DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2021.16665.1855

بررسی شاخص‌های فیزیولوژیکی و رویشی در کشت مخلوط ارزن (*Panucum miliaceum*) و گوار (*Cyamopsis tetragonoliba*) در شرایط تنش خشکی

(مقالهٔ پژوهشی)

۱- ناهید بشری، کارشناس ارشد مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران
۲- حمید سودائی‌زاده*، دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه یزد، ایران
hsodaie@yazd.ac.ir
۳- اصغر مصلح‌آرانی، دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران
۴- محمّدرضا غفاریان، دانش آموخته دوره دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه یاسوج، ایران

دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۵
پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۳

چکیده

کشت مخلوط گیاهان علوفه‌ای راهکاری برای دسترسی به عملکرد مطلوب و افزایش تولید در مناطقی با مشکل کمبود آب است. این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی در شهرستان اشکذر، به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. هدف اصلی در این بررسی، ارزیابی کشت مخلوط دو گیاه ارزن و گوار در بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکرد علوفه بود. در این آزمایش عامل اصلی فواصل آبیاری در سه سطح شامل آبیاری در زمان تخلیه ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و عامل فرعی آرایش کشت شامل سه سطح کشت خالص ارزن و گوار و کشت مخلوط دو گونه بود. کشت مخلوط به صورت ردیفی و به صورت جایگزینی اجرا شد. نتایج نشان داد که با تاخیر در آبیاری میزان نشت یونی روند افزایشی و محتوای نسبی آب برگ روند کاهشی داشت. بیشترین محتوای رطوبت نسبی برگ در کشت مخلوط (۷۰/۳ و ۷۸/۴ درصد) و کمترین محتوای رطوبت نسبی برگ در کشت خالص ارزن و گوار به ترتیب ۶۱/۴ و ۷۲/۵ درصد به‌دست آمد. بیش‌ترین و کم‌ترین شاخص کلروفیل به ترتیب در تیمارهای آبیاری در تخلیه ۶۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. در فواصل مختلف آبیاری، استفاده از کشت مخلوط ارزن و گوار سبب افزایش محتوای قند محلول و پرولین نسبت به کشت خالص آنها گردید. بنابراین، در همه سطوح آبیاری، بیش‌ترین عملکرد علوفه در کشت مخلوط دو گیاه به دست آمد. از آن‌جایی که کشت مخلوط موجب بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی گوار و ارزن گردیده است، بنابراین بهبود رشد و عملکرد علوفه دور از انتظار نیست. در مجموع می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کشت مخلوط ارزن با گوار می‌تواند تاثیر منفی تنش خشکی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داده و به عنوان یک راهکار مدیریتی در شرایط تنش خشکی مطرح باشد.

واژگان کلیدی: پروتئین، پرولین، عملکرد علوفه، قند محلول

مقدّمه

آب مهم‌ترین عامل در بخش کشاورزی می‌باشد و مدیریت استفاده بهینه آن از اهمّیت بسیار بالایی برخوردار است. بی‌شک دست‌یابی به توسعهٔ پایدار در زمینه کشاورزی بدون جلوگیری از هدر رفت آب و بهره‌مندی از فنآوری‌های جدید امکان پذیر نیست [۵]. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین بازدارنده‌های تولید گیاهان در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به شمار می‌رود [۲۵]. هرچند مشخص نیست که تحت شرایط تنش، کدام عوامل نقش مهم‌تری در بازدارندگی رشد و فعالیت‌های فیزیولوژیک دارند.

از سوی دیگر عوامل متعدّدی سبب ایجاد تحمّل گیاهان به تنش خشکی و تغییر در مکانیسم‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و تعادل هورمونی می‌شود [۲۰]. تجمّع اسمولیت‌های سازگار از جمله قندهای محلول و پرولین در

گیاهان می‌تواند سبب تنظیم اسمزی و حفظ رطوبت برگ تحت شرایط تنش‌های محیطی شود [۳].

اصلاح خاک‌های شور و بهبود شیوه‌های آبیاری از جمله روش‌های مدیریتی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه-خشک می‌باشد که به علت گرانی و مقطعی‌بودن به آسانی قابل استفاده نیستند [۲۹]. بنابراین، شناسایی و معرفی گونه‌های گیاهی متحمّل به خشکی و سازگار با شرایط هر منطقه از اهمّیت خاصی برخوردار است [۱۲]. برای تولید علوفه با کیفیت در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مدیریت صحیح گیاهان علوفه‌ای و شناسایی گیاهان متحمّل، ضروری است [۱۸].

گوار گیاهی علوفه‌ای و متعلق به خانوادهٔ بقولات است. گوار در گسترهٔ وسیعی از انواع خاک و آب و هوای خشک تا نیمه‌خشک قابلیّت کشت را دارد. این گیاه می‌تواند در شرایط آب و هوای گرم در برابر کم آبی و شوری بالا مقاومت داشته باشد. گوار از سایر لگوم‌ها تحمل بالاتری به تنش شوری و خشکی دارد [۳۱]. ارزن گیاهی یک‌ساله و سازگار به مناطق گرم و خشک است. ارزن مقاومت خوبی نسبت به کم آبی داشته و قابلیت خوبی برای تولید علوفه و دانه در مناطق خشک دارد. دوره رشد ارزن سریع و توانایی رشد در محیط‌های خشک، بایر و نسبتاً سخت را هم دارد [۶].

کشت مخلوط به‌عنوان نمونه‌ای از نظام کشاورزی پایدار، اهدافی هم چون ایجاد تعادل اکولوژیک، بهره‌وری بیشتر و افزایش کمی و کیفی محصول را دنبال می‌کند [۱۷]. اخیراً توجه زیادی به افزایش تنوّع سامانه‌های تولیدی با افزودن تعداد گونه‌های گیاهی برای به حداکثر رساندن کارآیی استفاده از منابع در مقایسه با نظام‌های تک‌کشتی شده است [۹]. از اهداف کشت مخلوط، تکمیل ویژگی‌های برتر دو گونه و در نتیجه تولید علوفه کامل‌تری نسبت به کشت خالص است [۱]. در شرایط تنش‌های محیطی از جمله خشکی و شوری، کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دارای مزیت نسبی است و شاخص‌های کمّی و کیفی علوفه در کشت مخلوط با لگوم‌ها بهبود پیدا می‌کند [۲۲].

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در مورد استفاده از گیاهان متحمّل به شوری و خشکی برای اصلاح خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک صورت گرفته است. با این حال مطالعات کمی و در ارتباط با ارزیابی کشت مخلوط در شرایط تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی انجام شده است. در مناطقی که با تنش خشکی و شوری و محدودیّت تولید محصول مواجه هستند، کاشت گیاهان متحمّل می‌تواند اهمّیت زیادی داشته باشد [۳۰]. کشت مخلوط گیاهان علوفه‌ای نیز راهکاری برای تولید در اراضی مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد [۹ و ۱۵].

با در نظر گرفتن مشکل کمبود آب در مناطق مناطق خشک و نیمه‌خشک و با توجه به این حقیقت که سیستم‌های کشت مخلوط گیاهان علوفه‌ای، راهکاری مناسب برای دسترسی به عملکرد مطلوب و افزایش تولید است؛ این پژوهش با هدف ارزیابی کشت مخلوط دو گیاه ارزن و گوار در بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکرد علوفه انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- طراحی آزمایش و تیمارها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی در شهرستان اشکذر در استان یزد با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۹۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۷۴ متر بالاتر از سطح دریا، اجرا شد.

آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی فواصل آبیاری در سه سطح آبیاری در زمان تخلیه ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، آبیاری در زمان تخلیه ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و آبیاری در زمان تخلیه ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و عامل فرعی آرایش کاشت در سه سطح شامل کشت خالص ارزن وگوار و کشت مخلوط دوگونه بود. بذر مورد نیاز ارزن از توده های بومی منطقه و بذر گوار از مرکز تحقیقات کشاورزی تهیه گردید.

۲-۲- اجرای آزمایش

قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری خاک نمونه‌برداری انجام شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱). عملیات خاک‌ورزی اوّلیه شامل شخم با عمق مناسب، دیسک‌زدن و عملیات آماده‌سازی بستر کشت برای همه تیمارها به‌صورت یکسان و در اواسط اردیبهشت ماه انجام گرفت. به منظور تأمین فسفر و پتاسیم

مورد نیاز گیاه، قبل از کاشت مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و سوپر فسفات تریپل به طور یکنواخت به‌صورت نواری در زیر خطوط کاشت قرار گرفت. نیتروژن مورد نیاز گیاه از منبع کود اوره و به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و در سه قسمت مساوی (در مرحله گیاهچه‌ای، ساقه‌دهی و شروع گلدهی) مصرف شد.

قوه نامیه بذرها ۹۸ درصد بود و به میزان ۰/۵ و ۰/۴ گرم در متر مربع به ترتیب برای ارزن و گوار استفاده شد. کاشت با فاصله ردیف ۲۵ سانتیمتری از هم، در عمق ۳-۱ سانتیمتری با ۷ خط کاشت و در اوایل خرداد ماه و به‌صورت دستی بود. روش کشت مخلوط از نوع جایگزینی بود، به صورتی که در روی خط کاشت اول، گیاه اول و در خط کاشت بعدی گیاه دوم کشت گردید. بنابراین کشت مخلوط به صورت ردیفی و از سری جایگزینی (۵۰:۵۰) اجرا شد. فاصله بین کرت‌های اصلی یک متر در نظر گرفته شد.

جدول ۱- نتایج ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک محل انجام آزمایش

پتاسیم	فسفر	کلسیم	منیزیم	کلر	سدیم	نیتروژن	کربن آلی	هدایت الکتریکی	بافت خاک
(میلی گرم بر کیلوگرم)		(میلی اکی والان بر لیتر)				(درصد)		(دسی زیمنس بر متر)	
۱۴۱	۱۲	۲۰	۲۷	۱۲۴	۱۰۴	۰/۰۷	۰/۲۴	۱۴/۶۳	لوم رسی

تعیین مقدار آب مورد نیاز با اندازه‌گیری رطوبت از عمق ۳۰ سانتیمتری خاک به روش TDR[1] صورت گرفت. سپس بر اساس ظرفیت مزرعه‌ای خاک و با اندازه‌گیری آب داده شده، میزان آب مورد نیاز تعیین شد. نخستین آبیاری بعد از کاشت انجام شد. بعد از اطمینان از استقرار گیاه، آبیاری‌های بعدی طبق تیمارهای آزمایشی صورت گرفت. در طول فصل رشد، آبیاری براساس تخلیه رطوبتی ۷۰، ۶۰ و ۸۰ درصد از ظرفیت زراعی خاک انجام شد.

۳-۲- اندازه‌گیری صفات

تعیین صفات فیزیولوژیکی در مرحله ۵۰ درصد گلدهی انجام گرفت. جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ‌ها، اول صبح و قبل از طلوع آفتاب از هر تیمار سه برگ کامل جوان و شاداب انتخاب و توسط قیچی قطعاتی تقریباً به یک اندازه از برگ جدا و وزن تر آن‌ها با ترازو (دقت ۰/۰۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن آماس یافته‌ی برگ، برگ‌ها در ظروف سربسته و حاوی آب مقطر در محلی تاریک با دمای ثابت ۱±۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۲ ساعت قرار گرفتند. سپس رطوبت سطحی برگ‌ها با کاغذ واتمن شماره یک گرفته شد و وزن آماس محاسبه گردید.

برای اندازه‌گیری وزن خشک، همان برگ‌های استفاده شده به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده و سپس وزن شد. محتوای آب نسبی برگ‌ها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید [۳۴].

$$\text{محتوای آب نسبی برگ} = ((FW - DW) / (TW - DW)) \times ۱۰۰ \quad (۱)$$

که در آن: FW وزن تازهٔ بافت برگ، DW وزن خشک بافت برگ، TW وزن آماس یافته بافت برگ است. برای سنجش میزان نشت یونی از روش سایرام و همکاران [۲۷] استفاده شد.

برای اندازه‌گیری مقدار قندهای محلول از روش نلسون [۲۱] استفاده شد، به نحوی‌که ۰/۲ گرم نمونه تازه را با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد مخلوط کرده، بعد ۵ میلی‌لیتر الکل ۷۰ درصد به آن اضافه شد، سپس به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۳۵۰۰ آن را سانتریفوژ کرده و سپس ۰/۱ از این عصاره را به ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه اضافه گردید. در مرحله بعد آن را به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار داده و بعد از خنک‌شدن میزان جذب با استفاده از اسپکتوفتومتر مدل Vis 2100 در طول موج ۶۲۵ خوانده شد.

برای اندازه‌گیری پرولین ۰/۵ گرم نمونه تازه برگ را همراه با ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک داخل هاون کوبیده و سپس صاف شد [۴]. مقدار دو میلی‌لیتر از محلول صاف شده را با دو میلی‌لیتر اسید نایین هیدرین (مخلوط

1- Time Domain Reflectometry

۱/۲۵ گرم نایتروژن هیدرین در ۳۰ میلی لیتر اسید گلاسیال و ۲۰ میلی لیتر اسید فسفریک شش مولار) به مدّت یک ساعت در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه قرار داده شد. پس از خنک شدن، چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد. محلول به دست آمده به مدت ۲۰-۱۵ دقیقه شیکر شد. میزان جذب را با استفاده از اسپکتوفتومتر مدل Vis 2100 در طول موج ۶۲۵ نانومتر خوانده شد.

برای اندازه‌گیری شاخص سبزینگی (Spad)، از هر بوته ۵ برگ انتخاب و میزان سبزینگی با دستگاه SPAD-502 قرائت شد.

برای تعیین ارتفاع بوته، ۱۰ بوته در خط وسط هر کرت به طور تصادفی انتخاب و پس از اندازه‌گیری‌های لازم، میانگین آن‌ها محاسبه شد. ارتفاع ساقهٔ اصلی هر بوته گوار از سطح خاک تا نوک بوته و برای ارزن تا آخرین گره قابل شمارش، اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیکی، از بوته‌های داخل مزرعه مساحتی معادل یک متر مربع انتخاب و برداشت شد. برای تعیین عملکرد خشک، علوفه برداشت شده، خرد و در آونی با دمای ۷۵ درجه سانتیگراد به مدّت ۷۲ ساعت نگهداری و در آخر وزن شد.

از هر واحد آزمایشی از نمونه‌های برگ خشک شده از هر کرت حدود ۵۰ گرم نمونه جدا و پس از آسیاب به آزمایشگاه منتقل و میزان نیتروژن محاسبه شد. در پایان مقدار پروتئین بذر با ضرب درصد نیتروژن (محتوای نیتروژن) با ضریب ۶/۲۵ محاسبه شد [۱۰ و ۲۴].

۲-۴- آنالیز آماری

تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات مختلف با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. در صورت معنی‌دار بودن اثر برهمکنش، برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از رویه L.S.Means انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- محتوای نسبی آب برگ و نشت یونی

تجزیه داده‌ها نشان داد که محتوای نسبی آب برگ و نشت یونی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار آبیاری و آرایش کشت قرار دارد. برهمکنش بین آبیاری و آرایش کشت تأثیر معنی‌داری بر نشت یونی داشت، اما نتوانست محتوای نسبی آب برگ را تحت تأثیر قرار دهد (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با تأخیر در آبیاری، محتوای نسبی آب برگ به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (جدول ۳)، به‌طوری‌که بیش‌ترین محتوای رطوبت نسبی برگ (۶۹/۶ درصد) در آبیاری در تخلیه ۶۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین محتوای رطوبت نسبی برگ (۶۷/۷ درصد) در تیمار آبیاری در زمان ۸۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی به‌دست آمد. در مقایسه بین آرایش‌های کشت، نتایج نشان داد که محتوای رطوبت نسبی برگ ارزن در کشت مخلوط و گوار در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص هر کدام به ترتیب افزایش ۱۴/۴ و ۸/۲ درصدی نشان داد (جدول ۳).

از سوی دیگر تأخیر در فواصل آبیاری باعث افزایش میزان نشت یونی شد. به‌طوری که نشت یونی در فواصل آبیاری در زمان تخلیه ۷۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به ۶۰ درصد ظرفیت زراعی روند افزایشی نشان داد (جدول ۴).

در آبیاری در زمان تخلیه ۶۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، نشت یونی در تیمار تک‌کشتی ارزن و گوار نسبت به کشت مخلوط آنها تفاوت معنی‌داری نشان نداد. اما در آبیاری در زمان تخلیه ۸۰ درصد ظرفیت زراعی، کشت ارزن به صورت مخلوط، میزان نشت یونی را نسبت به کاشت خالص ارزن به طور معنی‌داری کاهش داد (جدول ۴).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات مورد بررسی

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	نشت یونی	قند محلول	پرولین	شاخص کلروفیل	ارتفاع بوته	عملکرد علوفه	پروتئین
تکرار	۲	^{ns}۰/۸۶	**۱۱/۱۲	^{ns}۰/۵۶	^{ns}۲/۲۵	^{ns}۰/۳۵	^{ns}۰/۴۶۶	^{ns}۷۳۴۹/۶	^{ns}۰/۰۰۱
آبیاری	۲	*۱۵/۹۹	**۳۱/۹۵	**۴۴/۰۷	**۱۵۱۴/۹۷	**۱۷۰/۶۲	**۶۳۳/۱۸۸	**۱۰۳۷۷/۳	**۰/۰۱۶
خطای اصلی	۴	۱/۸۴	۰/۳۳	۰/۱۰	۳/۶۹	۰/۲۷	۰/۸۵۵	۸۳۷۷/۷	۰/۰۰۰۹
آرایش کشت	۲	**۴/۸۱	**۱۹/۸۴	**۴/۵۶	**۲۸۶/۰۱	**۱۶/۹۷	**۹۲/۰۶۶	**۵۲۱۵۷/۲	**۰/۱۱۹
آبیاری× آرایش کشت	۴	^{ns}۰/۴۰	**۰/۱۱	**۲/۵۹	**۱۱/۵۴	**۰/۹۲	*۲/۷۸۸	*۱۲۴۵/۹	^{ns}۰/۰۱۵
خطای آزمایش	۱۲	۳/۴۰	۰/۱۷	۰/۲۲	۵/۹۳	۰/۲۵	۱/۱۱۱	۲/۹۵۵۵	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۶/۶۸	۸/۶۲	۸/۹۳	۶/۴۲	۷/۶۰	۱۲/۷۸	۱۴/۸۰	۷/۹۰

*، ** وns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار

جدول ۳- مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری و آرایش کشت مخلوط برای محتوای نسبی آب برگ و پروتئین

تیمارهای آزمایشی	محتوای نسبی آب برگ (٪)	پروتئین برگ (٪)
آبیاری در زمان تخلیه ۶۰ درصد ظرفیت زراعی	۶۹/۵۵^{a}	۱۸/۱۲^{b}
آبیاری در زمان تخلیه ۷۰ درصد ظرفیت زراعی	۶۸/۵۵^{b}	۲۴/۵۲^{a}
آبیاری در زمان تخلیه ۸۰ درصد ظرفیت زراعی	۶۷/۶۷^{c}	۲۵/۱۳^{a}
گیاه	**آرایش کشت**	**محتوای نسبی آب برگ (٪)**	**پروتئین برگ (٪)**
ارزن	کشت خالص	۶۱/۳۹^{c}	۱۰/۳۶^{b}
	کشت مخلوط	۷۰/۲۶^{b}	۱۲/۹۷^{b}
گوار	کشت خالص	۷۲/۴۷^{b}	۲۶/۱۷^{a}
	کشت مخلوط	۷۸/۴۱^{a}	۲۷/۹۱^{a}

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

تجمّع اسمولیت‌های سازگار در گیاه گوار موجب جذب بیشتر آب از ریشه گردیده است که با تنظیم اسمزی نقش زیادی در حفظ محتوای نسبی آب برگ بازی کرده است. برخی از گیاهان متحمّل به تنش خشکی با تجمّع یون‌های معدنی مثل سدیم و کلر کمک به تنظیم اسمزی کرده و در نتیجه سبب حفظ محتوای نسبی آب برگ می‌شوند [۱۳]. در واقع گیاهان برای حفظ تعادل یونی و فشار اسمزی سلول، یون‌های سدیم و کلر را در واکوئل جای می‌دهند و در مقابل یون پتاسیم و اسمولیت‌های آلی را وارد سیتوزول می‌کنند [۱۶]. آستانه سوخت و ساز در گیاهان مختلف، به مکانیسم‌های موجود تحمّل به تنش‌های محیطی بستگی دارد [۳۲]. در سامانه‌های کشت مخلوط از طریق تغییر در پتانسیل اسمزی خاک سبب جذب بهتر آب از خاک و افزایش محتوای نسبی آب برگ شده است. بنابراین دور از انتظار نیست که در سامانه کشت مخلوط میزان نشت یونی کمتری مشاهده شود. استفاده از گیاهان متحمّل به تنش‌های محیطی در کشت مخلوط شرایط بهتری برای رشد سایر گیاهان در شرایط تنش فراهم می‌نماید [۳۰].

۳-۲- قند محلول و پرولین

تجزیه داده‌ها نشان داد که قند محلول و پرولین به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار آبیاری و آرایش کشت قرار می‌گیرد. برهمکنش بین آبیاری و آرایش کشت تأثیر معنی‌داری بر قند محلول و پرولین داشت (جدول۱). با افزایش سطح تنش خشکی میزان قندهای محلول در گیاهان تحت بررسی افزایش یافت (جدول ۴).

در سطح آبیاری در زمان تخلیه ۸۰ درصد ظرفیت زراعی، بیشترین میزان قند محلول برگ مربوط به تیمار گونه‌های ارزن و گوار در کشت مخلوط بود. کمترین میزان قند محلول برگ نیز مربوط به تیمار تک کشتی بود (جدول ۴). از سوی دیگر در آبیاری در زمان تخلیه ۷۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی، کشت مخلوط ارزن و گوار منجر به افزایش پرولین نسبت به کشت خالص آنها شد. هر چند که در زمان تخلیه ۶۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری بین سطوح آرایش کشت مخلوط با کشت خالص وجود نداشت (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و آرایش کشت مخلوط برای نشت یونی، قند محلول، پرولین، شاخص کلروفیل، ارتفاع بوته و عملکرد علوفه

سطوح آبیاری	آرایش کشت	نشت یونی (٪)		قند محلول (٪)		پرولین برگ (µmol.gr-1of FW)		شاخص کلروفیل برگ		ارتفاع بوته (cm)		عملکرد علوفه (kg/ha)	
		ارزن	گوار	ارزن	گوار	ارزن	گوار	ارزن	گوار	ارزن	گوار	ارزن	گوار
آبیاری در زمان تخلیه ۶۰	کشت خالص	a۶۶/۶۴	a۶۳/۸۳	a۲/۷۵	b۳/۸۸	a۷/۷۰	a۸/۹۱	a۳۹/۲۶	a۵۲/۴۱	a۱۱۵/۰۷	a۷۴/۰۷	a۵۹۸۳	a۴۹۶۰
درصد ظرفیت زراعی	کشت مخلوط	a۶۵/۷۲	a۶۳/۷۲	a۲/۹۱	a۴/۸۳	a۷/۹۳	a۹/۱۵	a۴۱/۰۳	a۵۳/۵۳	a۱۱۴/۳۵	a۷۳/۰۷	a۵۹۷۸	۴۹۵۵a
آبیاری در زمان تخلیه ۷۰	کشت خالص	a۶۷/۷۰	a۶۴/۸۶	a۴/۵۷	a۶/۹۱	b۱۰/۶۸	b۱۲/۴۱	a۲۷/۰۶	a۳۷/۲۰	b۹۹/۷۶	b۶۳/۲۶	b۵۳۷۱	a۴۸۰۰
درصد ظرفیت زراعی	کشت مخلوط	a۶۶/۲۳	a۶۴/۷۶	a۵/۱۲	a۷/۲۷	a۱۱/۸۳	a۱۴/۰۶	a۲۹/۳۴	a۳۸/۶۱	a۱۱۲/۱۳	a۷۲/۴۱	a۵۷۳۸	۴۸۱۱a
آبیاری در زمان تخلیه ۸۰	کشت خالص	a۷۰/۲۰	a۶۶/۱۵	b۵/۶۲	b۷/۹۱	b۱۱/۷۳	b۱۴/۵۱	b۲۳/۲۶	b۳۰/۳۳	b۷۳/۵۳	b۵۵/۴۴	b۴۷۵۷	a۴۷۴۰
درصد ظرفیت زراعی	کشت مخلوط	b۶۷/۲۳	a۶۵/۱۶	a۶/۲۳	a۸/۶۰	a۱۳/۸۷	a۱۶/۲۱	a۲۸/۱۴	a۳۵/۱۳	a۱۰۸/۹۶	a۶۸/۴۱	a۴۹۱۳	۴۷۵۱a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و هر فواصل آبیاری اختلاف معنی‌داری با رویه L.S. Means در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

به دلیل اینکه تحت شرایط تنش شدید خشکی میزان آب سلولی کاهش می‌یابد، بنابراین تغییر در میزان قند محلول و پرولین بخشی از پاسخ گیاه به شرایط موجود است. در شرایطی که گیاهان با تنش خشکی مواجه شوند، برای حفظ کارکرد ساختارهای خود نیاز به تغییر در ترکیبات آلی دارند که پاسخ آنها بسته به شدت تنش و نوع گیاه متفاوت است. اگرچه پژوهشگران گزارش کرده‌اند که افزایش تنش‌های محیطی سبب افزایش محتوای قندهای محلول برگ گیاهان می‌گردد، اما نتایج متناقضی هم در برخی پژوهش‌ها به دست آمده است [۱۳ و ۲۸].

نظرات مختلفی در مورد تجمّع پرولین در هنگام تنش خشکی بیان شده است. تنش خشکی از دو طریق افزایش بیان آنزیم‌های سازنده پرولین و کاهش فعالیت آنزیم‌های تخریب کننده پرولین باعث افزایش میزان پرولین می‌شود [۲۳]. تجمّع قندهای محلول در حفظ سازوکارهایی مانند ترمیم و جبران حجم از دست رفته سلول و آماس آن، کاهش صدمات ناشی از رادیکال‌های آزاد به سلول، حفاظت و ثبات آنزیم‌ها و ساختمان غشا مهم است [۱۹]. در هر حال تجمع اسمولیت‌های سازگار مانند قندهای محلول و پرولین در شرایط کشت مخلوط سبب کاهش صدمات ناشی از

رادیکال‌های آزاد به سلول، حفاظت و ثبات آنزیم‌ها و پایداری ساختمان غشا می‌شوند [۲ و ۹].

۳-۳- شاخص کلروفیل برگ

تجزیه داده‌ها نشان داد که شاخص کلروفیل برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار آبیاری و آرایش کشت قرار می‌گیرد. برهمکنش بین آبیاری و آرایش کشت نیز تأثیر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل برگ داشت (جدول۱).

با افزایش سطح تنش خشکی میزان شاخص کلروفیل برگ در گیاهان تحت بررسی کاهش یافت (جدول ۴). در آبیاری در زمان تخلیه ۶۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، شاخص کلروفیل برگ در تیمار تک‌کشتی ارزن و گوار نسبت به کشت مخلوط آنها تفاوت معنی‌داری نشان نداد. اما در آبیاری در زمان تخلیه۸۰ درصد ظرفیت زراعی، شاخص کلروفیل برگ ارزن در کشت مخلوط و گوار در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص آنها به ترتیب افزایش ۲۰/۹ و ۱۶/۶ درصدی نشان داد (جدول ۴).

مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ از شاخص‌های مهمّی است که برای اندازه‌گیری وضعیت فتوسنتزی و عملکرد گیاه استفاده می شود [۳]. در این پژوهش افزایش تنش خشکی سبب کاهش شاخص کلروفیل شد. از سوی دیگر استفاده از کشت مخلوط تا حدودی از تجزیه و تخریب آن جلوگیری کرد.

کاهش میزان کلروفیل تحت شرایط تنش‌های محیطی به‌واسطه افزایش فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و در نتیجه تجزیه و تخریب کلروفیل است [۱۴]. گزارش مشابهی از تاثیر منفی تنش شوری بر محتوای کلروفیل گیاه سسبانیا موجود می‌باشد [۷]. در مقابل، در تنش شدید رطوبتی سامانه کشت مخلوط سبب بهبود سنتز محتوای کلروفیل گیاه گردید. این موضوع نشان می‌دهد کشت مخلوط توان گیاه را برای حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ نسبت به سیستم تک‌کشتی آن افزایش می‌دهد. در واقع می‌توان گفت که کشت مخلوط موجب افزایش جذب و فراهمی عناصر غذایی و در نتیجه بهبود محتوای کلروفیل شده است. جذب بهتر عناصر غذایی از جمله نیتروژن و پتاسیم در کشت مخلوط با گیاهان هالوفیت در شرایط تنش شوری گزارش شده است [۳۶].

۳-۴- ارتفاع بوته و عملکرد علوفه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری و آرایش کشت بر ارتفاع بوته و عملکرد علوفه در سطح ۱ درصد و برهمکنش آنها در سطح ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و آرایش کشت نشان داد که در آبیاری در زمان تخلیه ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، ارتفاع بوته و عملکرد علوفه در تیمار تک‌کشتی ارزن و گوار نسبت به کشت مخلوط آنها تفاوت معنی‌داری ندارند. اما در آبیاری در زمان تخلیه ۷۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی، ارتفاع بوته ارزن در کشت مخلوط و گوار در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص آنها افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). در آبیاری در زمان تخلیه ۷۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی، عملکرد علوفه ارزن در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص آن به ترتیب افزایش ۶/۸ و ۳/۳ درصدی نشان داد (جدول ۴).

تنش خشکی باعث اختلال در بسیاری از صفات فیزیولوژیکی مورد اندازه‌گیری، شد. بنابراین، کاهش ارتفاع و عملکرد علوفه دور از انتظار نبود [۱۱]. از سوی دیگر افزایش در میزان عملکرد علوفه در سامانه‌های کشت مخلوط مشاهده شد. بررسی کشت مخلوط ارزن و گوار نشان داد که استفاده از این گیاهان در سامانه‌های کشت مخلوط می‌تواند یک راهکار کاربردی برای افزایش عملکرد بیوماس در شرایط تنش‌های محیطی باشد. این موضوع نشان می دهد کشت مخلوط توان گیاه را برای بهبود صفات فیزیولوژیکی نسبت به سیستم تک‌کشتی آن افزایش می دهد [۱۵].

نتایج مشابهی در مورد کشت مخلوط با گیاهان هالوفیت از جمله کوشیا توسط محققان گزارش شده که نشان دهنده بهبود عملکرد بیوماس با استفاده از سامانه کشت مخلوط در شرایط تنش شوری است [۸]. از سوی دیگر بهبود عملکرد در سامانه‌های کشت مخلوط می‌تواند به کمتر بودن رقابت و همچنین اثرات مکملی بیشتر گونه‌ها در این سامانه‌ها باشد [۳۵].

۳-۵- میزان پروتئین علوفه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمار آبیاری و آرایش کشت بر درصد پروتئین دانه اثر معنی‌داری داشت، ولی

برهمکنش آنها معنی‌دار نشد (جدول ۲). بیشترین و کمترین درصد پروتئین علوفه ۲۵/۱ و ۱۸/۱ درصد بود که به ترتیب در تیمارهای آبیاری در تخلیه ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۳). از سوی دیگر میزان پروتئین علوفه در گیاه گوار بیش‌تر از ارزن است. نتایج بیان‌گر آن است کشت مخلوط گوار با ارزن موجب بهبود پروتئین علوفه در کشت مخلوط آنها گردیده است، هر چند که از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳).

بالاتر بودن درصد پروتئین در شرایط محدودیت آب نسبت به شرایط آبیاری کامل می‌تواند با کاهش طول دوره رشد و نمو مرتبط باشد. این امر موجب کاهش نسبت کربوهیدرات‌ها (به علت کاهش فراوانی آنزیم‌های سنتز نشاسته) به پروتئین و در نتیجه افزایش درصد پروتئین در این تیمارها شده باشد. گزارش شده تنش آب به ایجاد اختلال در فرآیند فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌ها و سنتز پروتئین منجر می‌شود که جابجایی متابولیت‌ها را به سمت دانه تحت تاثیر قرار می‌دهند [۳۳]. محققان علت افزایش پروتئین دانه لوبیا در شرایط تنش خشکی را سنتز پروتئین‌های جدید در شرایط تنش خشکی عنوان کردند [۲۶].

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش رشد می‌شود. تاثیر منفی تنش خشکی بر کشت خالص گیاهان بیشتر بود. از آن‌جایی که کشت مخلوط ارزن و گوار در بیشتر موارد موجب بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی گوار و ارزن شد، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که سامانه کشت مخلوط می‌تواند تاثیر منفی تنش خشکی را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد.

بنابراین می‌توان گفت که الگوی کشت مخلوط ارزن و گوار می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی در شرایط تنش خشکی مطرح باشد. از طرف دیگر در شرایط تنش خشکی، آرایش کشت مخلوط به دلیل ایجاد شرایط ریز اقلیمی خاص می‌تواند در بهره‌برداری از منابع بهتر عمل نماید.

References

[1]. Armstrong, K. L., Albrecht, K. L., Lauer, J. G. and Riday, H. (2008). Intercropping corn with lablab bean, velvet bean, and scarlet runner bean for forage. *Crop Science*, 48: 371-379.

[2]. Askarnejad, M., Sodaeizadeh, H., Mosleh Arani, A. and Yazdani Biouki, R. (2019). Effect of silicon on some characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum*) under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 20 (1): 21-30.

[3]. Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajai,e M., Movahhedi Dehnavi, M., and Salehi, A. (2019). Improvement of *Echinacea purpurea* performance by integration of phosphorus with soil microorganisms under different irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 221: 238-47.

[4]. Bates, L.S., Waldren, R.P. and Tear, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.

[5]. Bodner, G., Nakhforoosh, A. and Kaul, H.-P., (2015). Management of crop water under drought: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35: 401-442.

[6]. Caruso, C., Maucieri, C., Berruti, A., Borin, M. and Barbera, A.C., (2018). Responses of different *Panicum miliaceum* L. genotypes to saline and water stress in a marginal Mediterranean environment. *Agronomy*, 8: 8.

[7]. Dhanapackiam, S. and Ilyas, M. (2010). Effect of salinity on chlorophyll and carbohydrate contents of Sesbania grandiflora seedlings. *Indian Journal of Science and technology*, 3: 64-66.

[8]. Firoozabadi, A.H., Kazemeini, S.A. and Pirasteh-Anosheh, H. (2017). Evaluation of different planting ratio of sorghum-kochia intercropping in varied salinity conditions. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24. (in Farsi).

[9]. Ghaffarian, M.R., Yadavi, A., Dehnavi, M.M., Nassab, A.D.M. and Salehi, M. (2020). Improvement of physiological indices and biological yield by intercropping of Kochia (*Kochia scoparia*), Sesbania (*Sesbania aculeata*) and Guar (*Cyamopsis tetragonoliba*) under the salinity stress of irrigation water. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26: 1319-1330.

[10]. Horwitz, W. and Latimer, G. (2006). *Association of Offcial Analytical Chemists*

International. Offcial methods of analysis of AOAC International, Gaithersburg: Maryland, pp. 200.

[11]. Hoshmandzadeh, F., Sodaeizadeh, H., Hakimi, M.H. and Hakimzadeh, M.A. (2019). Assessment of effect of drought stress on inhibitory properties of *Peganum harmala* L. *Arid Biome Scientific Journal*, 9 (1): 125-138.

[12]. Houshmand, S., Arzani, A., Maibody, S. A. and Feizi, M. (2005). Evaluation of salt-tolerant genotypes of durum wheat derived from in vitro and field experiments. *Field Crop Research*, 91: 345-354.

[13]. Jiménez-Becker, S., Miguel, R., and Blanca M P. (2019). The influence of salinity on the vegetative growth, osmolytes and chloride concentration of four halophytic species. *Journal of Plant Nutrition*, 42: 1838-49.

[14]. Kauser, A., Athar, H.R. and Ashraf, M. (2006). Chlorophyll fluorescence: A potential indicator for rapid assessment of water stress tolerance in canola (*Brassica napus* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 38(5): 1501-1509.

[15]. Kurdali, F., Mussaddak, J., and Khalaf, K. (2003). Growth and nitrogen fixation and uptake in Dhaincha/Sorghum intercropping system under saline and non-saline conditions. *Communications in soil science and plant analysis*, 34: 2471-94.

[16]. Liang, W., Xiaoli, M, Peng, W. and Lianyin, L. (2018). Plant salt-tolerance mechanism: a review', *Biochemical and biophysical research communications*, 495: 286-91.

[17]. Lithourgidis, A. S., Dhima, K. V., Vasilakoglou, I. B., Dordas, C. A. and Yiakoulaki, M. D. (2007). Sustainable production of barley and wheat by intercropping common vetch. *Agronomy for Sustainable Development*, 27: 95-99.

[18]. Masters, D. G., Benes, S. E. and Norman, H. C. (2007). Biosaline agriculture for forage and livestock production. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119: 234–24.

[19]. Mohammadi, M., Ghassemi Golezani, K., ZehtabSalmasi, S. and Nasrollahzade, S. (2016). Assessment of some physiological traits in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under water stress. *International Journal of Life Sciences*, 10(1): 58-64.

[20]. Muchate, N S., Ganesh, C N, Nilima, S R, Suprasanna, P. and Tukaram, D N. (2016). Plant salt stress: adaptive responses, tolerance mechanism and bioengineering for salt tolerance. *The Botanical Review*, 82: 371-406.

[21]. Nelson, N. (1944). A photometric adaptation of the Smoggy method for the determination of sugars. *Journal Biology Chemistry*, 153: 375-380.

[22]. Panta, S., Tim, F., Richard, D., Peter, L., Gabriel, H. and Sergey, S. (2018). Temporal changes in soil properties and physiological characteristics of Atriplex species and Medicago arborea grown in different soil types under saline irrigation. *Plant and soil*, 432: 315-31.

[23]. Poonam, T., Indoliya, Y., Singh ,P. K., Singh, P. C., Chauhan, P. S., Pande, V. and Chakrabarty, D. (2018). Role of Dehydrin-FK506-binding proteins complex in enhancing drought tolerance through ABA-mediated signaling pathway. *Environmental and Experimental Botany*, 10-31.

[24]. Raza, M.A., Feng, L.Y., Manaf, A., Wasaya, A., Ansar, M., Hussain, A., Khalid, M.H.B., Iqbal, N., Xi, Z.J. and Chen, Y.K., (2018). Sulphur application increases seed yield and oil content in sesame seeds under rainfed conditions. *Field Crops Research*, 218: 51-58.

[25]. Reddy, A.R., Chiatanya, K.V. and Vivekanandan, M. (2004). Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161: 1189-1202.

[26]. Sadeghipour, O. and Aghaei, P. (2012). Response of common bean to exogenous application of salicylic asid under water stress conditions. *Environmental Biology*, 6(3): 1160-1168.

[27]. Sairam, R.K., Dharmar, K., Chinnusamy, V. and Meena, R.C. (2009). Water logging-induced increase in sugar mobilization, fermentation, and related gene expression in the roots of mug bean (*Vigna radiata*). *Journal of Plant Physiology*, 6: 602-616.

[28]. Seki, M., Umezawa, T., Urano, K. and Shinozaki, K. (2007). Regulatory metabolic

networks in drought stress responses. *Current Opinion in Plant Biology*, 10: 296-302.

[29]. Shannon, M. 1997. Adoption of plants to salinity. Advances in Agronomy Agron. 60, 75-120.

[30]. Simpson, Catherine R., Jose, G. Franco, Stephen, R. King and Astrid, V. (2018). Intercropping halophytes to mitigate salinity stress in watermelon. *Sustainability*, 10: 681.

[31]. Singla, S., Kulbhushan, G., Sangamesh, V Angadi, Sultan, H. Begna, Brian, S, and Dawn Van L. (2016). Growth and yield of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes under different planting dates in the semi-arid Southern High Plains. *American Journal of Plant Sciences*, 7: 1246.

[32]. Slama, I., C. Abdelly, A. Bouchereau, T. Flowers and A. Savoure. (2015). Diversity, distribution and roles ofosmoprotective compounds accumulated in halophytes under abiotic stress. *Annals of Botany*, 115(3):433–47.

[33]. Thalooth, AT., Tawfik, MM. and Mohamed, HM. (2006). A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. *World Journal of Agricultural Science*, 2: 1. 37-46.

[34]. Weatherely, P. E. (1950). Studies in water relation on cotton plants, the field measurement of water deficit in leaves. *New Phytologist*, 49: 81- 87.

[35]. Yang, F., Dunping, L., Xiaoling, W., Rencai, G., Yuanfang, F., Muhammad, A R., Xiaochun, W., Taiwen, Yo, Weiguo, L. and Jiang, L. (2017). Effect of aboveground and belowground interactions on the intercrop yields in maize-soybean relay intercropping systems. *Field Crops Research*, 203: 16-23.

[36]. ZuccaRini, P. (2008). Ion uptake by halophytic plants to mitigate saline stress in *Solanum lycopersicon* L., and different effect of soil and water salinity. *Soil and Water Research*, 3: 62-73.

Investigation of physiological and growth indices of Millet (*Panucum miliaceum*) and Guar (*Cyamopsis tetragonoliba*) intercropping under drought stress

1- Nahid Bashari, MSc in desert and arid land Management, Yazd University, Yazd, Iran.
2- Hamid Sodaiezadeh*, Assoc. Prof., Dept. of Arid Land and Desert Management, Yazd University, Yazd, Iran.
hsodaie@yazd.ac.ir
3- Asghar MoslehArani, Assoc. Prof., Dept. of Environment, Yazd University, Yazd, Iran.
4- Mohammad Reza Ghaffarian, Doctoral Degree in Agronomy and Crop Physiology, Yasouj University, Yasouj, Iran.

Received: 15 May 2021
Accepted: 25 Aug 2021

Abstract
Intercropping of forage plants is considered as an effective startegy to achieve optimal yield and increase production in areas with water shortages. A field-based split plot experiment based on a randomized complete block design with three replications was conducted in Ashkezar research farm with the aim of evaluating the intercropping of millet and guar in improving physiological indices and forage yield. Irrigation intervals was considered as the main factor in three levels (irrigation at the time of discharge of 60, 70 and 80% of field capacity) and the cropping system was considered as the sub-factor in three levels (sole cropping of Millet, sole cropping of Guar, and intercropping of Millet and Guar). The intercropping system was implemented as row intercropping pattern with a replacement series design. Results showed that the amount of ionic leakage increased and the relative content of relative water content decreased when irrigation was delayed longer. The highest relative water content for Millet and Guar (70.3 and 78.4%, respectively) were obtained in intercropping system and their lowest relative water content (61.4 and 72.5%, respectively) were obtained in their sole cropping. The highest and lowest chlorophyll indices were observed in irrigation treatments at 60 and 80% of field capacity, respectively. The intercropping of Millet and Guar resulted in increased content of soluble sugar and proline and the highest forage yield compared to their sole culture, in all assessed irrigation intervals. Since intercropping system was shown to cause improved physiological indices of Guar and Millet, the consequent improvement of forage growth and yield could be expected. Overall, it can be concluded that intercropping system of Millet with Guar can significantly reduce the impacts of drought stress and can be considered as an effective management strategy in drought-prone areas.

Keywords: Protein, Proline, forage yield, soluble sugar