Archive of SID

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد نهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۵
۱۶۲-۱۴۹

بررسی تأثیر تنش خشکی بر تجمع اسمولیت‌ها، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و رشد چند رقم و لاین ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica* L.)

مسعود خزاعی[1*]، محمد گلوی[2]، مهدی دهمرده[3]، سید محسن موسوی‌نیک[3]، غلامرضا زمانی[4]، نفیسه مهدی‌نژاد[5]

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل و کارشناس ارشد آموزشی دانشگاه بیرجند.
۲. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل.
۳. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل.
۴. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند.
۵. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۸

چکیده

مقدمه

تنش خشکی از مهم‌ترین فاکتورهای محدودکننده رشد و تولید گیاهان محسوب می‌شوند و منجر به کاهش بیش از ۵۰ درصدی در میانگین تولید اکثر محصولات در سرتاسر جهان می‌شود. یک استراتژی سودمند به‌منظور اجتناب از وارد آمدن خسارات تنش خشکی به گیاهان کاشت گیاهان مقاوم به خشکی است. یک پیشنهاد مناسب و متداول استفاده از گیاهان چهارکربنه نظیر ارزن است که مقاومت نسبتاً زیادی به کمبود آب دارد. تنش خشکی خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی نظیر تنظیم‌کننده‌های اسمزی، محتوی کلروفیل، ارتفاع بوته و طول خوشه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شناخت مبانی فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی مقاومت به تنش در این گیاه و ارتباط آن‌ها با عملکرد می‌تواند کمک زیاد به شناخت و توسعه کاشت گیاهان مقاوم به خشکی نماید. هدف از این آزمایش بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در سه رقم ارزن است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال زراعی ۹۳-۹۲ به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. سطوح مختلف تنش خشکی شامل تأمین ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی (به ترتیب تنش شدید، تنش متوسط و بدون تنش) به‌عنوان عامل اصلی و ارقام ارزن دم‌روباهی (شامل رقم باستان و لاین‌های kfm5 و kfm20) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری اسمولیت‌ها و رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در ۳۰ و ۴۵ روز بعد از اعمال تنش انجام شد. خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای آن در زمان رسیدگی و بلوغ اندازه‌گیری شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون توکی در سطح معنی‌داری ۵٪ انجام شد

نتایج

نتایج نشان داد که در مراحل مختلف رشد تنش خشکی منجر به افزایش پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و کاهش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و کارتنوئیدها در مقایسه با تیمار شاهد گردید. تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته، طول میانگره و طول خوشه، تعداد خوشه در مترمربع، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه و عملکرد را در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داد ولی تأثیری بر تعداد گره نداشت. بالاترین و کمترین عملکرد دانه ۴۶۱/۸۸ و ۱۷۱/۰۸ گرم در مترمربع به ترتیب مربوط به تیمار بدون تنش و تنش شدید بود. این نتایج دلالت بر آن دارد که ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه تأثیر مثبت بر عملکرد دانه در ارزن دارد و افزایش آن‌ها باعث افزایش عملکرد دانه شد. *بر طبق نتایج بدست آمده کاهش ارتفاع، اسمولیت‌های سازگار و کارتنوئیدها مکانیزم‌های سازگاری و مقاومت به خشکی محسوب می‌شوند.*

واژه‌های کلیدی: **تنظیم اسمزی، پرولین، قندهای محلول، خصوصیات مورفولوژیکی، اجزای عملکرد**

* نگارنده پاسخگو: مسعود خزاعی. پست الکترونیک: mkhazaei20yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

تغییرات جهانی اقلیم و الگوی بارندگی، باعث توسعه نواحی خشک شده است (Xoconstle-Cazares et al., 2010). بر اساس داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی شده در ایران نیز برای ۳۰ سال آینده افزایش خشکی پیش‌بینی شده‌است (Khazanedari et al., 2009). گیاهان در طبیعت بارها در معرض انواع تنش قرار می‌گیرند که تنش خشکی از مهم‌ترین فاکتورهای محدودکننده رشد و تولید گیاهان محسوب شده و منجر به کاهش بیش از ۵۰ درصدی میانگین تولید اکثر محصولات در سرتاسر جهان می‌شود (Lata et al., 2011). مقاومت گیاهان به تنش به علت پیچیده بودن اثرات متقابل بین فاکتورهای تنش و نیز تنوع پدیده‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی مؤثر بر رشد و نمو گیاه بسیار پیچیده است (Razmjoo et al., 2008) و بنابراین شناخت آثار تنش خشکی و نیز انتخاب ارقام مقاوم به خشکی ضروری به نظر می‌رسد (Hui-Ping et al., 2012).

اصلاح و توسعه کاشت گیاهان مقاوم به خشکی می‌تواند یک راهکار سودمند به‌منظور اجتناب از وارد آمدن خسارت تنش خشکی به گیاهان باشد (Vitkauskaite and Venskaityte, 2011). یک پیشنهاد مناسب استفاده از گیاهان چهارکربنه نظیر ذرت، سورگم و ارزن است که به‌واسطه قدرت باروری بالا (Vitkauskaite and Venskaityte, 2011)، ارزش غذایی و مقاومت نسبتاً زیاد به کمبود آب (Liu et al., 2004; Osborne and Freckleton, 2009)، سازگاری خوبی با نواحی گرم و خشک دارند.

تنش آب نه‌تنها بر مورفولوژی گیاه تأثیر می‌گذارد بلکه شدیداً متابولیسم و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گیاهان سازوکارهای سازگاری متفاوتی در پاسخ به تنش‌های غیرزنده محیطی نظیر آب‌کشیدگی دارند. این مکانیسم سازگاری شامل تغییر در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی است که در بین آن‌ها تجمع محلول‌های آلی سازگار بیشتر موردتوجه است (Mohammadkhani and Heidari, 2008). تنش خشکی منجر به تجمع چند محلول آلی سازگار نظیر قندها، بتائین و پرولین می‌گردد (MohammadKhani and Heidari, 2008). در حین کمبود آب، حفظ پتانسیل آب گیاه برای ادامه رشد ضروری است و این می‌تواند از طریق مکانیسم‌های تنظیم اسمزی ناشی از تجمع محلول‌های سازگار نظیر پرولین و هیدرات‌کربن در سیتوپلاسم به دست آید (Ajithkumarand and Panneerselvam, 2013). پرولین علاوه بر خصوصیات اسمولیتی، یک آنتی‌اکسیدان قوی و دارای توان بازدارندگی مرگ برنامه‌ریزی‌شده سلول نیز محسوب می‌شود. مدارک به‌خوبی نشان می‌دهد که به دنبال تنش خشکی و شوری، بروز تنش اکسیداتیو منجر به تجمع قابل‌توجه پرولین می‌شود که می‌تواند ناشی از افزایش در سنتز پرولین و یا کاهش ازهم‌پاشیدگی آن باشد. پرولین آزاد به‌عنوان یک محافظ اسمزی، پایدارکننده پروتئین، کلات کننده فلز، ممانعت کننده از پراکسیداسیون چربی و نیز پاک‌سازی کننده هیدروکسیل و اکسیژن نوزاد عمل می‌کند (Ashraf, 2007; Trovata, 2008).

انواع رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b و نیز کارتنوئیدها در معرض خسارات خشکی می‌باشند. علاوه بر این تنش خشکی تغییراتی را نیز در نسبت کلروفیل a به b و کارتنوئیدها باعث می‌شود (Farooq et al., 2009; Anjum et al.,2003). محتوی کلروفیل کل نیز در شرایط کمبود زیاد آب به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Jaleel et al., 2001). در شرایط تنش گیاهان چندین مکانیسم برای دفع انرژی اضافی فتوسنتزی دارند که این مکانیسم‌ها نقش زیادی در مقاومت به خشکی گیاهان دارند. در همه موجودات فتوسنتز کننده کارتنوئیدها نظیر بتاکاروتن و زئاگزانتین و توکوفرول‌ها به‌عنوان ترکیبات محافظ نوری مهم بشمار می‌آیند که از طریق پراکنده کردن انرژی برانگیخته‌شده به‌صورت گرما و یا از طریق پاک‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن و نیز خنثی کردن پراکسیداسیون چربی ایفای نقش می‌کنند. کارتنوئیدها یک نقش کلیدی در این سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی در گیاه دارند ولی در برابر خسارت اکسیداتیو خیلی مستعد نیز هستند و تنش خشکی از طریق تولید گونه‌های فعال اکسیژن همراه با کاهش غلظت کلروفیل غلظت کارتنوئیدها را نیز کاهش می‌دهد (Reddy et al., 2004).

عملکرد در ارزن تابعی از تعداد پانیکول در واحد سطح، تعداد دانه در پانیکول و وزن هزار دانه است که تحت تأثیر ژنوتیپ و محیط قرار می‌گیرد و به توصیف عملکرد کمک می‌کنند. ژنوتیپ بر توانایی ظهور پنجه، تعداد گل و تعداد گلی که به دانه تبدیل می‌شود و نیز تخصیص مواد

www.SID.ir

Archive of SID

فتوسنتزی تأثیر می‌گذارد. محیط نیز توانایی بروز پتانسیل ژنتیکی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آب و سایر فاکتورهای محیطی از طریق تأثیر بر اجزای عملکرد باعث کاهش عملکرد می‌شوند. شدت تغییرات بستگی به رقم، مرحله رشد، دوام و شدت تنش دارد (Mark and Antony, 2005; Akram, 2011).

تحقیقات نشان داده است که ارتباط مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و تعداد سنبله وجود دارد (Shooshi Dezfooli et al., 2011; Channappagoudar et al., 2008). در تحقیقی دیگر صفات مؤثر بر عملکرد در ۲۰۰ ژنوتیپ ارزن موردبررسی قرار گرفت و گزارش شد ارتفاع بوته، طول پانیکول و عملکرد علوفه همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه داشتند (Santhakumar, 1999). تنش در دوره رشد رویشی از طریق کاهش سطح برگ فعال فتوسنتزی و در دوره زایشی از طریق کاهش طول دوره رشدی باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (Alizadeh et al., 2007). افزایش فواصل آبیاری در ارزن باعث کاهش عملکرد علوفه تازه و خشک شد (Heidari Zooleh et al., 2011; Keshavars et al., 2012; Keshavars et al., 2013). مطالعات زیادی نشان داد که تنش آب در مرحله گلدهی، گرده‌افشانی را کاهش می‌دهد و بنابراین تعداد دانه تشکیل‌شده در خوشه کاهش‌یافته و منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود (Alizadeh et al., 2007; Maqsood and Azam, 2007; Seghatoleslam et al., 2008; Akram, 2011). آب کافی در طول دوره گلدهی نه‌تنها اجازه می‌دهد سرعت فتوسنتز افزایش یابد بلکه زمان زیادی به‌منظور انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه تخصیص می‌دهد که اندازه دانه را بهبود می‌بخشد و درنتیجه منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود (Zhang and Oweis, 1998). نتایج تحقیقات نشان داد که تنش آب سه هفته بعد از گرده‌افشانی هیچ تأثیری بر تعداد دانه در پانیکول در گیاه ارزن نداشت اما وزن هزار دانه را کاهش داد (Mahalaka and Bidnger, 1985; Davoodi et al., 2013). کاهش وزن دانه در این مرحله به علت کاهش فتوسنتز ناشی از کاهش سطح برگ فعال و نیز کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به علت کمبود آب است. وقتی خشکی در مراحل مختلف رشد نظیر پنجه‌دهی، ساقه‌دهی، خوشه‌دهی، گلدهی و مراحل نمو دانه به گیاه تحمیل می‌شود، کاهش در سرعت رشد از طریق کاهش در کارایی مصرف نور ایجاد می‌شود و کارایی بهتر محصول بستگی به قابلیت دسترسی آب در طول این مراحل دارد (Akram, 2011).

همه مراحل رشد گیاه حساسیت یکسانی به کمبود آب ندارند. برخی مراحل رشد از طریق ذخیره آب با کمبود آب مقابله می‌کنند درحالی‌که مراحل دیگر حساس‌تر بوده و ذخیره آب در چنین مراحلی نقشی در جبران کاهش عملکرد ندارد. تنش رطوبتی در مراحل رشد می‌تواند باعث کاهش زیست‌توده، توانایی پنجه‌زنی، تعداد دانه در خوشه و اندازه دانه شود و میزان تأثیر بستگی به‌شدت و مدت تنش دارد (Bukhat, 2005). قرار گرفتن در معرض تنش آب در مراحل انتهایی رشد ممکن است باعث کاهش در تعداد دانه در خوشه و وزن دانه غلات شود (Gupta et al., 2001; Dencic et al., 2000).

به‌منظور درک پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاهان به تنش خشکی و تأثیر آن بر عملکرد، آزمایشی با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی بر شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکرد سه رقم و لاین امیدبخش ارزن دم‌روباهی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک در یک رقم و دو لاین امیدبخش ارزن دم‌روباهی آزمایش در سال زراعی ۹۳-۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه و ارتفاع ۱۳۸۱ متر از سطح دریا با میانگین بارندگی سالیانه ۱۴۷ میلی‌متر) انجام شد. قبل از کاشت نمونه‌گیری از خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتر انجام شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم پاییزه و بهاره و دیسک و تسطیح در بهار ۹۳ انجام و کودپاشی بر اساس نتایج آزمون خاک از منابع اوره، فسفات آمونیم و سولفات پتاسیم (به ترتیب به میزان ۲۵۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلو در هکتار) انجام شد. کود فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم قبل از کاشت و کود اوره ۱۵۰ کیلو همزمان با کاشت و باقیمانده در شروع ساقه‌دهی به زمین اضافه گردید. کاشت در اوایل تیرماه صورت گرفت. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. سطوح مختلف تنش خشکی شامل (۱) شرایط آبیاری نرمال بر اساس ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی ارزن (بدون تنش)، (۲) آبیاری با تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی (تنش

www.SID.ir

Archive of SID

متوسط)، و (۳) آبیاری با تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی (تنش شدید) به‌عنوان عامل اصلی و ارقام و لاین‌های ارزن دم-روباهی (شامل رقم باستان و لاین‌های kfm5 و kfm20) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. هر کرت شامل ۴ خط به طول ۶ متر بود و فاصله بین خطوط ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف‌های کاشت ۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بین هر کرت فرعی و کرت مجاور یک خط نکاشت و بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد. آبیاری تا مرحله ۴ برگی به‌صورت معمول انجام شد و در این مرحله تنش مطابق با تیمار موردنظر و بر اساس میزان آب تبخیر شده از تشتک تبخیر در زمان ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی اعمال گردید. نیاز آبی به کمک روش FAO با استفاده از آمار تبخیر از تشتک کلاس A و با در نظر گرفتن راندمان ۸۰ درصد برای پخش آب در سطح کرت‌ها تعیین شد. کنترل علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی انجام شد.

اندازه‌گیری صفات مرفولوژیکی شامل ارتفاع بوته، تعداد گره، طول میانگره، قطر ساقه، طول و قطر خوشه، در هر کرت بر روی ۵ بوته که به‌طور تصادفی انتخاب و اتیکت گذاری شده بود صورت گرفت. شاخص‌های فیزیولوژیکی شامل مقدار کربوهیدرات محلول روش اسیدسولفوریک (Schlegel, 1956)، میزان پرولین روش بیتس (Bates et al., 1973)، میزان کلروفیل برگ (Sairam and Saxena, 2000) در دو نوبت ۳۰ و ۴۵ روز بعد از تنش اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدگی از دو خط میانی پس از حذف ۰/۵ متر ابتدا و انتهای هر کرت به‌صورت تصادفی برداشت از سطح یک مترمربع به‌صورت برش از سطح خاک انجام شد و عملکرد دانه و بیولوژیک پس از جدا نمودن و توزین برای هر کرت برحسب کیلوگرم در مترمربع محاسبه شد. اجزای عملکرد شامل تعداد پانیکول در مترمربع، تعداد دانه در پانیکول و وزن هزار دانه به‌طور تصادفی از ۳ بوته برداشت‌شده محاسبه شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها عملکرد و اجزای عملکرد با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ مورد تجزیه واریانس قرار گرفت. میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون میانگین حداقل مربعات توکی در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شد.

نتایج و بحث

تأثیر خشکی بر صفات مورفولوژیک

جدول (۱) نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک را در ارقام ارزن تحت تیمار تنش خشکی نشان می‌دهد. اثر متقابل بین تیمار تنش و ارقام در تمامی صفات موردمطالعه به‌جز طول خوشه در سطح معنی‌داری ۵٪ ازنظر آماری معنی‌دار نشد. معنی‌دار نبودن اثر متقابل تیمارها دلالت بر آن دارد که تنش تأثیر مشابهی بر صفات مورفولوژیک در ارقام موردمطالعه داشته است. با افزایش شدت تنش طول خوشه در رقم باستان و لاین KFM5 کاهش یافت ولی تنش تأثیری بر طول خوشه لاین KFM20 نداشت. علت این موضوع احتمالاً اختلاف ژنتیکی ارقام ازنظر طول خوشه است. اثر تنش خشکی بر ارتفاع بوته در سطح معنی‌داری ۱٪ ازنظر آماری معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری نرمال یعنی ۱۰۰٪ درصد تأمین نیاز رطوبتی به میزان ۱۰۸/۱۱ و تیمار تنش شدید به میزان ۷۴/۴۴ سانتیمتر بود (جدول ۲). تنش تأثیر معنی‌داری بر طول میانگره داشت ولی بر تعداد گره در ساقه تأثیر معنی‌داری نداشت که نشان می‌دهد کاهش ارتفاع در تیمار تنش مربوط به کاهش طول میانگره بوده است. تأثیر تنش بر قطر ساقه معنی‌دار نبود. بین ارقام و لاین‌های موردمطالعه نیز ازنظر تمام صفات مورفولوژیک موردبررسی به‌جز ارتفاع اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱). بیشترین طول میانگره مربوط به رقم KFM20، بیشترین تعداد گره مربوط به رقم باستان و بیشترین طول خوشه را رقم KFM5 داشت درنتیجه ارقام ازنظر ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۲).

تأثیر تنش خشکی بر اسمولیت‌های سازگار

پرولین اثر متقابل بین تیمار تنش و ارقام بر میزان پرولین در کوتاه‌مدت و بلندمدت در سطح معنی‌داری ۵٪ ازنظر آماری معنی‌دار نشد (جدول ۳). معنی‌دار نبودن اثر متقابل تیمارها دلالت بر آن دارد که تنش تأثیر مشابهی بر میزان پرولین در ارقام موردمطالعه داشته است.

تحت شرایط خشکی در همه تیمارهای تنش محافظت‌کننده اسمزی پرولین در مقایسه با شاهد و در مراحل مختلف رشد ارزن افزایش یافت (جدول ۴). بالاترین سطح پرولین در برگ‌های ارزن در ۳۰ و ۴۵ روز بعد از اعمال تنش (۷۰ روز بعد از کاشت) به ترتیب ۸۵/۱۱ و ۱۰۱/۱۱ میلی‌گرم در وزن تازه (mg/FW) بود. بین ارقام

www.SID.ir

Archive of SID

موردمطالعه نیز ازنظر میزان پرولین در هر دو مرحله رشدی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین میزان پرولین در ۳۰ و ۴۵ روز بعد از تنش به ترتیب مربوط به رقم KFM20 و KFM5 بود (جدول ۴).

میزان کربوهیدرات محلول اثر متقابل بین تیمار تنش و ارقام بر میزان کربوهیدرات محلول در کوتاه‌مدت و بلندمدت در سطح معنی‌داری ۵٪ ازنظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). معنی‌دار نبودن اثر متقابل تیمارها دلالت بر آن دارد که تنش تأثیر مشابهی بر میزان کربوهیدرات در ارقام موردمطالعه داشت. تحت شرایط خشکی میزان کربوهیدرات محلول در همه تیمارهای تنش در مقایسه با شاهد در مراحل مختلف رشد *ارزن* افزایش یافت. بالاترین سطح کربوهیدرات در برگ‌های ارزن در ۳۰ و ۴۵ روز بعد از اعمال تنش و ۶۰ و ۷۰ روز بعد از کاشت در تنش شدید به ترتیب ۸۵/۱۱ و ۱۰۱/۱۱ میلی‌گرم در وزن تازه برگ (mg/FW) بود (جدول ۴). بین ارقام موردمطالعه در هر دو مرحله رشدی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. بالاترین میزان کربوهیدرات در هر دو مرحله مربوط به رقم KFM20 بود (جدول ۴).

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیک موردمطالعه در ارزن.

Table 1. Analysis of variance (Mean of squares) of studied traits in Millet

Source of variation	منابع تغییر	درجه آزادی df	طول میانگره Internode length	تعداد گره Node no.	ارتفاع بوته Plant height	طول خوشه Ear length	قطر ساقه Plant diameter
Replication	تکرار	3	3.67	2.00	43.28	0.88	0.31
Stress (S)	تنش	2	49.33**	0.59	3400.34**	16.59 *	0.18
Error a	خطای الف	6	49.32	0.85	111.43	3.51	0.17
Cultivar (C)	رقم	2	11.36*	17.33**	387.75	300.44 **	6.55 **
S × C	تنش × رقم	4	4.93	0.81	138.27	16.59 **	0.13
Error b	خطای ب	18	2.16	1.45	144.23	3.42	0.17
CV (%)	ضریب تغییرات (٪)		14.58	13.08	13.15	9.67	14.08

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد

* and ** means significant at 0.05 and 0.01 probability level respectively

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک موردمطالعه در ارزن.

Table 2. Mean comparison of studied morphological traits in Millet.

Treatments	تیمارها	طول میانگره Inter node length (cm)	تعداد گره Node no.	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول خوشه Ear length (cm)	قطر ساقه Plant diameter (mm)
Cultivar	ارقام					
Bastan	باستان	8.99 b	10.55a	95.22a	16.22b	3.72a
Kfm5	Kfm5	10.84a	8.88b	93.88a	24.88a	3.06b
Kfm20	Kfm20	10.42ab	8.22b	84.77a	16.22b	2.24c
Stress	تنش					
No stress	بدون تنش	11.91a	9.22a	108.11a	20.44a	3.12a
Moderate stress	تنش ملایم	10.44b	9.00a	91.33b	18.66ab	2.88a
Severe stress	تنش شدید	7.90c	9.44a	74.44c	18.22b	3.03a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون توکی در سطح معنی‌داری ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

Means followed by the same letters in each column are not significant different at the 5% level according to tukey
no stress, medium stress and severe stress are 100, 75 and 50 percent plant water requirement respectively.

www.SID.ir

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیک مورد مطالعه در ارزن در ۳۰ و ۴۵ روز پس از اعمال تنش.

Table 3. Analysis of variance (Mean of Squares) of studied physiological traits in millet at 30 and 45 days after exerting stress.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	محتوی پرولین Proline content		کربوهیدرات Carbohydrate		کلروفیل a Chlorophyll a		کلروفیل Chlorophyll b		کلروفیل کل Total Chlorophyll		کلروفیل b/a Chl b/chla		کارتنوئیدها Carotenoids	
		30	45	30	45	30	45	30	45	30	45	30	45	30	45
تکرار Replication	3	11595.5	2480.3	366.6	275.3	5.35	1.11	0.87	0.14	9.04	0.04	0.008	0.012	47.32	88.72
تنش Stress (S)	2	5969.9*	1067.1*	1271.9*	2573.4*	23.44**	8.86**	5.74**	1.28**	51.97**	16.86**	0.012	0.033**	329.01*	25.72
خطای الف Error a	6	1238.9	1736.3	224.4	315.1	0.64	0.15	0.35	0.06	0.88	0.28	0.012	0.001	58.98	141.82
رقم Cultivar (C)	2	1067.5*	4128.4**	942.0**	635.4**	1.53	9.8**	1.70**	0.39*	5.81**	14.02**	0.033*	0.006	675.88	1206.77**
تنش×رقم S × C	4	297.6	1164.2	182.5	2402.4**	0.50	0.45	0.70	0.046	1.43	0.78	0.014	0.002	608.82	558.16**
خطای ب Error b	18	272.24	637.2	132.7	92.9	0.598	0.43	0.18	0.049	0.88	0.47	0.010	0.007	345.70	51.36
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		25.96	37.28	27.42	14.69	13.95	16.48	21.92	31.1	12.54	14.60	28.04	27.75	28.93	14.85

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد

* and ** means significant at 0.05 and 0.01 probability level respectively

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۴: مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک موردمطالعه در ارزن در ۳۰ و ۴۵ روز پس از اعمال تنش.

Table4: Mean comparison of studied physiological traits in millet at 30 and 45 days after exerting stress.

Treatment	تیمار	محتوی پرولین Proline content ($mg.g^{-1}Fw$)		کربوهیدرات Carbohydrate ($g^{-1}.Fw$)		کلروفیل a Chlorophyll a ($mg\ g^{-1}$)		کلروفیل b Chlorophyll b ($mg\ g^{-1}$)		کلروفیل کل Total Chlorophyll ($mg\ g^{-1}$)		کلروفیل b/a Chl b/chla		کارتنوئیدها Carotenoids ($mg\ g^{-1}$)	
		30	45	30	45	30	45	30	45	30	45	30	45	30	45
Cultivar	ارقام														
Bastan	باستان	53.15a	58.67b	35.12b	68.83a	5.15a	3.05c	1.74b	0.54b	6.89b	3.59c	0.35ab	0.17a	55.71a	38.44c
Kfm5	Kfm5	65.88b	89.03a	38.88b	57.24b	5.61a	4.03b	1.76b	0.67a	7.38b	4.71b	0.31b	0.16a	69.77a	47.83b
Kfm20	Kfm20	71.57c	55.38b	52.00a	70.65a	5.86a	4.85a	2.40a	0.90a	8.27a	5.76a	0.41a	0.18a	67.29a	58.48a
Stress	تنش														
No stress	بدون تنش	42.25c	49.93b	34.36b	58.3b	6.98a	4.81a	2.74a	1.04a	9.72a	5.85a	0.39a	0.23a	7.27a	48.27a
Moderate stress	تنش ملایم	63.49b	52.04b	37.93ab	58.47b	5.45b	4.04b	1.77b	0.69b	7.23b	4.74b	0.33a	0.18b	60.66b	48.38a
Severe stress	تنش شدید	85.86a	101.12a	53.71a	82.41a	4.19c	3.09c	1.39b	0.38c	5.59c	3.48c	0.35a	0.12c	61.8ab	48.09a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون توکی در سطح معنی‌داری ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

Means followed by the same letters in each column are not significant different at the 5% level according to tukey.

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر خشکی بر رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی

نتایج نشان داد که اثر متقابل بین تیمار تنش و ارقام بر میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در کوتاه‌مدت و بلندمدت در سطح معنی‌داری ۵٪ ازنظر آماری معنی‌دار نیست (جدول ۳). معنی‌دار نبودن اثر متقابل تیمارها دلالت بر آن دارد که تنش تأثیر مشابهی بر میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در ارقام موردمطالعه داشته است. میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی کلروفیل a و b تحت تأثیر تنش خشکی کوتاه‌مدت و بلندمدت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). نسبت کلروفیل a به کلروفیل b (a/b) تحت تنش کوتاه‌مدت تغییر معنی‌داری نداشت، ولی در بلندمدت کاهش یافت. کاهش این نسبت بدان معنی است که تحت تأثیر تنش خسارت کلروفیل b نسبت به کلروفیل a بیشتر بوده است (Fang et al., 1998). ارقام موردمطالعه نیز ازنظر میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی اختلاف معنی‌داری نشان دادند. بالاترین میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در هر دو مرحله مربوط به رقم KFM20 بود (جدول ۴).

اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد

در مطالعه حاضر معلوم شد که اثر متقابل تیمارها بر عملکرد و اجزای عملکرد به‌جز تعداد دانه در خوشه معنی‌دار نبود و ارقام موردمطالعه پاسخ مشابهی به افزایش تنش نشان دادند (جدول ۵). تأثیر متفاوت تنش خشکی بر تعداد پانیکول احتمالاً به علت تفاوت ژنتیکی ارقام ازنظر طول خوشه بود و به همین علت تأثیرپذیری متفاوتی به اعمال تنش نشان دادند.

اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد در سطح معنی‌دار ۰/۰۱ معنی‌دار شد (جدول ۵). بیشترین و کمترین تعداد پانیکول به ترتیب مربوط به تیمار بدون تنش (۱۱۹/۳۴ خوشه در مترمربع) و تنش شدید (۹۳/۸۹ خوشه در مترمربع) بود. بیشترین و کمترین تعداد دانه در پانیکول به ترتیب مربوط به تیمار بدون تنش (۱۵۶۷/۹۷) و تنش شدید (۷۷۸/۱۹) بود (جدول ۶). بیشترین و کمترین وزن هزار دانه به ترتیب مربوط به تیمار شاهد (۲/۹۷) و تنش شدید (۲/۶۱) گرم بود.. بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب مربوط به تیمار بدون تنش (۴۶۱/۸۸) و تنش شدید (۱۷۱/۰۸) گرم در مترمربع بود.

ارقام موردمطالعه ازنظر تمام اجزای عملکرد ازنظر آماری اختلاف معنی‌داری داشتند ولی عملکرد ارقام ازنظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۶). بیشترین تعداد پانیکول در مترمربع مربوط به رقم KFM20 بود ولی این رقم ازنظر تعداد دانه در پانیکول و وزن هزار دانه کمترین مقدار را داشت و همین موضوع باعث شد ازنظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری بین ارقام وجود نداشته باشد.

جدول ۵. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد در ارزن.

Table 5. Analysis of variance of yield and component yield in Millet.

منابع تغییر Source of variation		درجه آزادی df	تعداد خوشه بارور Ears.m^{-2}	تعداد دانه در خوشه Seeds per ear	وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Seed yield
Replication	تکرار	3	969.55	51017.01	0.121	52911.12
Stress (S)	تنش	2	3207.70**	2367431.81**	0.397**	267137.70**
Error a	خطای الف	6	258.63	92591.28	0.010	8452.48
Cultivar (C)	رقم	2	3869.80**	1882464.58**	0.841**	176.39
S × C	تنش × رقم	4	1025.84	207379.78*	0.012	6190.87
Error b	خطای ب	18	660.93	73777.81	0.024	4886.88
CV (%)	ضریب تغییرات (٪)		22.84	25.78	5.56	23.52

**,* به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد

**,* significant at 0.05 and 0.01 probability level respectively

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶. مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد در ارزن.

Table 6. Mean comparison of yield and component yield in Millet.

Treatments	تیمارها	تعداد خوشه بارور Ears.m^{-2}	تعداد دانه در خوشه Seeds per ear	وزن هزار دانه 1000 seed weight (gr)	عملکرد دانه Seed yield (g.m^{-2})
Cultivar	**ارقام**				
Bastan	**باستان**	63.77c	1432.70a	3.07a	293.49a
Kfm5	**Kfm5**	99.00b	1085.51b	2.74b	296.96a
Kfm20	**Kfm20**	174.88a	642.49c	2.54c	301.14a
Stress	**تنش**				
No stress §	**بدون تنش**	119.44a	1565.97a	2.97a	461.88a
Moderate stress	**تنش ملایم**	124.33a	816.54b	2.77b	258.53b
Severe stress	**تنش شدید**	93.89b	778.19b	2.61c	171.08b

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون توکی در سطح معنی‌داری ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

Means followed by the same letters in each column are not significant different at the 5% level.

§ No stress, medium stress and severe stress are 100, 75 and 50 percent plant water requirement respectively

از نتایج این تحقیق چنین استنباط می‌شود که طول ساقه ارزن تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت. تنش خشکی از طریق کاهش طول میانگره باعث کاهش ارتفاع ساقه شد و بر تعداد گره تأثیری معنی‌داری نداشت. کاهش طول ساقه در پاسخ به تنش خشکی ممکن است به علت تقسیم سلولی و یا طویل شدن سلول باشد. کمبود آب منجر به کاهش اتساع سلول، حجم سلول و درنتیجه رشد سلول می‌شود. علاوه بر این تنش خشکی از طریق کاهش سرعت انتقال مواد در آوندهای چوبی و آبکش نیز ممکن است باعث کاهش رشد ساقه شود (Boyer, 1988; Lovislo and Schuber, 1998). نتایج مشابهی به‌وسیله دیگر محققین نیز به دست آمد (Seghatoleslam et al., 2008; Khazaei et al., 2004; Davoodi et al., 2000). کاهش طول ساقه قادر است از طریق مکانیسم‌های تخفیف تنش خشکی و کاهش تلفات آب، گیاه را در برابر خسارت تنش را محافظت کند (Mohammadi and Haghparast, 2011).

تحت تأثیر تنش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی نیز کاهش یافت. با طولانی شدن مدت دوام تنش نیز در همه سطوح تیماری میزان رنگدانه‌ها کاهش بیشتری نشان داد. بروز تنش در گیاهان حساس از طریق اختلال در انرژی فرآیند فتوسنتز منجر به تشکیل حالت تریپلت کلروفیل (Chl3) می‌شود که از طریق واکنش با O_2^3 منجر به تولید O_2^1 فعال گردد. ملاحظه شده است که تشکیل O_2^1 در حین فتوسنتز اثرات خسارت‌زای خیلی شدید بر فتوسیستم I و II و نیز کل دستگاه فتوسنتزی دارد. O_2^1 یک عامل اکسیدکننده برای دامنه وسیعی از مولکول‌های بیولوژیکی نظیر پروتئین‌ها و رنگدانه‌ها است و می‌تواند از طریق تأثیر بر فتوسیستم II باعث مرگ سلول می‌شود (Choi et al., 2000; Singh et al., 2000). تولید مولکول‌های فعال اکسیژن باعث کاهش غلظت انواع کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها می‌شود (Reddy et al., 2004).

رنگدانه‌های فتوسنتزی برای دریافت نور و ایجاد توان احیای دی‌اکسید کربن در فتوسنتز حائز اهمیت هستند (Jaleel et al., 2009) و تنش خشکی از طریق تخریب کلروپلاست و کاهش میزان کلروفیل باعث کاهش فتوسنتز و درنتیجه کاهش رشد می‌شود (Kafi et al., 2010; Jaleel et al., 2009). علاوه بر این میزان کلروفیل یا به‌عبارت‌دیگر میزان سبزمانی برگ گیاه معیاری از سلامت گیاه در شرایط محدودیت مواد غذایی و آب یا سایر تنش‌های محیطی به‌حساب می‌آید و صفت بسیار مهمی برای حفظ عملکرد در مرحله پر شدن دانه محسوب می‌گردد (Tuinstra et al., 1997) و محتوای کلروفیل برگ شاخصی از قابلیت فتوسنتزی بافت‌های گیاهی است و کاهش آن باعث کاهش عملکرد شده است (Nageswara et al., 2001; Wright *et al.*, 1994). مطالعات دیگری نیز کاهش کلروفیل a و b، کارتنوئیدها و همچنین کاهش نسبت کلروفیل b به a و

www.SID.ir

Archive of SID

کارتنوئیدها را در اثر تنش خشکی نشان دادند (Farooq et al., 2009; Ajithkumar and Panneerselvam, 2013; Hui-Ping et al., 2012; Ashraf et al., 1998). کاهش نسبت کلروفیل b به کلروفیل a در مقایسه با شاهد نیز می‌تواند به علت خسارت بیشتر کلروفیل b نسبت به کلروفیل a و یا تبدیل کلروفیل b به کلروفیل a در حین تنش باشد (Fang et al., 1998).

تحت تأثیر تنش میزان پرولین بافت برگ افزایش یافت. با افزایش مدت دوام تنش نیز میزان پرولین در تمام تیمارهای آزمایشی افزایش نشان داد. تجمع پرولین پاسخ تعداد زیادی از گیاهان به تنش‌های محیطی نظیر کاهش پتانسیل آب است و یک نقش کلیدی به‌عنوان یک اسمولیت دارد. افزایش پرولین از طریق تنظیم اسمزی به حفظ تورژسانس سلول به‌منظور بقاء و یا کمک به رشد گیاه تحت شرایط تنش خشکی شدید در ارزن کمک می‌کند (Shao et al., 2008). پرولین خصوصاً به علت خصوصیات هیدرولیکی بالا می‌تواند به‌عنوان یک محلول سازگار ایفای نقش نماید و قادر است در غلظت‌های بالا در سیتوپلاسم سلول بدون دخالت در ساختار و متابولیسم سلول تجمع پیدا کند. وقتی تنش آب افزایش می‌یابد پتانسیل اسمزی از طریق تجمع این محلول‌های سازگار در سیتوپلاسم افزایش می‌یابد. اگرچه پرولین به‌عنوان اسمولیت سازگار در نظر گرفته می‌شود کارکرد چندگانه آن به‌عنوان آنتی‌اکسیدان و سیگنالینگ در سازگاری به تنش سودمند است. در گیاهان، عمدتاً پرولین از گلوتامات سنتز می‌شود که از طریق آنزیم پرولین ۵ کربوکسیلات سنتتاز (P5CS) به گلوتامات سمی آلدئید (GSA) احیا می‌شود و فوراً به پرولین ۵ کربوکسیلات (P5C) تبدیل می‌شود (Kariola et al.,2005). افزایش میزان پرولین در شرایط تنش خشکی می‌تواند به علت افزایش این آنزیم باشد. افزایش محتوی پرولین در ارزن، گندم و دیگر گیاهان بعد از تنش آب به‌وسیله محققین مختلف گزارش شده است (Ajithkumarand and Panneerselvam, 2013; Tatar and Grverk, 2008; Choudhary, 2005).

با افزایش شدت تنش و همچنین افزایش مدت دوام تنش محتوی قندهای محلول در همه تیمارها افزایش یافت. افزایش قندهای محلول در قسمت‌های مختلف گیاه نیز در حفاظت سلول در برابر تنش نقش دارد. قندهای محلول نه‌تنها در سنتز دیگر ترکیبات و تولید انرژی نقش دارد بلکه در ثبات و پایداری غشاء و نیز تنظیم بیان ژن و به‌عنوان یک مولکول سیگنالی ایفای نقش می‌کند (Gibson et al., 2005). اثبات شده است که محتوی قندهای محلول نسبت به پرولین می‌تواند یک مارکر بهتر برای انتخاب بهبود مقاومت به خشکی در گندم دوروم باشد (Al Hakimi et al., 1995). گزارش‌های زیادی از تجمع کربوهیدرات‌ها در حین انواع تنش‌های غیرزنده در غلات و گراس‌های معتدل در حین نمو زایشی وجود دارد (Ajithkumarand and Panneerselvam, 2013; MohammadKhani and Heidari, 2008).

افزایش شدت تنش باعث کاهش طول پانیکول و نیز تعداد پانیکول در واحد سطح شد. کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش می‌تواند به علت کاهش تعداد پانیکول در مترمربع، کاهش طول پانیکول و یا هر دو باشد. مطالعات زیادی ارتباط بین تعداد پانیکول در مترمربع و طول پانیکول با عملکرد دانه را نشان دادند (Shooshi and Mehrani, 2011; Andualem and Tadesse, 2011; Channappagoudar et al., 2008). در سورگم نیز تعداد پانیکول در مترمربع نقش مهمی در دست‌یابی به عملکرد دانه بالا از طریق تأثیر بر تعداد دانه در مترمربع دارد (Van oosterom and Hammer, 2008). طول پانیکول نیز صفتی وابسته به ژنوتیپ بوده و سهم عمده‌ای در عملکرد نهایی و تعداد دانه در پانیکول دارد (Abbad et al., 2004).

تعداد دانه در پانیکول و وزن هزار دانه نیز تحت تأثیر تنش کاهش یافت. تغییر در هر یک از اجزای عملکرد می‌تواند باعث کاهش عملکرد شود. شرایط محیطی در زمان توسعه و تشکیل هر جزء از اجزاء عملکرد بر سهم آن جزء تأثیر می‌گذارد و کاهشی که در یک جزء به علت شرایط نامطلوب محیطی به وجود می‌آید می‌تواند پس از رفع شرایط تنش به‌وسیله سایر اجزاء جبران شود (Mattews et al., 1990)؛ اما این جبران کامل نیست و به ژنوتیپ و شدت و مرحله تنش بستگی دارد.

کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش می‌تواند به علت کمبود آب کافی در و یا بعد از دوره گلدهی باشد که نه‌تنها منجر به کاهش سرعت فتوسنتز می‌شود بلکه زمان انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه را کاهش می‌دهد (Zhang and Oweis, 1998; Maqsood and Azam, 2007) و نهایتاً منجر به کاهش اندازه دانه و درنتیجه کاهش عملکرد دانه

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود. محققین دیگر نیز کاهش وزن دانه را یکی از دلایل کاهش عملکرد دانه گزارش کردند (Davoodi et al., 2013; Mahalakshmi and Bidinger, 1985). تنش آب سه هفته بعد از گرده‌افشانی وزن هزار دانه را به علت کاهش فتوسنتز و نیز کاهش انتقال مواد فتوسنتزی کاهش داد. تنش در مراحل پنجه‌دهی، ساقه‌دهی، خوشه‌دهی، گلدهی و مراحل نمو دانه منجر به کاهش سرعت رشد از طریق کاهش در کارایی مصرف نور می‌شود (Ashraf., 1998).

در مراحل مختلف رشد اندام‌های گیاهی برای دریافت آسیمیلات‌ها باهم رقابت می‌کنند. تنش‌های محیطی تخصیص مواد فتوسنتزی بین اندام‌های مختلف را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش عملکرد ارزن تحت تنش رطوبتی می‌تواند هم به علت کاهش کل ماده خشک تولیدی به‌واسطه کاهش سرعت فتوسنتز و هم ناشی از تغییر در سهم عملکرد دانه باشد. کاهش سرعت فتوسنتز در شرایط تنش به علت واکنش بسته شدن روزنه صورت می‌گیرد که یکی از مکانیسم‌های مقاومت به علت کاهش میزان آب در سلول است. افزایش طول ریشه تحت تنش خشکی به‌واسطه نفوذ عمقی در جستجوی آب و اجتناب از تنش و نیز سنتز پرولین و هیدرات‌کربن منجر به کاهش سهم عملکرد دانه از آسیمیلات‌های فتوسنتزی می‌شود.

منابع

Abbad, H., Jafari, E.L., Bort, S.A., Araus, J.L., 2004. Comparative relationship of the flag leaf and the ear photosynthesis with the biomass and grain yield of durum wheat under a range of water conditions and different genotypes. Agronomy. 24, 19-28.

Ajithkumarand, P., Panneerselvam, R., 2013. Osmolyte accumulation, photosynthetic pigment and growth of setaria italica under droght stress. Asian Pacific Journal. 2, 220-224.

Alizadeh, O., Majidi, I., Nadian, H., Nour-Mohammadi, G., Amerian, M., 2007. Effect of water stress and nitrogen rate of yield and component of Maize. Journal of Agriculture Science Islamic Azad University. 13, 427-434. [In Persian with English summary].

Andualem, W., Tadesse, D., 2011. Correlation and path coefficient analyses of some yield related traits in finger millet germplasms in northwest Ethiopia. African Journal of Agricultural Research. 6(22), 5099-5105

Anjum, F., Yaseen, M., Rasul, E., Wahid, A., Anjum, S., 2003. Water stress in barley, effect on chemical composition ond chlorophyll content. Pakistan Journal of Agriculture Science. 40, 45-49

Akram, M., 2011.Growth and yield component of wheat under water stress of different growth stages. Bangladesh Journal of Agriculture Resource. 36, 455-468.

Ashraf, M., 2007. Role of glysine betain and protein in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany. 59, 206-216

Bukhat, N.M., 2005. Studies in yield and yield associated traits of wheat genotype under drought conditions. M.Sc Thesis department Agronomy. Sindth Agriculture University, Tandojam. Pakistan

Bates, L.S., Waldron, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39, 205-208.

Boyer, JS., 1988. Cell enlargement and growth induced water potential. Physiologia Plantarum. 73(2), 311-316

Channappagoudar, B.B., Hiremath, S.M., Biradar, N.R., Koti, R.V., Bharamagoudar, T.D., 2008. Physiological basic of yield variation in foxtail millet. Karnataka Journal of Agriculture Science. 20, 481-486.

Choi, WY, Kang, SY, Park, HM, Kim, SS, Lee, KS, Shin, HT., 2000. Effect of water stress by PEG on growth and physiological traits in rice seedling. Korean Journal of Crop Science. 45, 112-117.

Choudhary, NL., 2005. Expression of deltal-pyrroline-5-carboxylate synthetase gen during drought in rice. India Biochemistry and Biophysics. 42, 366-370.

Davoodi, N., Seghateslami, M.J., moosavi, S.GH., Azari Nasrabad, A., 2013. The effect of foliarapplication of nano-zinc oxide on yileld and water use efficiency in Foxtall Millet in drought stress conditions.

www.SID.ir

Archive of SID

Environmetaln Stresses in Crop Sciences. 6, 37-46. [In Persian with English summary].

Dencic, S., Kastori, R., Kobilgsky, B, Duggan, B., 2000. Evaluation of grain yield and its component in wheat cultivar and land races under near optimal and drought conditions. Euphytica. 113(1), 43-52

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.A.M., 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy and Sustainable Development. 29, 185-212.

Fang, Z., Boukamp, J.C., Solomos, T., 1998. Chlorophyll activities and chlorophyll degradation durinf leaf senescence in on yellowing mutant and wild type of Phaseolus vulgaris. Journal of Experimental Botany. 49, 503-510

Gupta, N.K., Gupta S., Kumar, A., 2001. Effect of water stress on physiological attributes and their relationship with growth and yield in wheat cultivar at different growth stages. Journal of Agronomy. 86, 1437-1439

Heidari zooleh, H., Jahansooz, M.R., Yunusa, I., Hosseini, S.M.B., Chaichi, M.R., Jafari, A.A., 2011. Effect of alternate irrigation on root-divided Foxtail Millet. Australian Journal of Science. 5, 205-213.

Hui-Ping, D., Chan-juan, Sh., An-Zhi, W., Tuxi, Y., 2012. Leaf senescence and photosynthesis in foxtail (*Setaria italica* L.) varieties exposed to drought conditions. Australian Journal of Crop Science. 6(2), 232-237.

Jaleel, C., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R., 2009. Drought stress in plant: A review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology. 11, 100-105

Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., Nabati, J., 2010. Physiology of Environmental Stresses in Plants. Ferdowsi University of Mashhad publication. 502p.[In Persian].

Kariola, T., Brader, G., Li, J., Palva, E.T., 2005. A damage control enzyme, effects the balance between defense pathway in plant. The Plant Cell. 17, 282-294.

Khazanedari, L., Zabol Abbasi, F., Ghandhari, Sh., Kouhi, M., Malbousi, Sh., 2009. Drouhjt prediction in Iran next 30 years. EMS Annual Meeting Abstract,Vol 6.

Keshavars, L., Farahbakhsh, H., Golkar, P., 2012. Effects of drought stress and absorbent polymer on morph-physiological traits of Pear Millet. International Research Journal of Applied and Basic Science. 3, 148-154.

Keshavars, L., Farahbakhsh, H., Golkar, P., 2013. Effects of different irrigation and superabsorbent levels on physio-morphological traits and forage yield of Millet. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science. 13, 1012-1018.

Khazaei, H,R., Mohammad abadi, A,A., Borzooei, A., 2002. The effect of drought stress on morphological and physiological characteristics of millets. Iranian Journal of Field Crop Research. 3(1), 35-44. [In Persian with English summary].

Lata, C., Sarita, J.H., Prasad, M., Sreenivasulu, N., 2011. Differential antioxidative responses to dehydration-induced oxidative stress in core set of foxtail millet cultivars. Protoplasma. 248, 817-828

Liu, H.P., Dong, B.H., Zhang, Y.Y., Liu, Z.P., and Liu, Y.L., 2004. Relationship between

osmotic stress and the levels of free, conjugated and bound polyamines in leaves of wheat seedlings. Plant Science, 166, 1261-1267.

Lovisolo, C., Schuber, NK., 1998. Effect of water stress on vessel size xylem hydrolic conductivity in vicia. Journal of Experimental Botany. 1998, 693-700

Mahalakshmi, V., Bidinger, F.R., 1985. Flowering response of pearl millet to water stress during panicle development. Annals of Applied Biology. 106, 571-578

Maqsood, M., Azam Ali, S.M., 2007. Effect of environment stress on growth radiation use effiviency and yield of finger millet. Pakistan Journal of Botany. 39, 463-474.

Mark, T., Antony, B., 2005. Abiotics stress tolerance in grasses from model plants to crop plants. Plant Physiology. 137, 791-793.

Mattews, K.B., Reddy, D.M., Ranj., Peacock, J.K., 1990. Response of four Sorghum lines to mid-season drought. I. Growth, water use and yield. Field Crop Research. 25, 279-296.

Mohamad khani, N., Heidari, R., 2008. Drought-induced accumulation of soluble sugars and

www.SID.ir

Archive of SID

prolin in two maize varieties. World Applied Sciences Journal. 3, 448-453.

Mohammadi, R., Haghparast, R., 2011. Evaluation of rainfed promising wheat breeding lines on farmers field in west of Iran. International Journal of Plant Breeding. 5, 30-36

Moosavi, Gh., Mirhadi, M., Saadat, A., 2011. Effect of deficit-irrigation and nitrogen levels on yield and water use efficiency of sorghum and pearl millet (*Pennisetum*). Journal of Modern Science. 5, 101-114.

Nageswara, R.R.C., Talwar, H.S., Wright, G.C., 2001. Rapid assessment of specific leaf area and leaf nitrogen in peanut (*Arachis hypogaea* L.) using chlorophyll meter. Journal of Agronomy and Crop Science, 186(3), 175-182.

Nakhaei, A., Arazmjo,E., Abbasi, M.R., 2011. Determination of terminal drought tolerant accessions in millet by drought tolerance indices. Environmental Stresses in Crop Sciences.5, 115-124. [In Persian with English summary].

Osborn, C.P., Frekleton, R.P., 2009. Ecological selection pressures for C4 photosynthesis in the grasses. Proceedings of Royal Society Botany. 276, 1753-1760.

Panneerselvam, M., 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agricultural Biology. 11, 100-105.

Razmjoo, K., Heidarizadeh, P., Sabzalian, M.R., 2008. Effect of salinity and drought stresses on growth parameter and essential oil content of Matricaria chamomile. Journal of Agriculture and Biology. 10, 451-454.

Reddy, A. R., Ramachandra, R. K., Chaitanya, V., Vivekanandan, M., 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology. 161, 1189-1202.

Sairam,R.K., Saxena, D.C., 2000. Oxidative stress and antioxidant in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. Journal of Agronomy and Crop Science, 184, 55-61.

Santhakamar, G., 1999. Correlation and path analysis in Foxtail Millet. Journal of Maharashtra Agriculture University. 24.

Schlegel, H.G., 1956. Die Verwertung organischer sauren durch chlorella in lincht. Plant. 47, 510-515.

Seghatoleslami, M.J., Kafi, M., Majidi, E., 2008. Effect of deficit irrigation of yield, WUE and some morphological and physiological traits of three millet species. Pakistan Journal of Botany. 40, 1555-1560.

Shooshi Dezfooli, A., Mehrani, A., 2011. Investigation of correlation between yield and component yield in Foxtail Millet species. Journal of Agronomy Science.41, 413-421. [In Persian with English summary].

Siles, M.M., Ken Russell, W., David, D., Lenis, A., 2004. Heterosis for grain yield and other agronomic traits in Foxtail Millet. Crop Science. 44, 1960-1965.

Singh, Kp., 2001. Effect of water stress and seed germnation and seedling growth of some wheat genotype. Jrusted Journal of Millennium Acta Plant Science. 14, 23-26

Tatar, O., Gevrek, MN., 2008. Influence of water stress on proline accumulation, lipid peroxidation and water content of wheat. Asian Journal Plant Science. 7, 409-412

Trovato, M., Mattioli, R., Costantino, P., 2008. Multiple role of prolin in plant stress tolerance and development. Rendiconti Licei 19, 325-346.

Tuinstra, M.R., Grote, E.M., Goldsbrough, P.B., Ejeta, G., 1997. Genetic analysis of postflowering drought tolerance and components of grain development in *Sorghum bicolor* Moench. Molecular Breeding. 3, 439–448.

Van osterom, E.J., Hammer, G.L., 2008.Determination of grain number in sorghum. Field Crop Research, 108, 259-268.

Vitkauskaite, G., Venskaityte, L., 2011. Differences between C3 (*Hordeum vulgare* L.) and C4 (*Panicum miliaceum* L.) plants with respect to their resistance to water deficit. Agriculture. 98(4), 349-356.

Wright, G.C., Nageswara, R.C., Farquhar, G.D., 1994. Water use efficiency and carbon isotop discrimination in peanut under water deficit conditions. Crop Science, 34, 92-97.

Xoconstle-Cazares, B., Ramirez-Ortega, F.A., Flores-Lenes, L. and Ruiz-Medrano, R., 2010. Drought tolerance in crop plants.

www.SID.ir

Archive of SID

American Journal of Plant Physiology, 5, 214–256.

Zhang, J., Kirkham, M.B., 1995. water relations of water stressed, split-root C4 (*Sorghum binocolor*) and C3 (*Helianthus annus*) plants. American Journal of Botany. 82, 1220-1229.

www.SID.ir