نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد چهاردهم، شماره ۴(۵۶)، زمستان ۱۳۹۹، صفحه ۴۷۸-۴۶۵

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/jcep.2021.679975

پاسخ آگروفیزیولوژیکی ارقام مختلف ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* L.) به کم‌آبی در شرایط آب و هوایی کرمان

سید نبیل الدین فاطمی [۱]، علی‌اکبر مقصودی مود [۲*] و قاسم محمدی‌نژاد [۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۳ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۷/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۲۷

چکیده

تعیین رقم مناسب یکی از عوامل مهم برای به‌دست آوردن حداکثر عملکرد، با توجه به شرایط اقلیمی هر منطقه می‌باشد. یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی خشکی بوده که از طریق تاثیر منفی در طول دوره رشد گیاه، ساختار و فعالیت‌های گیاهی را با اختلال مواجه می‌سازد. به‌منظور بررسی واکنش آگروفیزیولوژیک ارقام مختلف گیاه ارزن مرواریدی (Hybrid 1, Hybrid 2, IP13150, IP13151, IP22269, ICMV5222 و HHVBCTA) به دو سطح آبیاری (۱۰۰ و ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه) آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در شرایط آب و هوایی کرمان انجام شد. نتایج نشان داد اثر ساده تیمار آبیاری برای همه صفات و اثر ساده رقم و نیز اثر متقابل آبیاری در رقم به جز در مورد محتوای رطوبت نسبی و شاخص کلروفیل برای سایر صفات مورد بررسی معنی‌دار بوده است. کاهش میزان آب آبیاری از ۱۰۰ به ۶۰ درصد حد ظرفیت مزرعه موجب کاهش معنی‌دار میانگین صفات شاخص کلروفیل (۲۰/۸۷ درصد) و محتوای رطوبت نسبی (۲۹/۰۶ درصد) شد. تنش خشکی موجب افزایش محتوای پرولین در ارقام مورد بررسی شد و بیشترین مقدار این صفت در شرایط تنش از رقم HHVBCTA به‌دست آمد. همچنین، نتایج نشان داد که بیشترین میانگین ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و عملکرد علوفه تر و خشک در شرایط آبیاری نرمال و تنش به ترتیب مربوط به رقم Hybrid 1 و IP13151 بود. بر طبق نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کمترین و بیشترین درصد کاهش عملکرد علوفه تر به واسطه اعمال تنش خشکی به‌ترتیب مربوط به ارقام IP13151 (۱۳/۱۶ درصد) و ICMV5222 (۶۱/۵۸ درصد) بود. به‌طورکلی، با توجه به نتایج به‌دست آمده ارقام Hybrid 1 و IP13151 به‌ترتیب جهت کاشت در شرایط آبیاری مطلوب و تنش در شرایط آب و هوایی کرمان مناسب به نظر می‌رسند.

واژگان کلیدی: پرولین، شاخص سطح برگ، عملکرد علوفه، محتوی نسبی آب برگ.

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۲- دانشیار پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۳- استاد پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

* نگارنده‌ی مسئول akubaru2@yahoo.com

مقدمه

کمبود آب به‌عنوان تهدید جدی به‌دلیل تاثیر زیاد بر روی رشد گیاهان باعث کاهش سطح زیر کشت و به تبع آن افزایش مشکلات عدیده اقتصادی، اجتماعی و سیاسی گشته و به‌عنوان یک پدیده پیچیده بر زندگی انسان‌ها تاثیرگذار است (Chopra, 2006). با توجه به محدودیت‌های شدید آبی در اکثر مناطق ایران، خشکی به‌عنوان مهم‌ترین تنش تاثیرگذار بر گیاهان زراعی بوده و نقش مهمی در کاهش ظرفیت و کیفیت تولید علوفه در مزارع و مراتع دارد (Kafi *et al*., 2009). بدیهی است که گیاهان علوفه‌ای نقش غیر قابل انکاری در تعلیف دام، تولید فرآورده‌های دامی و در نتیجه تأمین نیاز انسان دارند. متأسفانه در ایران به تولید و مدیریت گیاهان علوفه‌ای، در مقایسه با سایر گیاهان زراعی کمتر توجه می‌شود (Noroozi *et al*., 2013). در نتیجه از یک طرف عدم توجه لازم به افزایش کمّی و کیفی علوفه، موجب کاهش تولید گوشت و مواد لبنی و کیفیت آنها و از سوی دیگر فشار دام بر جنگل‌ها و مراتع منجر به نابودی بخش عظیمی از منابع طبیعی شده است (Noroozi *et al*., 2013).

ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* L.) گیاهی علوفه‌ای است که در مناطق نیمه خشک می‌توان به‌عنوان یک علوفه کم توقع و مقاوم مورد کشت و کار قرار داد (Sepaskhah and Yousefi, 2007). یکی از مهم‌ترین تغییرات ناشی از تنش خشکی کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌باشد که این صفت می‌تواند توانمندی گیاه را در تحمل به تنش خشکی نشان دهد. در شرایط تنش خشکی، میزان تبخیر و تعرق برگ‌ها از ظرفیت و توانایی ریشه‌ها برای جذب آب از خاک بیشتر می‌شود (Adary *et al*., 2002). با توجه به اینکه تحمل گیاه در برابر تنش با میزان محتوای نسبی آب برگ در ارتباط است از این مؤلفه می‌توان برای تعیین اختلاف ارقام از نظر تحمل به خشکی استفاده کرد. ژنوتیپ‌هایی که بدون بستن روزنه‌های خود توانایی حفظ آب بیشتری دارند، برای مناطق خشک مناسب بوده، چون تنش خشکی به‌طور معمول محتوای نسبی آب برگ گیاه را کاهش می‌دهد (Munns, 2002). از جمله اثرات تنش خشکی، تغییر در مقدار کلروفیل است (Moosavi *et al*., 2011). در مطالعه‌ای که جهت بررسی تنش خشکی بر محتوی کلروفیل ارقام مختلف ارزن انجام شد، نتایج نشان داد در شرایط تنش محتوای کلروفیل برگ در تمام ارقام کاهش یافته و در نهایت فتوسنتز کاهش می‌یابد (Kholova *et al*., 2011). یکی از شاخص‌های ارزیابی برای گزینش ارقام، تحت شرایط خشکی، تجمع پرولین در اندام‌های مختلف گیاه است. نتایج به‌دست آمده در گیاه سویا نشان داد که در شرایط تنش خشکی میزان اسید آمینه پرولین افزایش یافت (Lobato *et al*., 2008). از طرف دیگر کاهش مقدار پروتئین یک پدیده متداول در تنش‌هایی نظیر شوری و خشکی می‌باشد و تنش شوری و خشکی موجب سرکوب تولید برخی پروتئین‌ها و القای سنتز پروتئین‌های جدید می‌گردد (Parida and Das, 2005). نتایج یک تحقیق در خصوص بررسی تاثیر تنش خشکی بر گیاه ارزن علوفه‌ای نشان داد که عملکرد پروتئین به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد (Keshavarz *et al*., 2013).

از مهم‌ترین عوارض جانبی تنش خشکی روی گیاهان می‌توان به کاهش سطح برگ اشاره نمود. شاخص سطح برگ ارزن در مقایسه با سایر گیاهان علوفه‌ای در شرایط تنش از ثبات بیشتری

برخوردار است که این امر نشان دهنده دوام بیشتر برگ‌های گیاه در این شرایط بوده است. لذا به دلیل سطح سبز بیشتر و فتوسنتز بالاتر از عملکرد بالاتری نیز برخوردار است (Mousavi *et al.*, 2009). طی تحقیقی در خصوص اثرات تنش خشکی در مرحله رشد رویشی ارزن نوتریفید به این نتیجه رسیدند که تنش متوسط خشکی باعث کاهش سطح برگ‌های بالایی گیاه می‌گردد درحالی‌که تنش شدیدتر باعث کاهش سطح تمامی برگ‌ها شد و همچنین با افزایش شدت تنش تعداد برگ نیز کاهش پیدا کرد (Seghatol Eslami *et al.*, 2005). با کاهش سطح و تعداد برگ و در نتیجه میزان فتوسنتز گیاه، ارتفاع بوته کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، ارتفاع بوته یکی از صفات مورفولوژیکی مؤثر بر عملکرد کمّی و کیفی علوفه ارزن است که تحت تأثیر تنش خشکی به طور معنی‌داری کاهش یافته است (Nabati and Rezvani Moghadam, 2010). کاهش ارتفاع بوته و سطح و تعداد برگ‌ها در نهایت موجب کاهش وزن سلول‌ها و وزن علوفه تر می‌گردد (Cakir, 2004).

با توجه به اهمیت توسعه کاشت گیاهان علوفه‌ای چهار کربنه نظیر ارزن مرواریدی در افزایش تولید علوفه در مناطق خشک و نیمه خشک کشور و از طرفی نیاز به شناخت واکنش آنها به تنش کم آبی ناشی از خشک‌سالی‌های پیاپی، این آزمایش با هدف مطالعه اثر تنش کم آبی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد علوفه تر و خشک هفت رقم ارزن مرواریدی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان با طول جغرافیایی ´۵۶ °۵۸ شرقی، عرض جغرافیایی ´۱۵ °۳۰ شمالی، ارتفاع ۱۷۴۵ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالانه ۱۵۰ میلی‌متر اجرا شد (جدول ۱).

فاکتور اصلی شامل دو سطح آبیاری (۱۰۰ و ۶۰ درصد حد ظرفیت زراعی) و فاکتور فرعی شامل هفت رقم ارزن علوفه‌ای (Hybrid 1, Hybrid 2, IP13150, IP13151, IP22269, ICMV5222 و HHVBCTA) که مطالعات بسیار کمی در مورد آنها انجام شده است. طول هر کرت اصلی ۳۵ متر و عرض آن ۹ متر در نظر گرفته شد و هر پلات اصلی شامل ۲۱ کرت فرعی بود. هر کرت فرعی شامل ۶ خط کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و ۱۰ سانتی‌متر بین بوته‌ها بود به‌طوری‌که تراکم ۲۰ بوته در متر مربع به دست آمد (Nabati and Rezvani Moghadam, 2010). همچنین، فاصله بین کرت‌های اصلی ۳ متر در نظر گرفته شد تا رطوبت کرت‌های مجاور اثری روی هم نداشته باشند. خاک محل آزمایش بر اساس نتایج تجزیه خاک دارای بافت لوم شنی، با هدایت الکتریکی $۲/۳۰\ dS.m^{-1}$ و pH ۷/۶ بود. یک سوم کود نیتروژنه و تمامی کود فسفره و پتاسه به‌صورت پیش کاشت و مابقی کود نیتروژنه به‌صورت سرک طی دو مرحله مصرف شد. عملیات کاشت در ۲۶ اردیبهشت ماه به‌صورت دستی و به روش هیرم‌کاری انجام گردید. بذور ارزن از پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان تهیه شد. در ابتدای کار به‌منظور سبز شدن کامل مزرعه، تمام کرت‌ها به میزان یکسان آبیاری شدند و تیمار آبیاری پس از رسیدن به مرحله چهار برگی اعمال گردید، میزان آب در هر دور آبیاری با استفاده از لایسیمتر تعیین و دور

آبیاری بر اساس تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A تعیین گردید (Masjedi *et al*., 2009). میزان آب ورودی به هر کرت با استفاده از یک کنتور حجمی کنترل شد.

اندازه‌گیری شاخص کلروفیل در شروع فاز زایشی انجام شد. برای این کار از دستگاه SPAD-502 مدل Minolta-Japan استفاده شد. روش کار بدین صورت بود که از هر کرت ۳ گیاه و از هر گیاه ۳ برگ و از هر برگ ۳ نقطه و در مجموع ۲۷ نقطه اندازه‌گیری و میانگین داده‌ها به‌عنوان شاخص کلروفیل ثبت شد (Keshavarz *et al*., 2013). برای تعیین مقدار پرولین با استفاده از اسکپتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر و در نهایت با توجه به منحنی استاندارد بر اساس روش بیتس (Bates *et al*., 1973) استفاده شد.

برای سنجش غلظت پروتئین، به لوله‌های آزمایش حاوی ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، مقدار ۵ میلی لیتر معرف بیوره افزوده شد و سریع ورتکس گردید. پس از گذشت ۲۵ دقیقه جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد (Bradford, 1976).

محتوای نسبی آب برگ در آغاز فاز زایشی اندازه‌گیری شد. روز قبل از آبیاری، دیسک‌هایی از برگ‌های ارقام بین ساعت هفت تا هشت صبح گرفته شد و بلافاصله نمونه‌ها در ظروف حاوی یخ قرار گرفته و به آزمایشگاه منتقل گردید. پس از به‌دست آوردن وزن تازه (W_1)، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر در تاریکی قرار داده شدند و مجدد توزین (وزن اشباع) گردید (W_2). این نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۵ درجه سلسیوس در آون قرار گرفته و سپس توزین گردید (وزن خشک) (W_3). محتوای نسبی آب برگ با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید (Hayat *et al*., 2005).

$$RWC=[(W_1-W_2) \div (W_1-W_3)] \times 100$$

با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل WINAREA-UT-11, Iran، سطح برگ ارقام اندازه‌گیری و به‌منظور محاسبه شاخص سطح برگ از رابطه زیر استفاده گردید (Gardner *et al*., 1985):

$$LAI= LA \div GA$$

در این رابطه LA سطح برگ بوته و GA سطح زمین می باشد. عملیات برداشت همه ارقام برای چین اول در تاریخ ۸ مرداد ماه و برای چین دوم در تاریخ ۲۷ شهریور ماه انجام گردید. یک روز قبل از برداشت ۵ بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و ارتفاع بوته (میانگین ساقه اصلی و پنجه‌ها) اندازه‌گیری شد. در ابتدای مرحله گلدهی به‌منظور تعیین وزن خشک کل در هر کرت پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتها و همچنین حذف دو ردیف کناری، گیاهان باقی مانده از ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری برداشت و توزین شد و در آون به مدت ۴۸ تا ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سیلسیوس قرار داده شد.

جهت محاسبات آماری و مقایسه میانگین‌ها، نرم افزارهای SAS v.9.1 و MSTATC مورد استفاده قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت.

نتایج و بحث

محتوای آب نسبی برگ: در این تحقیق محتوای رطوبت نسبی تنها تحت تاثیر تیمار آبیاری (در سطح احتمال یک درصد) قرار گرفت (جدول ۲). بر این اساس بیشترین محتوای رطوبت نسبی (۷۳/۱۸ درصد) از تیمار آبیاری بر

اساس ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌دست آمد که با میانگین به‌دست آمده از تیمار آبیاری ۶۰ درصد (۵۱/۹۱ درصد) اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۳). مطابق با نتایج این تحقیق، تنش خشکی موجب کاهش محتوای رطوبت نسبی در ارزن علوفه‌ای (Najafi Babady *et al*., 2018) شده است. در شرایط تنش، ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی دارای محتوای رطوبت نسبی بالاتری بوده و این مسئله به‌دلیل تجمع قندهای محلول و کاهش پتانسیل اسمزی می‌باشد (Ahmadi Lahijani *et al*., 2013). ژنوتیپی که محتوای رطوبت نسبی بیشتری را در شرایط تنش حفظ کرده است، در برابر خشکی تنظیم اسمزی بهتری انجام داده و به همین علت سازگاری بهتری به خشکی دارد (Siosemardeh *et al*., 2003). در مطالعه حاضر نیز محتوای پرولین که نقش فعالی در تنظیم اسمزی و به طبع حفظ محتوی نسبی آب برگ دارد، در پاسخ به تنش خشکی در ارقام مورد بررسی افزایش یافت.

محتوای پروتئین: این صفت در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر اثرات ساده تیمارهای آبیاری و رقم و اثر متقابل آنها قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد بیشترین محتوای پروتئین (۱۰/۳۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) از تیمار آبیاری میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه و رقم IP13150 حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با رقم ICMV5222 در همین سطح آبیاری نداشت (جدول ۴). همچنین، کمترین مقدار این صفت (۴/۲۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) از تیمار آبیاری به میزان ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه و رقم ICMV5222 به‌دست آمد (جدول ۴). علت کاهش محتوای پروتئین در شرایط تنش خشکی تجزیه و عدم سنتز آن در این شرایط می‌باشد (Haji Hassani Asl *et al*., 2011). نتایج مشابهی مبنی بر کاهش محتوای پروتئین تحت تاثیر تنش خشکی در گیاه ارزن علوفه‌ای گزارش شده است (Keshavarz *et al*., 2013).

محتوای پرولین: در این تحقیق تمامی اثرات ساده و متقابل مورد بررسی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر محتوای پرولین داشتند (جدول ۲). بر طبق نتایج مقایسه میانگین بیشترین و کمترین محتوای پرولین به‌ترتیب با میانگین‌های ۱/۵۷ و ۰/۲۲ میکرومول بر گرم وزن تر برگ متعلق به رقم HHVBCTA در سطح آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت مزعه و رقم IP13151 در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه بود (جدول ۴). همچنین، این مقایسه میانگین نشان داد با کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ به ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه، محتوای پرولین در همه ارقام به جزء ICMV5222 به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است (جدول ۴). این یافته‌ها با نتایج نجفی بابادی و همکارانش (Najafi Babady *et al*., 2018) بر روی گیاه ارزن علوفه‌ای مطابقت داشت.

شاخص کلروفیل: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثر تیمار آبیاری (در سطح احتمال یک درصد) برای صفت شاخص کلروفیل معنی‌دار گردید (جدول ۲). همان‌طورکه، در جدول ۳ مشاهده می‌شود بیشترین محتوای کلروفیل مربوط به تیمار آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه بود که تفاوت معنی‌داری با سطح ۶۰ درصد داشت. به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش آب، زنجیره انتقال الکترون مختل شده و الکترون‌های حاصل از تجزیه آب طی فرآیندی باعث تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر، تجزیه کلروفیل و کاهش شاخص کلروفیل می‌شوند. نتایج

مشابهی مبنی بر کاهش شاخص کلروفیل تحت تاثیر تنش خشکی در گیاه ارزن علوفه‌ای (Najafi Babady *et al.*, 2018)، ذرت (Parry *et al.*, 2002) و کلزا (Tohidi-Moghadam *et al.*, 2009) گزارش شده است.

شاخص سطح برگ: اثر ساده تیمار آبیاری و رقم و اثر متقابل آنها در سطح یک درصد برای این صفت معنی‌دار گردید (جدول ۲). بیشترین شاخص سطح برگ (۹/۸) از تیمار آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه و رقم Hybrid 1 حاصل شد (جدول ۴). همچنین، کمترین شاخص سطح برگ (۳/۵) از تیمار آبیاری بر اساس ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه و رقم HHVBCTA به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج مشابهی مبنی بر کاهش شاخص سطح برگ در اثر تنش خشکی توسط سایر محققین گزارش شده است (Nouri azhar and Ehsanzedeh, 2007; Yari *et al.*, 2014).

ارتفاع بوته: اثر ساده تیمارهای آبیاری و همچنین رقم و اثر متقابل آنها برای این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد بیشترین ارتفاع بوته (۱۱۱/۴ سانتی‌متر) از تیمار آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه و رقم Hybrid 1 حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه و رقم IP13150 نداشت (جدول ۴). کمبود آب موجب کاهش تورژسانس و در نهایت کاهش رشد و توسعه سلولی می‌شود. به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع یا اندازه کوچکتر برگ‌ها تشخیص داد (Babaee *et al.*, 2010). نتایج این تحقیق با یافته‌های محسن‌زاده و همکاران (Mohsenzadeh *et al.*, 2006) و آلوارز و همکاران (Alvarz *et al.*, 2009) مطابقت دارد.

عملکرد علوفه تر: این صفت در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر تیمارهای آبیاری و رقم و اثر متقابل آنها قرار گرفت (جدول ۲). بر طبق نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل، بیشترین مقدار این صفت از تیمار آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه و از رقم Hybrid 1 به‌دست آمد که در عین حال تفاوت معنی‌داری با عملکرد علوفه تر به‌دست آمده از ارقام IP13150 و ICMV5222 در همین سطح آبیاری نداشت (جدول ۴). همچنین، این مقایسه میانگین نشان داد که عملکرد علوفه تر در ارقام Hybrid 2 و IP13151 با کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ به ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه کاهش معنی‌داری نداشته است (جدول ۴). مشابه با نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، اثر منفی تنش خشکی بر عملکرد علوفه تر گیاهان علوفه‌ای توسط موسوی و همکاران (Mousavi *et al.*, 2009)، ضابط و همکاران (Zabet *et al.*, 2015) و کشاورز و همکاران (Keshavarz *et al.*, 2013) نیز گزارش شده است.

عملکرد علوفه خشک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده تیمار آبیاری و رقم و اثر متقابل آنها در سطح احتمال یک درصد ($P<0.001$) برای عملکرد علوفه خشک معنی‌دار گردیدند (جدول ۲). بیشترین عملکرد علوفه خشک به‌ترتیب با میانگین‌های ۲۱۱۶۹/۴ و ۲۰۰۱۵/۳ کیلوگرم در هکتار از ارقام Hybrid 1 و IP13150 در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۴). با کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ به ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه از میانگین عملکرد علوفه خشک ارقام به‌طور معنی‌داری کاسته شد به‌طوری‌که کمترین

میانگین این صفت از ارقام HHVBCTA، ICMV5222 و IP22269 (به‌ترتیب با میانگین‌های ۶۷۷۸/۱، ۷۳۰۴/۸ و ۸۰۸۹/۶ کیلوگرم در هکتار) از سطح آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌دست آمد (جدول ۴). در شرایط تنش کمبود آب، کاهش ماده خشک می‌تواند به دلیل کاهش فشار آماس سلول و ناشی از کاهش سطح برگ گیاه و همچنین کاهش نرخ فتوسنتزی به‌دلیل محدودیت بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب از قبیل خسارت به رنگدانه‌های فتوسنتزی به خصوص کلروفیل‌ها باشد (Lawlor and Cornic, 2002).

در این تحقیق نیز همانگونه که نتایج نشان داد رقم IP13151 که بیشترین میانگین ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ را در شرایط تنش داشت و شاید به همین دلیل توانسته است در تولید علوفه تر و خشک برتری معنی‌داری نسبت به سایر ارقام ایجاد نماید. نتایج مشابهی در بررسی واکنش ارزن علوفه‌ای به تنش خشکی توسط موسوی و همکاران (Mousavi *et al.*, 2009)، ضابط و همکاران (Zabet *et al.*, 2015) و نجفی بابادی و همکاران (Najafi Babady *et al.*, 2018) گزارش شد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که تنش خشکی در ارقام مورد مطالعه سبب کاهش شاخص محتوای کلروفیل و محتوای پروتئین برگ شد. همچنین، با اعمال تنش خشکی، وضعیت آب در گیاه دچار تغییرات معنی‌دار شد. به‌طوری‌که محتوای آب نسبی برگ در ارقام ارزن کاهش یافت. در پاسخ به کاهش محتوای آب نسبی برگ، شاخص سطح برگ و ارتفاع بوته نیز کاهش یافته و در نهایت عملکرد علوفه ارقام دچار کاهش معنی‌داری شد. بیشترین میانگین عملکرد علوفه تر و خشک در شرایط آبیاری نرمال مربوط به رقم Hybrid 1 بوده است در حالی‌که بیشترین مقدار صفات مذکور در شرایط تنش از رقم IP13151 به‌دست آمد. به نظر می‌رسد رقم مذکور با افزایش سطح پرولین در تنظیم اسمزی و به طبع حفظ محتوی آب نسبی برگ در شرایط تنش موفق‌تر عمل نموده و با شاخص سطح برگ و همچنین ارتفاع بوته بیشتر در مقایسه با سایر ارقام در نهایت عملکرد بیشتری تولید نموده است. کمترین درصد کاهش عملکرد علوفه تر و خشک به‌واسطه اعمال تنش خشکی به‌ترتیب مربوط به ارقام IP13151 و Hybrid 2 و بیشترین درصد کاهش این دو صفت مربوط به رقم ICMV5222 بود.

جدول ۱- تغییرات دما و بارندگی طی دوره آزمایش در سال ۱۳۹۶

Table 1- A synopsis of temperature and precipitation in 2017

Month ماه		Air temperature (°C) دمای هوا		بارندگی Rainfall (mm)
		Maximum temperature بیشینه دما	Minimum temperature کمینه دما	
Oct.	مهر	29.9	7.6	0
Nov.	آبان	24.5	2.3	0
Dec.	آذر	16.1	-3.2	0.04
Jan.	دی	17.2	-4.1	0.1
Feb.	بهمن	16.8	-1.4	0.08
Mar.	اسفند	20.8	3.7	0.27
Apr.	فروردین	25.5	9.4	0.30
May	اردیبهشت	29.8	12.1	0.32
Jun.	خرداد	37.4	17.3	0
Jul.	تیر	36	18.2	0
Aug.	مرداد	34.3	15.3	0
Sep.	شهریور	31.5	10.4	0

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات آگروفیزیولوژیک در گیاه ارزن مرواریدی

Table 2- Results of analysis variance for agro-physiological traits in pear millet

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	شاخص سطح برگ Leaf area index	محتوای رطوبت نسبی Relative water content	محتوای پروتئین Protein content	محتوای پرولین Prolin content	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield
بلوک Block	2	21.911	0.213	11.468	0.440	0.0013	7.78	18402439	170892
آبیاری (a) Irrigation	1	22536**	217.9**	4747.7**	52.092**	2.844**	678.7**	12941162636**	517646505**
خطای اصلی Main error	2	85.988	0.319	19.949	0.0018	0.0034	7.609	85010076	1707291
رقم (b) Cultivar	6	415.21**	1.094**	11.037^{ns}	5.767**	0.208**	9.662^{ns}	868739988**	34536202**
a×b	6	661.49**	1.613**	10.141^{ns}	5.277**	0.304**	7.50^{ns}	714475331**	28621536**
خطای فرعی Sub error	24	22.047	0.0455	14.204	0.249	0.0028	5.388	70002432	881995
ضریب تغییرات C.V. (%)		6.94	3.34	6.02	6.48	7.57	6.72	12.79	7.18

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و ۵ درصد و غیر معنی‌دار می‌باشد.

* and ** significant at 5 and 1% probability levels, respectively and ns non-significant.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف آبیاری بر محتوای کلروفیل و محتوای رطوبت نسبی در گیاه ارزن مرواریدی

Table 3- Comparison of the effects of different irrigation levels on chlorophyll content and relative water content in pear millet

آبیاری (حد ظرفیت مزرعه) Irrigation (F.C)	**محتوای رطوبت نسبی** Relative water content (%)	**شاخص کلروفیل** (عدد اسپد) Chlorophyll index (Spad)
100 %	73.18 a	38.52 a
60 %	51.91 b	30.48 b

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

In each column, are not significantly different based on the Duncan test at the probability level of 5%.

جدول ۴ - اثر متقابل آبیاری×رقم بر صفات آگروفیزیولوژیک گیاه ارزن مرواریدی

Table 4 - Interaction of irrigation × cultivare on agro-physiological traits of pear millet

آبیاری (حد ظرفیت مزرعه) Irrigation (F.C)	**رقم** Cultivar	**ارتفاع بوته** Plant height (cm)	**شاخص سطح برگ** Leaf area index	**محتوای پروتئین** Protein content ($\mu g.g^{-1}FW$)	**محتوای پرولین** Prolin content ($\mu mol.g^{-1}FW$)	**عملکرد علوفه تر** Fresh forage yield ($kg.ha^{-1}$)	**عملکرد علوفه خشک** Dry forage yield ($kg.ha^{-1}$)
100 %	Hybrid 1	111.4 a	9.8 a	7.23 ef	0.36 g	105897.4 a	21169.4 a
	Hybrid 2	62.8 e	7.6 e	8.98 c	0.37 g	54333.6 de	10846.7 e
	IP13150	106.7ab	9.4 b	10.32 a	0.50 f	100176.8ab	20015.3ab
	IP13151	85.6 c	8.1 d	8.01 de	0.22 h	92998.4abc	16140.7 c
	IP22269	91.3 c	8.6 c	8.13 d	0.76 e	86607.5 bc	17311.5 c
	ICMV5222	103.2 b	9.2 b	10.01 ab	0.55 f	95208.7 ab	19021.7 b
	HHVBCTA	74.2 d	7.9 de	9.05 c	0.35 g	57657.4 d	11521.4de
60 %	Hybrid 1	41.8 h	4.01 hi	5.63 g	0.48 f	51405.9 de	10251.1 e
	Hybrid 2	50.8 fg	4.5 fg	6.73 f	0.91 d	45883.2def	10956.6 e
	IP13150	44.3 gh	4.3 gh	7.2 ef	1.03 c	45691.6def	10908.3 e
	IP13151	55.2 ef	4.8 f	6.44 fg	1.20 b	80753.5 c	12579.6 d
	IP22269	40.3 h	3.9 i	6.5 f	0.99 cd	40498.2 ef	8089.6 f
	ICMV5222	40.1 h	3.7 ij	4.24 h	0.55 f	36574.1 f	7304.8 f
	HHVBCTA	38.4 h	3.5 j	9.39 bc	1.57 a	33835.5 f	6787.1 f

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

In each column, are not significantly different based on the Duncan test at the probability level of 5%.

References منابع مورد استفاده

- Adary, A., A. Hachum, T. Oweis, and M. Pala. 2002. Wheat productivity under supplemental irrigation in Northern Iraq. On-Farm Water Husbandry Research Report Series. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). 38 pp.
- Ahmadi Lahijani, M.J., and Y. Emam. 2013. Response of wheat genotypes to terminal drought stress using physiological indices. *Journal of Crop Production and Processing*. 3(9):163-176. (In Persian).
- Alvarz, S., A. Navarro, S. Banon, and S.B. MJ. 2009. Regulated deficit irrigation in potted dianthus plants: Effects of severe and moderate water stress on growth and physiological responses. *Scientia Horticulture*. 122: 579-585.
- Babaee, K., M. Amini Dehaghi, S.A.M. Modares Sanavi, and R. Jabbari. 2010. Water deficit effect on morphology, prolin content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 26(2): 239-251. (In Persian).
- Bates, L.S., R.P. Waldren, and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 39: 205-207.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid sensitive method for the quantitation of microgram quantites of protin utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. 72: 248-254.
- Çakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Journal of Field Crops Research*. 89(1): 1-16.
- Chopra, P. 2006. Drought risk assessment using remote sensing and GIS: A case study of Gujarat thesis submitted to the International Institute for Geo-information Science and Earth observation in partial fulfillment of the requirments for degree of master. 2-17.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce, and R.L. Mitchell. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press. 327 pp.
- Haji Hassani Asl, N.A., H. Moradi Aghdam, N. Aliabadi Farahani, N. Hosseini, and M. Rassaei Far. 2011.Three forage yield and its components under water deficit condition in delay cropping in Khoy Zone (Iran). *Advances in Environmental Biology*. 5(5): 847-852.
- Hayat, S., Q. Fariduddin, B. Ali, and A. Ahmad. 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. *Acta Agronomica Hungarica*. 53: 433-437.
- Kafi, M., A. Borzoee, M. Salehi, A. Kamandi, A. Masoumi, and J. Nabati. 2009. Physiology of environmental stresses in plants. Mashhad University Jahad Press. 500 pp. (In Persian).
- Keshavarz, L., H. Farahbakhsh, and P. Golkar. 2013. Effect of hydrogel and irrigation regimes on chlorophyll content, nitrogen and some growth indices and yield of forage millet (*Pennisetum glaucum* L.). *Journal of Crop Production and Processing*. 3(9): 147-161. (In Persian).

- Kholova, J., C.T.M. Hasan, M. Khocova, and V. Vadie. 2011. Does a terminal drought tolerance QTL contribute to differences in ROS scavenging enzymes and photosynthetic pigments in pear millet exposed to drought? *Journal of Environmental and Experimental Botany*. 71(2): 99-106.
- Lawlor, D.W., and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant cell and Environment*. 25: 275-294.
- Lobato, A.K.S., A.C.S. Meirlles, B.G. Santoz Filho, R.C.L. Costa, C.F. Oliveria Neto, F.J.R. Cruz, J.M.N. Freitas, E.M.S. Guedes, A.G.T. Barreto, A.S. Ferreira, B.S. Monteiro, H.K.B. Neves, and M.J.S. Lopes. 2008. Consequences of the progressive water deficit and rehydration on nitrate reductase activity and nitrogen compounds in soybean (*Glycine max* L.) cv. Sambaiba. *Research Journal of Agronomy*. 2(3): 64-70.
- Masjedi, A., A. Shokohfar, and M. Alavi Fazel. 2009. A survey of most suitable irrigation scheduling and effect of drought stress on yield for summer corn (SC.704) with class A evaporation pan in Ahvaz. *Journal of Water and Soil Science*. 12 (46): 543-550. (In Persian).
- Mohsenzadeh, S., M.A. Malboobi, K. Razavi, and S. Farrahi-Aschtiani. 2006. Physiological and molecular responses of *Aeluropus lagopoides* (Poaceae) to water deficit. *Environmental and Experimental Botany*. 56: 314–322.
- Moosavi, G., M. Seghatolesla, H. Javadi, and E. Ansari Nia. 2011. Effect of irrigation planting patterns on yield and qualitative traits of forage sorghum. *Journal of Environmental Biology*. 5(10): 3363- 3368.
- Mousavi, S.G.R., S.M.J. Mirhadi, S.A. Siadat Gh. Nourmohammadi, and F. Darvish. 2009. The effect of drought stress and nitrogen levels on yield and water use efficiency of forage millet and sorghum. *Agroecology Journal*. 5(15): 101-114. (In Persian).
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*. 25: 239–250.
- Nabati, J., and P. Rezvani Moghadam. 2010. Effect of irrigation intervals on the yield and morphological characteristics of forage millet, sorghum and corn. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 41(1): 179-186. (In Persian).
- Najafi Babady, K., P. Hassibi, H. Roshanfekr, and S. Broumand Nassab. 2018. Effect of drought stress on chlorophyll fluorescence and forage yield of two forage millet cultivars (*Pennisettum americanum*) var nutrifeed and (*Punicum sp*.) var. pishahang. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 16(2): 333-344. (In Persian).
- Noroozi, H., H. Roshanfekr, P. Hassibi, and M. Meskarbashee. 2013. The evaluation of some photosynthetic characteristics in two forage millet cultivars under salt stress conditions. *Journal of Plant Process and Function*. 2(2): 75-84. (In Persian).
- Nouri azhar, J., and P. Ehsanzedeh. 2007. Study of relationship of some growth indices and yield of five corn hybrids at two irrigation regimes in Esfahan region. *Journal of Science and Technology*. 41: 261- 272. (In Persian).

- Parida A.K., and A.B. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 60: 324-349.
- Parry, M.A.J., P.J. Andraloje, S. Khan, P.J. Lea, and A.J. Keys. 2002. Rubisco activity: Effects of drought stress. *Annals of Botany*. 89: 833-839.
- Seghatol Eslami, M.J., M. Kafi, H. Majidi, Gh. Noormohamadi, F. Darvish, and A. Ghazi Zade. 2005. Effect of drought stress on leaf soluble sugar content, leaf rolling index and relative water content of proso millet (*Panicum miliaceum* L.) genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 3(2): 219-232. (In Persian).
- Sepaskhah, A.R., and F. Yousefi. 2007. Effect of zeolite application on nitrate and ammonium retention of a loamy soil under saturated conditions. *Soil Restoration*. 45: 368-373.
- Siosemardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini, and H. Ebrahimzedeh. 2003. Stomatal and nonstomatal limitations to photosynthesis and their relationship with drought resistance in wheat cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Science*. 34: 93-106. (In Persian).
- Tohidi-Moghadam, H.R., A.H. Shirani-Rad, Gh. Nour-Mohammadi, D. Habibi Modares, S.A.M. Sanavy, M. Mashhadi Akbar Boojar, and A. Dolatabadian. 2009. Response of six oilseed rape genotypes to water stress and hydrogel application. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*. 39(3): 243-250.
- Yari, P., A.H. Keshtkar, and A. Sepehri. 2014. Evaluation of water stress effect on growth and yield of spring safflower. *Plant Products Technology*. 14(2): 101-117. (In Persian).
- Zabet, M., S. Bahamin, S. Ghoreishi, H. Sadeghi, and S.Gh. Moosavi. 2015. Effect of deficit irrigation and nitrogen fertilizer on quantitative yield of aboveground part of forage pear millet (*Pennisetum glaucum*) in Birjand. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 7(2): 187-194. (In Persian).

Research Article DOI: 10.30495/jcep.2021.679975

Agro-Physiological Responses of Different Peal Millet (*Pennisetum glaucum* L.) Cultivars to Water Deficit in Kerman Climatic Conditions

Seyed Nabiladin Fatemi[1], Ali Akbar Maghsoodi Mood[2]*, and Ghasem Mohammadi Nejad[3]

Received: March 2020 , Revised: 25 September 2020, Accepted: 18 October 2020

Abstract

Cultivar selection is one of the most important factors to obtain maximum yield, based on the climatic conditions of each region. Drought is one of the environmental stresses that causes adverse effects on most stages of plant growth, structure and its activities. To investigate the agro-physiological responses of different pearl millet cultivars (Hybrid 1, Hybrid 2, IP13150, IP13151, IP22269, ICMV5222, HHVBCTA) to two levels of irrigation (100% and 60% of field capacity) an split plot experiment based on randomized complete block design was done in Kerman climatic conditions. The results showed that the simple effect of irrigation treatment and also simple effect of cultivar as well as the interaction of irrigation×cultivar were significant for all traits, except for relative water content and chlorophyll index. Decreasing the value of irrigation water from 100% to 60% of field capacity, caused significantly reduction of chlorophyll index (20.87%) and relative humidity content (29.06%). Drought stress increased proline content in all cultivars and the highest one was obtained from HHVBCTA under this condition. The results showed that the highest values of plant height, leaf area index, fresh and dry forage yield under normal irrigation and also drought stress conditions were obtained from Hybrid 1 and IP13151 cultivars, respectively. According to the comparison results of interaction, the lowest and highest percentage reduction of fresh forage of the due to drought stress were related to IP13151 (13.16%) and Hybrid 2 (61.58%), respectively. Generally, according to the obtained results, Hybrid 1 and IP13151 cultivars are suitable for planting in Kerman climatic region under normal and stress conditions, respectively.

Key words: Forage yield, Leaf area index, Proline, Relative water content.

1-Ph.D. student of Agronomy, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
2-Associate Professor of Agronomy, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
3-Professor of Agronomy, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
**Corresponding Author: akubaru2@yahoo.com*