمودارها به ترتیب با استفاده از نرم افزار SPSS و برنامه Excel انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.



شکل ۱. میانگین دمای هوا و بارش در سال ۹۹ – ۱۳۹۷ در استان اردبیل (مغان)

جدول ۱- مشخصات خاک محل آزمایش

میانگین درصد		
بافت خاک	درصد سیلت	نیتروژن
سیلت رسی	۴۰	۰/۱۲
شوری	درصد شن	فسفر
۱/۰۸	۱۴	۱۲/۷۲
درصد رس	درصد کربن آلی	پتاسیم
۴۶	۱/۲۰	۶۲۶/۶

۳- نتایج و بحث

بررسی‌های انجام شده در خصوص مقایسه‌ی ارقام گندم در شرایط مغان نشان داد که ارقام مورد آزمون از نظر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مورد مطالعه با یکدیگر متفاوت و با اثر معنی‌دار قابل تفکیک و متمایز بودند. با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش تیمارها برای برخی از صفات، از مقایسه سایر سطوح عامل‌های اصلی خودداری شده و فقط برهمکنش تیمارها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر اصلی سال، اثر اصلی رقم و اثرات متقابل دو جانبه سال × تنش زیست محیطی خشکی و رقم × سال از لحاظ ارتفاع گیاه گندم اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۲). در خصوص اثرات متقابل سال × تنش زیست

محیطی خشکی از لحاظ ارتفاع گیاه گندم نتایج نشان داد در هر دو سال آزمایش و در شرایط آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد (بدون تنش زیست محیطی خشکی) بیشترین ارتفاع گیاه و در سال اول و در شرایط تنش زیست محیطی خشکی کامل کمترین ارتفاع بوته گندم در سال اول به‌دست آمد هر چند که با شرایط تنش زیست محیطی خشکی متوسط در همین سال تفاوت معنی داری نداشت (جدول ۳). بطور کلی آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد ارتفاع بوته را نسبت به شرایط تنش زیست محیطی خشکی متوسط و شرایط تنش کامل به ترتیب ۵ و ۸ درصد افزایش داده است (جدول ۳). نتایج اثرات متقابل دو جانبه سال × رقم بیانگر این بود که بیشترین ارتفاع بوته بطور غیر معنی‌داری در سال دوم و برای ارقام تیرگان تکتاز، آراز و کلاته به‌دست آمد (جدول ۴). کمترین ارتفاع بوته ارقام گندم در سال اول و برای ارقام احسان و آفتاب حاصل گردید (جدول ۴). ارتفاع بوته در زمان رسیدگی گیاه به عنوان یک عامل در واکنش گیاه به خشکی در نظر گرفته می‌شود، هرچند اعتقاد بر این است که ارتفاع بوته به خودی خود اثر به خصوصی بر روابط آب در گیاه ندارد و تعیین ارتفاع مناسب برای شرایط تنش زیست محیطی خشکی، با در نظر گرفتن سایر ملاحظات زراعی صورت می‌گیرد (Blum, 1988). سالمی و افیونی (Salemi and Afuni, 2004) گزارش نمودند که تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد دانه، ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه و سایر فاکتورهای فیزیولوژیک در ارقام جدید و تجاری گندم با هم متفاوت است. در آزمایشی با اعمال تنش زیست محیطی خشکی در سطح قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی، در ابتدای مرحله دانه‌بندی و آبیاری کامل بر رقم‌های گندم یاواروس و بهرنگ مشخص شد که تیمار قطع آبیاری سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد سنبله بارور و عملکرد دانه گردید (Ghaead Amini et al., 2021). تجزیه واریانس داده-های حاصل از آزمایش نشان داد برای صفت تعداد پنجه بارور، اثر اصلی سال، اثر اصلی رقم، اثرات متقابل دو جانبه سال × تنش و رقم × سال اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۲). با توجه به نتایج به‌دست آمده در این آزمایش بیشترین تعداد پنجه بارور گندم در شرایط آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد (بدون تنش زیست محیطی خشکی) به‌دست آمد که این نتیجه در هر دو سال تکرار شد (جدول ۳). کمترین تعداد پنجه بارور گندم نیز در سال اول و در شرایط تنش زیست محیطی خشکی متوسط و تنش زیست محیطی خشکی کامل به‌دست آمد (جدول ۳). در خصوص اثرات متقابل سال × رقم از لحاظ تعداد پنجه بارور نتایج نشان داد رقم تکتاز و رقم تیرگان در سال دوم به‌طور مشترک دارای بیشترین تعداد پنجه بارور و رقم آفتاب در سال اول کمترین تعداد پنجه بارور را به‌دست آورد (جدول ۴). وقوع تنش زیست محیطی خشکی در اواخر مرحله پنجه‌زنی موجب می‌گردد که گیاه این تنش را حس کند و برای حفظ بقای خود و مقاومت در برابر تنش زیست محیطی خشکی، تعداد دانه در سنبله و تعداد پنجه بارور را کاهش دهد، تا از آب کم موجود بتواند حداکثر بهره‌وری را برای ایجاد دانه‌های سالم، اما به تعداد کم داشته باشد. با انجام آبیاری در شرایط بروز تنش زیست محیطی خشکی در مرحله اواخر پنجه‌زنی و شروع ساقه‌دهی، تعداد دانه در سنبله و تعداد پنجه‌های بارور افزایش می‌یابد (Anonymous, 2013). با نگاهی به جدول آنالیز واریانس مرکب مشاهده می‌شود که اثر اصلی سال، اثر اصلی رقم، اثرات متقابل دو جانبه سال × تنش و رقم × سال برای صفت تعداد دانه در سنبله اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۲). با استناد به جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل سال × تنش زیست محیطی خشکی برای تعداد دانه در سنبله گندم می‌توان اذعان داشت که بیشترین تعداد دانه در سنبله گندم در سال اول و در شرایط آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد (بدون تنش زیست محیطی خشکی) و در سال دوم و در هر سه سطح تنش زیست محیطی خشکی بدست آمد (جدول ۳). کمترین تعداد دانه در سنبله ثبت شده، در سال اول و در شرایط تنش زیست محیطی خشکی متوسط و تنش زیست محیطی خشکی کامل به‌دست آمد (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، چنین بر می‌آید که بیشترین تعداد دانه در سنبله گندم برای سال دوم و رقم تکتاز و کمترین تعداد دانه در سنبله برای سال اول و رقم آفتاب به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج مشابهی مبنی بر کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله ناشی از تنش زیست محیطی خشکی توسط محققان گزارش شده است. اولک و همکاران (Oelke et al., 2004) اظهار داشتند که در شرایط تنش زیست محیطی خشکی به دلیل خشک شدن دانه گرده و افت میزان گل‌های تلقیح شده، تعداد دانه‌ها در سنبله کاهش می‌یابد. لوییقی و همکاران (Luigi et al., 2008) کاهش تعداد دانه در سنبله را به اثر سوء تنش زیست محیطی خشکی در باروری تخمک‌ها و طی شدن سریع‌تر مراحل نموی گیاه نسبت دادند. تاتاری و همکاران (Tatari et al., 2012) گزارش کردند که تعداد گلچه-هایی که در گیاه پس از شروع رشد سریع سنبله و ساقه باقی مانده و سرعت رشد طبیعی دارند، با قابلیت دسترسی به آب متناسب است. بنابراین، آبیاری در مرحله گل‌دهی با حفظ گلچه‌های تولیدی در گیاه موجب افزایش تعداد دانه در سنبله می‌شود (Tatari et al., 2012). نتایج جدول تجزیه واریانس نشان‌دهنده این بود که برای صفت وزن دانه در سنبله، اثر اصلی رقم، اثرات متقابل دو جانبه سال × تنش و رقم × سال اختلاف معنی‌داری به‌دست آمد (جدول ۲). نتایج بیانگر این مطلب بود که بیشترین وزن دانه در سنبله گندم در سال دوم و در شرایط آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد (بدون تنش زیست محیطی خشکی) به‌دست آمد (جدول ۳). کمترین وزن دانه در سنبله گندم در سال اول و در شرایط شرایط تنش زیست محیطی خشکی کامل به‌دست آمد (جدول ۳). طبق جدول ۴ بیشترین وزن دانه در سنبله گندم در سال دوم و رقم تکتاز و کمترین وزن دانه در سنبله در سال اول و رقم آفتاب بدست آمد (جدول ۴). اثر تنش رطوبتی بر روی گیاهان بسته به این که در کدام مرحله از رشد رخ دهد متفاوت است.

خشکی در طی مرحله پر شدن دانه به ویژه اگر با گرما همراه باشد می‌تواند موجب تسریع پیری، کاهش دوره پر شدن دانه و کاهش وزن دانه شود. در آزمایشی با اعمال تنش زیست محیطی خشکی در سه سطح ۳۵، ۶۰ و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی بر روی ارقام میهن، حیدری، سایسونز و گاسگوژن گندم مشخص شد که تنش زیست محیطی خشکی موجب کاهش صفات طول ساقه، طول ریشه، ارتفاع بوته، تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن سنبله و وزن هزار دانه گردید (Raeesi Sadati et al., 2020). با نگاهی به جدول آنالیز واریانس مرکب مشاهده می‌شود که اثر اصلی سال، اثر اصلی رقم و اثرات متقابل دو جانبه رقم × سال بر صفت وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). با استناد به جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل مشاهده می‌شود که بیشترین وزن هزار دانه گندم در سال دوم در رقم تکتاز (۵۴/۲۴ گرم) و کمترین وزن هزار دانه ثبت شده، در سال اول در رقم آفتاب (۴۶/۳۴ گرم) به‌دست آمد (جدول ۴). محققان زیادی کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش زیست محیطی خشکی را گزارش کرده‌اند. اعتقاد بر این است که حساس‌ترین مرحله نمو گندم به تنش زیست محیطی خشکی مرحله گلدهی است و کمبود آب پس از گلدهی از طریق آسیب رساندن به فرآیند پر شدن دانه می‌تواند بر میانگین وزن هر دانه تأثیر منفی بگذارد (Abid et al., 2016). تنش زیست محیطی خشکی در مرحلهٔ سنبله‌دهی تا پر شدن دانه به‌دلیل کاهش تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه موجب کاهش عملکرد گندم می‌شود (Karimzadeh et al., 2012). نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که برای صفت عملکرد دانه اثر اصلی سال، رقم و اثرات متقابل دو جانبه سال × تنش و رقم × سال اختلاف معنی‌داری به‌دست آمد (جدول ۲). نتایج بیانگر این مطلب است که بیشترین عملکرد دانه گندم (۸۰۷۳/۶۰ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد و برای رقم تکتاز بدست آمد (جدول ۵) و کمترین عملکرد دانه گندم (۵۹۹۸/۸۰ کیلوگرم در هکتار) بطور معنی‌داری در شرایط تنش کامل و برای رقم احسان بدست آمد (جدول ۵). وزن دانه بیش‌ترین اثر مستقیم بر عملکرد دانه دارد و به عنوان یک صفت مهم در انتخاب برای مقاومت به خشکی و دمای بالا مورد توجه قرار گرفته است به طوری که وزن دانه و عملکرد با افزایش تعداد آبیاری به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (Hekmat Shouar, 1993). نظر بر این است که تعداد و وزن دانه در طول گرده‌افشانی یا مدت کوتاهی بعد از مرحله گرده‌افشانی تنظیم می‌شوند و تغییر در توانایی جذب آب در این دوره رشدی، می‌تواند تاثیر عمده در عملکرد دانه گندم داشته باشد (Hammer et al., 2009). تنش رطوبتی در طول دوره‌ی پر شدن دانه ممکن است از طریق کاهش دوره پر شدن دانه عملکرد دانه را کاهش دهد.

فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر اصلی تنش، اثر اصلی رقم و اثرات متقابل تنش × رقم برای پرولین اختلاف آماری معنی‌داری به‌دست آمد (جدول ۲). نتایج مقایسات میانگین‌ها نشان داد بیشترین میزان پرولین (۱۱/۲۶۴ میکروگرم بر گرم وزن‌تر برگ) در شرایط تنش کامل و برای رقم تکتاز و کمترین میزان پرولین (۳/۸۲۵ میکروگرم بر گرم وزن‌تر برگ) در شرایط آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد و برای رقم احسان بدست آمد (جدول ۵). نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که تنش زیست محیطی خشکی متوسط و تنش زیست محیطی خشکی کامل باعث افزایش معنی‌دار پرولین (به ترتیب ۲۶ و ۴۵٪) نسبت به شرایط آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد شد. افزایش محتوای پرولین در گیاهانی که تحت تنش زیست محیطی خشکی قرار می‌گیرند نوعی سازگاری برای غلبه بر شرایط تنش می‌باشد (Manivannan et al., 2007) که منجر به حفظ تورژسانس سلول‌ها و فرآیندهای وابسته به آن در پتانسیل‌های آب پایین می‌شود. در آزمایشی با اعمال تنش زیست محیطی خشکی در سه سطح پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر بر رقم گندم میهن مشخص شد که تنش سبب کاهش معنی‌دار پرولین و قندهای محلول گیاه گردید (Mahmoudi and Afkari, 2020). با نگاهی به جدول آنالیز واریانس مرکب مشاهده می‌شود که اثر اصلی سال، اثر اصلی تنش، اثر اصلی رقم، اثرات متقابل دو جانبه رقم × سال و سال × تنش بر صفت قند محلول معنی‌دار بود (جدول ۲). با استناد به جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل مشاهده می‌شود که بیشترین قند محلول در سال دوم و بطور مشترک برای رقم تکتاز و تیرگان و کمترین قند محلول محلول ثبت شده، در سال اول و بطور مشترک برای ارقام احسان و آفتاب و همچنین در سال دوم و رقم آفتاب بدست آمد (جدول ۴). قندهای محلول دسته دیگری از محافظت کننده‌های اسمزی هستند که تجمع آن‌ها با پاسخ به تنش‌های محیطی به تنظیم اسمزی و یا حفاظت غشاهای سلولی مرتبط می‌باشد (Kerepesi, 1998) و شدت تجمع آن به سرعت و میزان توسعه تنش، نوع و سن اندام و تنوع ژنتیکی درون و بین گونه‌ای بستگی دارد (Baiji et al., 2001). نقش فیزیولوژیک این قندها ممانعت از چسبندگی غشاهای مجاور در طول تنش، نگهداری لیپیدها، پایداری پروتئین‌ها از طریق ایجاد پیوندهای هیدروژنی با دنباله‌های خطی پروتئین‌ها و تنظیم بیان ژن می‌باشد (Ho et al., 2001). افزایش محتوی پرولین و قندهای محلول گیاه را قادر می‌سازد با حفظ تورژسانس سلول‌ها موجب بهبود جذب آب حتی در پتانسیل‌های پایین آب در خاک در شرایط تنش زیست محیطی خشکی شوند (Narimani et al., 2020). طبق نتایج مندرج در جدول تجزیه واریانس، اثر اصلی تنش، اثر اصلی رقم، اثرات متقابل دو جانبه رقم × سال، رقم × تنش بر فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که بیشترین پلی فنول اکسیداز در شرایط تنش کامل برای رقم تکتاز (۹۲/۶۸۷ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) بدست آمد (جدول ۵). و کمترین پلی فنول اکسیداز در شرایط آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد و برای رقم تیرگان (۷۱/۰۳۲ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) بدست آمد (جدول ۵). در آزمایشی با اعمال تنش زیست محیطی خشکی در دو سطح شاهد (آبیاری در تمام مراحل رشدی بر اساس نیاز آبی گیاه) و قطع آبیاری از اواسط اردیبهشت تا پایان فصل رشد بر رقم‌های گندم

الوند، سیوند، زرین، باز، بهار، شهریار، نورستار، پیشگام، پیشتاز، کویر، اروم و پارسی مشخص شد که تیمار قطع آبیاری سبب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، غلظت پروتئین‌های محلول و افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز شد (Teimouri et al., 2020). طبق نتایج مندرج در جدول تجزیه واریانس، اثر اصلی سال، اثر اصلی تنش، اثر اصلی رقم، اثرات متقابل دو جانبه رقم × سال، رقم × تنش بر فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج بیانگر این مطلب است که بیشترین پراکسیداز در شرایط تنش کامل برای رقم تکتاز (۷۸/۴۸۴ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) بدست آمد (جدول ۵) و کمترین پراکسیداز در شرایط آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد و برای رقم آفتاب (۵۷/۲۰۸ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) بدست آمد (جدول ۵). گیاهان برای کاهش اثرات مخرب گونه‌های فعال اکسیژن، ساز و کارهای متفاوتی دارند. از جمله این سازوکارها می‌توان به افزایش سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی اشاره کرد (Agarwal and Pandey, 2004). آنزیم پراکسیداز که هم در سیتوسل و هم در کلروپلاست وجود دارد، فعالیت این آنزیم در شرایط خشکی افزایش می‌یابد (Jiang and Huang, 2001) و می‌تواند به طور موثری H_2O_2 را حذف نماید. افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط محدودیت آبی (زراعت دیم) موجب تحمل بهتر گیاه به تنش‌های محیطی (Ahmad and Prasad, 2012) و کاهش اثرات مخرب تنش اکسیداتیو می‌شود (Mandhania et al., 2006). افزایش فعالیت پراکسیداز و کاتالاز در تنش زیست محیطی خشکی در گندم توسط هانگ بو و همکاران (Hong et al., 2005) گزارش شده است.

٤- نتیجه‌گیری

به طور خلاصه، نتایج آزمایش نشان داد که ارقام گندم به طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش زیست محیطی خشکی برای صفات مورفوفیزیولوژیک قرار گرفتند و در نتیجه تنش زیست محیطی خشکی برخی از صفات مورد مطالعه تغییرات معنی‌دار و قابل توجهی از خود نشان دادند که باید برای برنامه‌های اصلاح گندم در نظر گرفته شوند. همانطور که در این مطالعه مشاهده شد، ارتباط مثبت خصوصیات فنولوژیک با عملکرد دانه امکان ارزیابی ارقام با عملکرد بالا را با استفاده از این ویژگی‌ها در شرایط خشکسالی فراهم می‌کند. نتایج نشان داد که ارقام تکتاز و تیرگان دارای پتانسیل عملکرد بیشتر در هر دو شرایط آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد و تنش زیست محیطی خشکی متوسط بودند اما در شرایط تنش زیست محیطی خشکی متوسط و تنش کامل، رقم‌های تکتاز و آفتاب از نظر صفات مورد بررسی برتر بودند. با توجه به شرایط بحرانی آب در جهان و ایران به‌ویژه در استان اردبیل (مغان)، معرفی ارقامی که بتوانند حداقل کاهش عملکرد را در شرایط کم آبیاری داشته باشند، از اهمیت بسزایی برخوردارند. لذا در بین ارقام مورد بررسی تکتاز و آفتاب قابل توصیه برای کشت وکار در شرایط تنش زیست محیطی خشکی آخر فصل هستند.

جدول ۲. تجزیه مرکب آنالیز واریانس عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم تحت تاثیر تنش زیست محیطی خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		ارتفاع	تعداد پنجه بارور در بوته	تعداد دانه در سنبله	وزن دانه در سنبله	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	پرولین	محتوای قند محلول	پلی فنول اکسیداز	پراکسیداز
سال	۱	۴۴۷۶/۳۵۲**	۱۵/۵۵۶**	۲۲۱۴/۲۲۳**	۰/۸۴۱ns	۵۵۹۲/۸۲۹**	۲۹۴۷۷۵۹۰/۰۵۱**	۰/۸۳۳ns	۴/۴۷۸*	۰/۰۰۷ns	۲/۱۵۷*
تکرار/ سال	۴	۸/۱۸۹ns	۲/۳۰۶**	۲۴/۰۸۴*	۰/۱۱۰ns	۴۳/۲۲۳ns	۱۴۸۴۲۷۶۶/۶۷۸**	۰/۳۹۸ns	۰/۹۷۸ns	۰/۰۹۰ns	۰/۰۲۷ns
تنش زیست محیطی خشکی	۲	۷۵/۵۶۲ns	۰/۱۱۲ns	۵۲/۷۰۴ns	۰/۰۰۱ns	۳۷/۸۵۵ns	۲۴۰۹۵۹/۶۳۲ns	۲۴۴/۴۸۸**	۳۸۳/۵۸۸**	۴/۶۸۴**	۳۰/۳۷۲**
سال × تنش زیست محیطی خشکی	۲	۲۴۸/۸۳۴**	۳/۳۱۵**	۱۸۴/۲۲۳*	۰/۴۷۸*	۸۰/۲۶۴ns	۱۸۵۰۶۲۳/۲۴۱ns	۲/۰۰۳ns	۱/۳۶۸ns	۰/۰۸۶ns	۰/۰۴۴ns
خطای اصلی (a)	۸	۹/۲۷۲	۰/۲۴۱	۱۹/۰۸۹	۰/۰۳۷	۱۳/۳۶۶	۱۷۲۴۹۷۱/۷۷۰	۲/۳۴۵	۰/۷۱۸	۰/۰۸۱	۰/۱۱۶
رقم	۵	۸۴۱/۸۵۷**	۱/۲۸۹**	۳۷۲/۰۴۵**	۰/۳۸۰*	۳۳۳/۹۶۹**	۲۴۶۷۴۷۳/۷۱*	۷۲/۵۷۶**	۵۴/۷۴۸**	۱/۹۸۹**	۱/۹۶۷**
سال × رقم	۵	۸۰/۲۵۴*	۰/۷۷۱*	۴۱۷/۳۱۹**	۰/۸۷۹**	۸۱/۴۵۶*	۶۸۳۸۲۵۴/۴۱۹**	۰/۲۸۴ns	۵/۹۲۸**	۰/۱۶۰*	۰/۶۲۸**
تنش زیست محیطی خشکی × رقم	۱۰	۷۲/۳۶۶ns	۰/۴۵۶ns	۱۱۸/۱۶۰ns	۰/۲۸۹ns	۶۵/۸۴۰ns	۱۶۰۵۴۰۶۲/۳۵۹**	۹/۸۸۰**	۹/۲۴۸ns	۰/۳۲۳*	۰/۸۳۸*
سال × تنش زیست محیطی خشکی× رقم	۱۰	۳۰/۰۴۵ns	۰/۵۶۴ns	۱۱۰/۸۱۹ns	۰/۲۸۲ns	۷۷/۶۵۵ns	۱۷۲۳۹۴۹/۹۳۱ns	۰/۲۰۸ns	۳/۵۰۸ns	۰/۰۷۶ns	۰/۲۴۸ns
خطای فرعی (b)	۶۰	۳۵/۳۸۲	۰/۲۸۱	۵۸/۲۵۵	۰/۱۵۹	۳۵/۲۹۴	۱۱۷۱۰۸۷/۲۰۸	۰/۶۳۹	۱/۰۰۸	۰/۰۵۰	۰/۱۸۱
CV(%)	–	۵/۴۴	۲۴/۵۹	۱۸/۳۰	۲۰/۹۵	۱۲/۷۱	۱۵/۲۴	۱۳/۰۹	۹/۱۷	۱۱/۲۲	۱۳/۳۰

ns ، * ، ** به ترتیب اختلاف غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪

جدول ۳. اثر متقابل سال × تنش زیست محیطی خشکی بر صفات گندم

سال	آبیاری	ارتفاع (سانتی متر)	تعداد پنجه بارور در بوته	تعداد دانه در سنبله	وزن دانه در سنبله (گرم)
اول	آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد (بدون تنش زیست محیطی خشکی)	۱۱۱/۸۵ a	۲/۴۲ a	۴۲/۷۹ a	۱/۹۹ ab
	آبیاری تا مرحله ساقه رفتن (تنش زیست محیطی خشکی متوسط)	۱۰۵/۶۱ bc	۱/۸۳ c	۳۷/۴۴ b	۱/۸۸ ab
	آبیاری پس از کشت گندم (تنش زیست محیطی خشکی کامل)	۱۰۳/۲۸ c	۱/۸۵ c	۳۸/۸۳ b	۱/۸۲ b
دوم	آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد (بدون تنش زیست محیطی خشکی)	۱۱۴/۴۴ a	۲/۵۴ a	۴۵/۳۵ a	۲/۰۸ a
	آبیاری تا مرحله ساقه رفتن (تنش زیست محیطی خشکی متوسط)	۱۱۳/۰۵ a	۲/۱۹ b	۴۴/۷۲ a	۱/۹۳ ab
	آبیاری پس از کشت گندم (تنش زیست محیطی خشکی کامل)	۱۰۷/۴۳ b	۲/۱۵ b	۴۲/۴۴ a	۱/۹۳ ab
	LSD	۲/۲۳	۰/۲۰	۳/۵۴	۰/۲۲

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، از لحاظ آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ٤. اثر متقابل سال × ارقام گندم بر صفات گندم

سال	ارقام گندم	ارتفاع (سانتی متر)	تعداد پنجه بارور در بوته	تعداد دانه در سنبله	وزن دانه در سنبله (گرم)	وزن هزار دانه (گرم)	محتوای قند محلول
اول	تکتاز	۱۱۰/۹۶ b-e	۲/۱۱ def	۴۳/۴۱ bcd	۲/۱۱ ab	۵۲/۲۱ abc	۷۱/۹۳ b
	تیرگان	۱۱۰/۵۲ cde	۱/۹۳ e-h	۴۰/۰۷ cde	۲/۰۸ abc	۵۰/۷۶ bc	۷۰/۸۸ cd
	آراز	۱۰۱/۵۵ f	۱/۸۸ fgh	۳۶/۳۳ e	۱/۸۹ a-d	۴۹/۵۸ bc	۷۱/۱۶ bcd
	کلاته	۱۰۶/۴۱ ef	۲/۱۵ def	۳۷/۷۰ e	۱/۹۰ a-d	۴۹/۲۱ cd	۷۱/۴۳ bc
	احسان	۱۰۱/۸۱ f	۱/۸۱ gh	۳۸/۷۰ de	۲/۰۴ abc	۵۰/۷۴ bc	۶۹/۸۷ e
	آفتاب	۱۰۱/۳۷ f	۱/۷۸ h	۳۸/۰۴ e	۱/۶۲d	۴۶/۳۴ d	۶۹/۷۲ e
دوم	تکتاز	۱۱۵/۴۱ abc	۲/۶۶ a	۵۳/۲۲ a	۲/۱۶ a	۵۴/۲۴ a	۷۳/۶۸ a
	تیرگان	۱۱۷/۰۰ a	۲/۵۹ ab	۴۴/۱۱ bc	۲/۰۱ abc	۵۲/۶۵ ab	۷۳/۴۶ a
	آراز	۱۱۲/۷۰ a-d	۲/۱۹ cde	۴۵/۳۷ b	۲/۰۳ abc	۵۱/۴۵ abc	۷۱/۰۵ bcd
	کلاته	۱۱۶/۱۵ ab	۲/۴۴ abc	۴۳/۹۶ bc	۱/۸۳ bcd	۴۹/۹۰ bc	۷۰/۴۷ de
	احسان	۱۰۸/۲۶ de	۲/۳۳ bcd	۴۱/۰۴ b-e	۱/۸۶ a-d	۴۹/۲۸ cd	۶۷/۱۱ f
	آفتاب	۱۰۹/۱۸ de	۲/۰۷ d-g	۴۱/۲۲ b-e	۱/۷۷ cd	۴۹/۶۵ bc	۶۹/۹۴ e
	LSD	۵/۴۸	۰/۲۸	۵/۰۰	۰/۳۲	۳/۱۵	۰/۹۳

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، از لحاظ آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۵. اثرات متقابل تنش زیست محیطی خشکی × ارقام گندم بر صفات گندم

تنش زیست محیطی خشکی	ارقام گندم	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	پرولین	پلی فنول اکسیداز	پراکسیداز
آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد (بدون تنش زیست محیطی خشکی)	تکتاز	۸۰۷۳/۶۰a	۳/۸۱۶i	۸۲/۲۱۳d	۶۱/۲۵۸h
	تیرگان	۷۷۴۹/۷۰ab	۴/۴۸۵hi	۷۱/۰۳۲k	۶۰/۲۵۷hi
	آراز	۷۵۹۲/۶۰ab	۴/۷۶۵gh	۷۱/۴۲۲ij	۶۰/۲۴۴hi
	کلاته	۷۵۷۵/۴۰ab	۴/۵۰۶hi	۷۱/۴۲۷hi	۵۹/۲۳۸hij
	احسان	۷۵۳۱/۵۰abc	۳/۸۲۵i	۷۱/۶۸۲h	۵۸/۲۲۵ij
	آفتاب	۷۴۶۶/۸۰abc	۴/۸۹۱fgh	۷۱/۸۱۳gh	۵۷/۲۰۸j
آبیاری تا مرحله ساقه رفتن (تنش زیست محیطی خشکی متوسط)	تکتاز	۷۲۵۳/۹۰a-d	۶/۵۹۶bcd	۷۱/۸۶۶g	۷۰/۳۴۲c
	تیرگان	۷۲۳۸/۲۰a-d	۶/۴۴۵b-d	۸۱/۹۱۵f	۷۰/۳۳۷c
	آراز	۷۱۹۲/۶۰a-d	۵/۷۶۷def	۸۱/۹۷۰ef	۶۹/۳۰۱cd
	کلاته	۶۸۹۸/۵۰a-d	۵/۰۵۰fgh	۸۲/۱۷۶de	۶۷/۲۷۶efg
	احسان	۷۱۰۲/۶۰a-d	۵/۵۸۴efg	۸۲/۱۶۲de	۶۸/۲۸۹cde
	آفتاب	۶۷۷۸/۹۰bcd	۶/۰۷۵cde	۸۲/۲۰۶d	۶۵/۲۵۸g

آبیاری پس از کشت گندم (تنش زیست محیطی خشکی کامل)	تکتاز	۶۷۶۹/۲۰bcd	۱۱/۲۶۴a	۹۲/۶۸۷a	۷۸/۴۸۴a
	تیرگان	۶۶۲۲/۴۰bcd	۱۰/۶۰۴ a	۹۲/۳۳۵abc	۷۷/۴۶۰a
	آراز	۶۵۳۴/۷۰bcd	۶/۷۲۳bc	۹۲/۳۳۹abc	۷۶/۳۹۴ab
	کلاته	۶۲۸۸/۹۰cd	۶/۲۴۳cde	۹۲/۴۷۱abc	۷۵/۳۷۶ab
	احسان	۵۹۹۸/۸۰d	۶/۲۳۵cde	۹۲/۵۰۳ab	۷۳/۳۶۶b
	آفتاب	۶۷۴۲/۸۰bcd	۷/۲۲۷b	۹۲/۶۶۴a	۷۸/۴۷۶a
LSD		۱۲۷۱/۳۰	۰/۹۲	۴/۲۶	۲/۰۵
میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، از لحاظ آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند					

منابع

- تاتاری، م.، احمدی، م.م.، عباسی علی‌کمر، ر.، ۱۳۹۱. اثر آبیاری تکمیلی بر رشد و عملکرد گندم دیم، نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، سال ۱، شماره ۲، ص ۴۵۵-۴۴۸.
- سالمی، ح.، افیونی، د.، ۱۳۸۳. تاثیرات کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام جدید گندم، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گرگان، سال ۱۲، شماره ۳، ص ۱۱-۱۹.
- Abid, M., Tian, Z., Ata-Ul-Karim, S.T., Liu, Y., Cui, Y., R, Zahoor. and Dai, T. 2016. Improved tolerance to postanthesis drought stress by pre-drought priming at vegetative stages in drought-tolerant and-sensitive wheat cultivars. Plant Physiology and Biochemistry, Vol. 106: 218-227.
- Agarwal, S., and Pandey, V. 2004. Antioxidant enzyme resposes to NaCl stress in Cassia angustifolia. Plant Biology, Vol. 48: 555-560.
- Ahmad, P., and Prasad, M.N.V. 2012. Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability, New York Dordrecht Heidelberg London.
- Baiji, M., S. Lutts. and Kinet, J.M. 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf) cultivars performing differently in arid conditions. Plant Science, Vol. 160: 669-681.
- Banks, J.M., G.C. Percival. and Rose, G. 2019. Variations in seasonal drought tolerance rankings. Trees Physiology, Vol. 33(4): 1063-1072.
- Bates, L.S., R.P. Waldern. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, Vol. 39:205-207.
- Blum, A.1988. Plant Breeding for Stress Environments. CRC., Press Inc., USA, 223 p.
- Boukid, F., Dall'Asta, M., Bresciani, L., P. Mena. and Del Rio, D. 2019. Phenolic profile and antioxidant capacity of landraces, old and modern Tunisian durum wheat. European Food Research and Technology, Vol. 245 (1): 73-82.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., P.A. Rebers. and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry, Vol. 28:350-356.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2017. www.fao.org/ fileadmin/ templates/wsfs /.../How to Feed the World in 2050.pdf.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2021. www.fao.org.
- Hammer. G., Dong, Z., McLean, G., Doherty, A., Messina, C., Schussler, J., Zinselmeier, C., S. Pszkiewicz. and Cooper, M. 2009. Can changes in canopy and/or root systemarchitecture explain historical maize yield trends in U.S. Corn Belt? Crop Science, Vol. 49: 299-312.
- Ho, S., Chao, Y., W.E. Tong. and Yu, S. 2001. Sugar coordinately and differentially regulates growth and stress-related gene expression via a complex signal transduction network and multiple control mechanisms. Plant Physiology, Vol. 46: 281-285.
- Hong, B.S., Zong suo, L., A.N.S. Ming. and Chu, W. 2005. Changes of anti-oxidative enzymes and membrane peroxidation for soil water deficits among 10 wheat genotypes at seedling stage. Colloids and Surfaces B: Bointerfaces, Vol. 42: 107-113.
- Jiang, Y., and Huang, N. 2001. Drought and heat sress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Science, Vol. 41: 436-442.
- Kerepesi, L. 1998. Osmotic and salt stresses induced differential altemation in water-soluble carbohydrate content in wheat seedling. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 5347-5354.
- Khan, V. 1975. Polyphenol oxide activity and browning of three Avocado varieties. J. Agric. Food Chemistry, Vol. 26: 1319-1324.

- Kiliç, H., and Yağbasanlar, T. 2010. The effect of Drought Stress on Grain Yield, Yield Components and some Quality Traits of Durum Wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) Cultivars. Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj, Vol. 38 (1): 164-170.
- Liu, H., Searle, L.R., Mather, D.E., Able, A.J., and Able, J.A. 2015. Morphological, physiological and yield responses of durum wheat to pre-anthesis water-deficit stress are genotype-dependent. Crop and Pasture Science, Vol. 66(10):1024-1038.
- Luigi, C., Rizza, F., Farnaz, B., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A.M., Francia, E., Mare, C., Alessandro, T., and Stanca, M.A. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. Field Crops Reserch, Vol. 105: 1-14.
- Luo, L.J., Xia, H., and Lu, B.R. 2019. Editorial: crop breeding for drought resistance. Frontiers in Plant Science, Vol. 1(10): 314-324.
- Mandhania, S., Madan, S., and Sawhney, V. 2006. Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings. Biologia Plantarum, Vol. 50(2): 227-231.
- Manivannan, P., Jaleel, C.A., Sankar, B., Kishurekumar, A., Somasundaram, R., and Lakshmanan, G.M. 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in Helianthus annuus L. as induced by drought stress. Colloids and Surfaces, Biointerfaces, Vol. 59: 141-149.
- Oelke, E.A., Oplinger, E.S., and Teynor, T.M. 2004. Safflower. University of Minnesota.
- Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Etminan, A., Shooshtari, L., Maleki-Tabrizi, N., and Poczai, P. 2020. Effects of drought stress on some agronomic and morpho-physiological traits in durum wheat genotypes. Sustainability, Vol. 12: 1-14.
- Turner, N. C. 1997. Further progress in crop water relations. Academic Press: San Diego, CA, USA, pp. 293–338.
- Vaughan, M.M., Block, A., Christensen, S.A., Allen, L.H., and Schmelz, E.A. 2018. The effects of climate change associated abiotic stresses on maize phy-tochemical defenses. Phytochemistry Reviews, Vol. 17(1): 37–49.

Morphophysiological reaction of bread wheat cultivars under the influence of drought environmental stress

Kamal Shahbazi Homounlu[1], **Ali Ebadi**[*2], **Salim Farzaneh**[2,] **Manoicher Khodarahmi**[4]

1. Ph.D. Student of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

[*]2. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3. Cereals Research Department, Seed and Plant Breeding Research Institute, Karaj, Iran

[*] Email Address : ebadi@uma.ac.ir

Abstract

The aim of this study was to evaluate and select bread wheat cultivars by assessing the yield, yield components and some physiological traits under drought stress conditions. Six cultivars were evaluated as sub-plots in 2018 to 2020 cropping seasons using a split plot design based on RCBD with three replicates. The Main plot covered the three irrigation regimes including normal irrigation (non-drought stress), terminal droght stress (irrigation up to boot- stage as moderate drought stress) and full drought stress (dryland). The results revealed that a significant reuction of the plant height (1.26 and 1.38%), fertile tillers number (1.38 and 2.81%), seeds number per spike (1.25 and 3.74%), seed weight per spike (0.51 and 2.62), 1000-seed weight (12.97 and 29.90%) and grain yield (12.5 and 31%) were recorded under the moderate drought stress and full drought stress, respectively as compared to non-stress conditions. The physiological traits like soluble sugars, proline content, peroxidase and polyphenol oxidase enzyme activity were significantly influenced by the drought stress treatments. Moderate drought stress and full drought significantly increased the soluble sugar content (4 and 10%, respectively), proline content (26 and 45%, respectively), polyphenol oxidase (13 and 21%, respectively) and peroxidase enzyme activity (10 and 22%, respectively). The present study verified that the biochemical parameters need to be considered as better traits to select wheat cultivars for drought tolerance under water stress conditions. However, the wheat cultivars ‘Taktaz’ showed the highest yield potential followed by the Tirgan in both non-stress and moderate drought stress conditions. Rank sum analysis identified the most drought tolerant cultivars as ‘Taktaz’ and ‘Aftab’. The Ardabil (Moghan) cultivar is considered as the most useful wheat cultivar for future drought tolerance breeding programs or similar agro-ecologies.

Introduction

Drought is one of the major production constraints limiting potential crop yields globally. It can severely affect and reduce the yield and productivity of food crops worldwide up to 70%. Recurrent drought is the leading abiotic stress causing reduced production and productivity of wheat especially in the Iran. The mean yield of wheat in Iran is 5.5 tons' ha^{-1} which is much lower than world average of 6.7 tons' ha^{-1}. The fluctuations in domestic wheat production and productivity causes a deficit in supply to meet national demand during drought years. The demand for wheat in Iran is rapidly increasing because of its growing population, urbanisation, the emergence of agro-processors and increased household income. Improving production and productivity in the low altitude, drought-prone areas of Iran would have a positive impact on national wheat production. The latter is not a realistic option because land is a finite resource and expansion of crop lands would create conflict with other land uses such as livestock grazing or human settlement. Breeding for drought tolerance is a sustainable approach to improving yields in marginal areas. Developing wheat cultivars and technologies suitable for such areas have been prioritized as mitigation strategies.Although breeding for drought tolerance is recognised globally as an important strategy, there are still very few cultivars with stable drought tolerance expressed under diverse environmental conditions. Drought tolerance is a complex polygenic trait confounded by environmental factors that affect its expression, and the identification of superior cultivars. Furthermore, the unpredictable nature of drought manifestation and the different mechanisms adopted by plants to cope with drought stress complicate the identification of superior cultivars under variable moisture conditions. Field-based empirical selection for drought tolerance is still commonly used. However, the occurrence of drought stress at various

stages of plant growth and development have differential effects on yield and yield components, and there is no consensus on the best time to impose drought stress in controlled experiments. Therefore, the objective of this research was to study the effect of soil water stress on selected morphological, physiological, and biochemical parameters of wheat cultivars and to determine the traits, which can be used for identification of tolerant wheat cultivars under water stress conditions.

Methodology
Two experiments were conducted as a split plot in the form of a randomized complete block design with three repetitions at the Agricultural and Natural Resources Research Center of Moghan during 2018-2019 and 2019-2020. Main plot includes irrigation regime (normal irrigation until the end of the growing season (non-stress), irrigation up to boot stage (moderate drought stress) and full drought stress) and sub plot including 6 line and wheat cultivars including (Taktaz, Tirgan, Araz, Kalateh, Ehsan, Aftab). Wheat cultivars were provided by SPII (seed and plant improvement institute). The panel included 6 cultivars that were being developed for drought stress areas that had International Maize and Wheat Improvement Centre (CIMMYT) origin and five standard checks that were released as drought tolerant cultivars. Planting is usually done early to mid-November, depending on the onset of rainfall in all the study areas. Each cultivar was hand planted in 2 m long rows, spaced at 0.2 m apart. A plot for each cultivar consisted of four rows.

Conclusion
current results showed that water scarcity significantly influenced all the measured traits, while traits linked to morphology, physiology, and biochemistry of the wheat were more influenced by the cultivars. results revealed that the moderate drought stress and full drought stress significantly increased soluble sugar content (4 and 10%, respectively) and increased proline content (26 and 45%, respectively), differences in the synthesis of proline and total soluble sugar with an increase in water scarcity among the selected wheat cultivars showed the diverse ability of the tested cultivars to cope up with drought. N-93-17 and Aftab cultivars among bread wheat were found to have better capacity to endure water stress by synthesizing more proline and total soluble sugar as mitigation strategies. Overall, except for the spike length, the other morphological, physiological, and biochemical parameters could be used as effective indicators to identify tolerant wheat cultivars in the water-limited environments. Moreover, the relative effectiveness of selection could be better when two or more traits are considered than using single trait as an independent factor. Dependability of the observed traits for the selection of tolerant wheat cultivars for specific area could be recommended to be verified under different environmental conditions to solve problems related to water scarcity. Results of this investigation could also provide usable genetic variability for wheat yield improvement and would be of great importance in the selection of appropriate wheat cultivars as well as for selection of desirable parents for the breeding program to develop the wheat cultivars resistant to drought stress conditions.

Keywords
“Grain yield”, “Anti oxidant enzyme”, “Number of seed per spike”, “Proline enzyme”