Research Article

Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research DOI: 10.22092/IJRFPBGR.2023.361150.1432
Vol. 31, No. 1, Page 52-67 (2023) DOR: 20.1001.1.17350891.1402.31.1.8.9

Identification of superior genotypes tolerant to drought stress in four perennial cool-season grasses using physiological indices

R. Mohammadi[1] and S. Amiri[2*]

1 Assoc. Prof, Branch for Northwest & West region, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tabriz, Iran.
2* Corresponding author, Researcher, Branch for Northwest & West region, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tabriz, Iran.
*Email: salehamiriii@gmail.com

Received: 09.01.2023 Accepted: 03.07.2023

Extended Abstract

Background and objectives:
Grasses are important forage crops, which are used for forage production, pasture establishment, rangeland renovation, and soil conservation. Perennial cold-season grasses have high forage production, are resistant to adverse environmental stress and have broad adaptability in various environments. They are cultivated for various purposes of agriculture and soil protection. The perennial cold-season grasses with relatively deep roots have a long life in suitable conditions. These plants are able to establish and grow with good productivity in poor to moderate soils. The purpose of this research was to identify and select the best genotypes of four perennial cold-season grass species, in terms of physiological response under normal irrigation and drought stress.

Methodology:
In this research, the best genotypes of each species of desert wheatgrass (*Agropyron desertorum),*bromegrass (*Bromus inermis*), cocksfoot *(Dactylis glomerata*) and tall fescue *(Festuca arundinacea)* were selected in previous trials for both seed and forage yield. For each species, three genotypes were evaluated in a field experiment under normal irrigation at 100% and 50% field capacity (FC), using a complete randomized block design with three repetitions in Agriculture and Natural Resources Research of East Azerbaijan in 2021. Drought stress was applied and at the vegetative growing stage, some key physiological traits such as cell membrane stability (CMS), protein content, content of pigments (Chlorophyll and carotenoid) and water potential under both drought stress and control were evaluated .

Results:
The results showed that genotype Fa-G1 in *Festuca arundinacea*, genotype Bi-G3 in *Bromus inermis*, genotype Dg-G1 in *Dactylis glomerata* and genotype Ad-G1 in *Agropyron desertorum* were more tolerant to drought stress compared to other genotypes within species.

Conclusion:
The response of plants to drought stress was different depending on the type of plant. It was suggested that the leaf osmotic potential index could be used as one of the most important physiological indicators in drought stress conditions to identify drought-tolerant genotypes.

Generally, *Agropyron desertorum*, *Bromus inermis*, *Festuca arundinacea*, and *Dactylis glomerata* are the most resistant to drought stress.

Keywords: Cell membrane stability (CMS), content of pigments, drought stress, soil moisture.

شناسایی ژنوتیپ‌های برتر متحمل به تنش خشکی در چهار گونه از گراس‌های سردسیری بر اساس صفات مهم فیزیولوژیکی

رضا محمدی[۱] و صالح امیری[۲*]

۱- دانشیار، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی شمال‌غرب و غرب کشور، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

۲*- نویسنده مسئول مکاتبات، محقق، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی شمال‌غرب و غرب کشور، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. پست‌الکترونیک: salehamiriii@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۱۲

چکیده

سابقه و هدف:

گراس‌ها از مهمترین گیاهان علوفه‌ای هستند که به‌منظور تولید علوفه، احداث چراگاه، احیاء مراتع و حفاظت خاک کاشته می‌شوند. گراس‌های سردسیری چندساله دارای ظرفیت تولید نسبتا بالای علوفه در شرایط نامساعد محیطی هستند و با توجه به سازگاری وسیع آنها برای اهداف مختلف کشاورزی و حفاظت خاک کشت و کار می‌شوند. این گیاهان دائمی با ریشه نسبتاً عمیق در شرایط مناسب عمر طولانی دارند. این گیاهان قادر به استقرار و ادامه حیات در خاک‌های فقیر هستند، اگر حاصلخیزی خاک کافی باشد، محصول خوبی تولید خواهند کرد. هدف از این تحقیق، شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر چهار گونه گراس سردسیری چندساله از نظر پاسخ فیزیولوژیکی در شرایط تنش خشکی است.

مواد و روش‌ها:

در این تحقیق تعداد سه ژنوتیپ از هر یک از گونه‌های فسکیوی بلند (*F. arundinacea*)، علف پشمکی (*B. inermis*)، علف باغ (*D.glomerata*) و علف گندمی بیابانی (*A. desertorum*) که از نظر عملکرد علوفه و بذر و در تنش خشکی رشد بهتری داشتند در آزمایش قبلی انتخاب شده بودند در دو آزمایش تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و آبیاری نرمال (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۱ در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌شرقی کشت شدند. پس از اعمال تنش خشکی در مرحله رشد رویشی، برخی از صفات فیزیولوژیکی همانند شاخص پایداری غشای سلولی، محتوی رنگریزه برگ (کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کارتنوئید)، محتوی پروتئین و ظرفیت اسمزی در شرایط شاهد و تنش خشکی اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها:

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که ژنوتیپ Fa-G1 در فسکیوی بلند، ژنوتیپ Bi-G3 در علف پشمکی، ژنوتیپ Dg-G1 در علف باغ و ژنوتیپ Ad-G1 در علف گندمی بیابانی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های هر یک از این گونه‌ها در برابر تنش خشکی متحمل‌تر بودند.

نتیجه‌گیری:

بر اساس نتایج به‌دست آمده، شاخص ظرفیت اسمزی برگ می‌تواند به عنوان یکی از مهمترین شاخص‌های فیزیولوژیکی در شرایط تنش خشکی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در این گونه‌ها استفاده شود. نتیجه کلی نشان داد که علف گندمی بیابانی، علف پشمکی، فسکیوی بلند و علف باغ به ترتیب مقاوم‌ترین گونه‌ها به تنش خشکی هستند.

واژه‌های کلیدی: پایداری غشای سلولی، رطوبت خاک، گراس‌های سردسیری، محتوی رنگریزه.

مقدمه

بیش از ۸۰ درصد از مساحت کل کشور را منابع طبیعی به خود اختصاص داده است که برابر با ۱۳۶ میلیون هکتار از کل سطح ایران می‌باشد و ۸۴ میلیون هکتار از مساحت کل منابع طبیعی ایران را مراتع تشکیل می‌دهد (Jafari et al., 2007). ایران یکی از مهمترین مناطق تنوع گیاهان علوفه‌ای است و دارای ظرفیت بالقوه‌ای برای توسعه این محصول است. استفاده بهینه از این ظرفیت نیازمند برنامه-ریزی دقیق و مناسب است تا به‌طور مطلوب این تنوع کم‌نظیر را حفظ کرده و مورد بهره‌برداری قرار گیرد. ولی در ایران، به تولید، مدیریت و اصلاح گیاهان علوفه‌ای نسبت به سایر محصولات زراعی اهمیت کمتری داده‌شده است (Mohammadi, 2006). گراس‌ها متعلق به تیره گرامینه هستند. تیره گرامینه با دربرداشتن غلات و سایر گونه‌های اقتصادی مهم مانند نیشکر و سورگوم و گراس‌های علوفه‌ای و چمنی، نقش مهمی در تغذیه جامعه بشری دارد. این تیره شامل ۷۰۰ جنس و ۱۰۰۰۰ گونه است، چهارمین تیره بزرگ گیاهان گل‌دار است که توان سازگاری بالای آنها موجب گستردگی وسیع آنها در تمام کشورها می‌شود (Kellogg, 2001). گراس‌ها در قیاس با سایر گیاهان گل‌دار سازگاری زیادی با شرایط مختلف محیطی دارند. با وجود اینکه گراس‌های علوفه‌ای و چمنی بخش زیادی از این تیره را به خود اختصاص داده‌اند، تعداد کمی از آنها (کمتر از ۵۰ گونه) به‌عنوان چمن و علوفه استفاده می‌شوند. گونه‌های متعلق به جنس‌های *Festuca, Lolium, Agrostis, Bromus, Dactylis* و *Poa* از پرکاربردترین گراس‌ها هستند (Wang et al. 2001). در گیاه علف گندمی پابلند و فسکیوی بلند، Mir و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که صفاتی مانند طول ساقه، عمق توسعه ریشه و سطح برگ به‌خوبی در برابر تنش خشکی مقاومت می‌کنند ولی برای درک دقیق مقاومت ژنوتیپ‌ها در برابر تنش باید صفات فیزیولوژیکی بیشتر مورد ارزیابی قرار گیرند. Scheaffer و همکاران (۱۹۹۲) با بررسی چهار گونه گراس *Phalaris arundinacea*، *Bromus inermis*، *Dactylis glomerata* و *Phleum pretense* دریافتند که در اثر تنش خشکی میزان عملکرد علوفه در این گونه‌ها به ترتیب ۳۳، ۳۷، ۲۴ و ۳۴ درصد در مقایسه با شاهد کاهش می‌یابد و تنش خشکی باعث کاهش ماندگاری *Ph. arundinacea* و *B. inermis* در مقایسه با شاهد شد ولی تأثیری بر ماندگاری *D. glomerata* نداشت. Pornaro و همکاران در سال ۲۰۲۰ مشاهده کردند که در بین ۱۱ واریته گراس (Apple SGL, Azimuth, Barrage, Caddieshack, Double, Double Time, Ecologic, New Orleans, Pizzaz 2, Rainwater, Turfgold) ، واریته New Orleans بیشترین درصد سبزشدگی و ماندگاری را در برابر تنش خشکی در مقایسه با سایر واریته‌ها نشان داد. با توجه به اینکه تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل در کاهش عملکرد محصولات کشاورزی در ایران و جهان است، بررسی راهکارهای مختلف برای افزایش عملکرد و کاهش آسیب به گیاه در این شرایط یکی از اهداف مهم بشر در طول تاریخ بوده است.

متأسفانه ایران هنوز در زمره کشورهای واردکننده علوفه و فراورده‌های دامی است و وقوع خشک‌سالی‌های متناوب و تبعات ناشی از آن (مانند فشار بر مراتع و افزایش شدت تخریب آنها) نیز بر مشکل کمبود علوفه می‌افزاید. برای رفع این مشکل بایستی از یکسو انگیزه‌های لازم را برای سرمایه-گذاری در بخش تولید علوفه زراعی و حفظ و احیا مراتع تقویت نمود و از سوی دیگر با انجام تحقیقات و پژوهش‌های منسجم، مشکلات فنی و علمی را در این زمینه مرتفع کرد. در این مسیر استفاده از گیاهان دارای منابع ژنی سازگار و متحمل به شرایط مختلف محیطی و بهره‌گیری از تنوع ژنتیکی وسیع آنها به‌منظور اصلاح ارقام مناسب از نظر کمیت و کیفیت علوفه زراعی و مرتعی یکی از مهمترین راهکارهاست. گراس‌ها به دلیل خوش‌خوراک بودن و کیفیت علوفه‌ای مطلوب ارزش غذایی بالای دارند و گراس‌های علوفه‌ای به شرایط خشک و کمبود آب متحمل‌تر هستند (Rastegar, 2007; Saburi Azar et al., 2021).

در این تحقیق، به دلیل اینکه گراس‌های سردسیری

چندساله دارای ویژگی‌های مناسبی هستند، می‌توانند گزینه مناسبی برای احیای پوشش گیاهی مراتع کشور و احداث چراگاه‌های مصنوعی برای تأمین علوفه و پوشش و حفاظت از خاک باشند. گراس‌های سردسیری چندساله دارای محصول علوفه زیاد، مقاوم به شرایط نامساعد محیطی و با سازگاری وسیع هستند که برای اهداف مختلف کشاورزی و حفاظت خاک کشت و کار می‌شوند. این گیاهان دائمی با ریشه نسبتاً عمیق در شرایط مناسب عمر طولانی دارند. این گیاهان قادر به استقرار و ادامه حیات در خاک‌های فقیر هستند، اگر حاصلخیزی خاک کافی باشد، محصول خوبی تولید خواهند کرد (Almasouri et al., 2001). این مطالعه با هدف شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر چهار گونه گراس سردسیری چندساله شامل گونه‌های علف گندمی بیابانی (*Agropyron desertorum*)، علف پشمکی (*Bromus inermis*)، علف باغ (*Dactylis glomerata*) و فسکیوی بلند (*Festuca arundinacea*) از نظر پاسخ فیزیولوژیکی در شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق تعداد سه ژنوتیپ از هر یک از گونه‌های فسکیوی بلند (*F. arundinacea*)، علف پشمکی (*B. inermis*)، علف باغ (*D. glomerata*) و علف گندمی بیابانی (*A. desertorum*) که از نظر عملکرد علوفه و بذر و در تنش خشکی رشد بهتری داشتند، برای ارزیابی پاسخ فیزیولوژیکی در شرایط تنش خشکی انتخاب شدند (شکل ۱ و ۲). فهرست ژنوتیپ‌های منتخب از گونه‌های مورد مطالعه و محل جمع آوری آنها و کد توده اولیه در جدول ۱ آورده شده است.

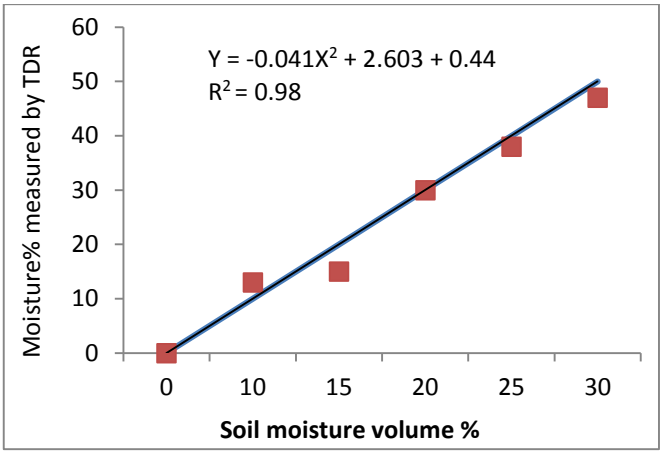
آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌شرقی در تابستان سال ۱۴۰۱ در سه تکرار در خاک با بافت لومی- رسی اجرا شد. گیاهان کشت‌شده به‌صورت نشاء تحت تأثیر تیمارهای رطوبتی شامل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش خشکی) قرار گرفتند. تأمین رطوبت خاک به‌وسیله آبیاری غرقابی در هر کرت و اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک در طول دوره رشد با دستگاه بازتاب زمانی امواج TDR (Time Domain Reflectometry) انجام شد. بدین منظور، نمونه‌گیری از خاک محل آزمایش از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر انجام شد. برای اعمال مدت زمان و تعداد آبیاری غرقابی در هر کرت قبل از شروع آزمایش، دستگاه TDR نسبت به شرایط محل آزمایش کالیبره شد و منحنی رطوبت حجمی خاک رسم گردید (شکل ۳). مدت زمان آبیاری در هرماه دو بار برای شاهد و یکبار برای تنش خشکی اعمال شد. پس از اعمال تنش خشکی در مرحله رشد رویشی، صفات فیزیولوژیکی مانند شاخص پایداری غشای سلول، میزان کلروفیل، میزان کارتنوئید، محتوی پروتئین و ظرفیت اسمزی در شرایط شاهد و خشکی اندازه‌گیری شدند.

شکل ۱- استقرار ۲۰ ژنوتیپ منتخب گونه‌های فسکیوی بلند (*F. arundinacea*)، علف پشمکی (*B. inermis*)، علف باغ (*D. glomerata*) و علف گندمی بیابانی (*A. desertorum*) در شرایط شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) در تبریز

Figure 1- Field establishment of 20 selected genotypes of tall fescue (*F. arundinacea*), *bromegrass (Bromus inermis)*, cocksfoot *(D. glomerata*) and desert wheatgrass *(A. desertorum*) grown in control conditions (100% field capacity) in Tabriz, Iran

شکل ۲- استقرار ۲۰ ژنوتیپ منتخب گونه‌های فسکیوی بلند (*F. arundinacea*)، علف پشمکی (*B. inermis*)، علف باغ (*D. glomerata*) و علف گندمی بیابانی (*A. desertorum*) در شرایط تنش خشکی (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در تبریز

Figure 2- Field establishment of 20 selected genotypes of tall fescue (*F. arundinacea*), *bromegrass (Bromus inermis)*, cocksfoot *(D. glomerata*) and desert wheatgrass *(A. desertorum*) grown in Drought stress (50% field capacity) in Tabriz, Iran



شکل ۳- نمودار شیب‌خط داده‌های رطوبت حجمی خاک و رطوبت قرائت‌شده توسط دستگاه **TDR**

Figure 3. The gradient line of the soil moisture content and soil moisture measured by the TDR

اندازه‌گیری شاخص پایداری غشای سلولی

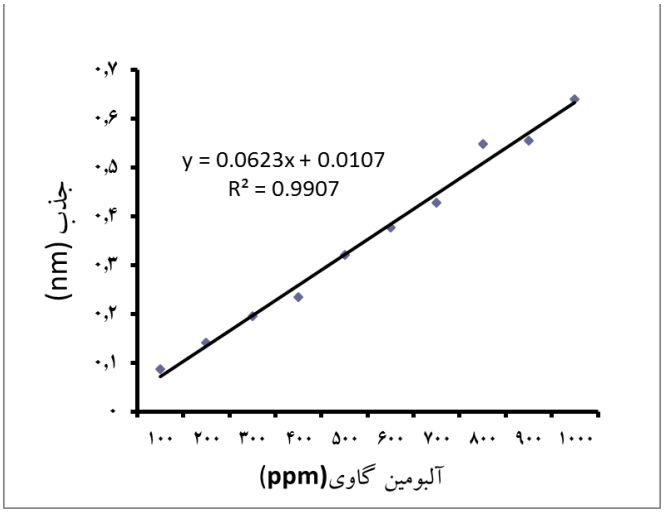
تعداد ۵ برگ کامل و توسعه‌یافته از هر بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و به‌منظور ارزیابی شاخص پایداری غشای سلولی به آزمایشگاه منتقل شدند. ابتدا ۱۰ میلی‌گرم از نمونه‌های برگی با استفاده از آب مقطر شسته و در داخل لوله‌های پلاستیکی قرار داده شدند و به آنها ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و با استفاده از EC متر، هدایت الکتریکی اولیه آنها (EC1) تعیین شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در اتوکلاو در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و بعد از رسیدن دمای آنها به ۲۵ درجه سانتی‌گراد، هدایت الکتریکی ثانویه (EC2) اندازه‌گیری شد. درنهایت، شاخص پایداری غشای سلولی با استفاده از رابطه زیر تعیین شد (Sairam et al., 2002).

$$MSI\% = [EC1 / EC2] \times 100$$

اندازه‌گیری محتوی پروتئین محلول برگ

برای اندازه‌گیری پروتئین محلول به روش Bradford (۱۹۷۶)، ۰/۰۵ گرم از نمونه فریز درایر شده را در ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات در یک بستر یخی، هموژن نموده و در دمای ۲ تا ۴ درجه به مدت ۴۰ دقیقه با ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید. برای اندازه‌گیری غلظت پروتئین‌های محلول، ۰/۲ میلی‌لیتر محلول روشناور را برداشته و ۵ میلی‌لیتر معرف تماسی به آن اضافه کردیم. بعد از طی

مراحل ذکرشده، میزان جذب نور نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV visible مدل Perkin Elmer Lambda 35 در طول‌موج ۵۹۵ تعیین شد. برای تهیه منحنی استاندارد محلول‌هایی از آلبومین گاوی با غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۱۰۰۰ p.p.m تهیه شد (شکل ۴).



شکل ۴- منحنی استاندارد پروتئین محلول کل
Figure 4- Standard curve of total soluble protein

اندازه‌گیری ظرفیت اسمزی برگ

برای اندازه‌گیری ظرفیت اسمزی، در همان زمان از دستگاه اسمومتر مدل Vapro 5600 استفاده شد. برگ کامل هر بوته برای اندازه‌گیری این شاخص استفاده گردید. به‌منظور عصاره‌گیری از نمونه‌ها، بعد از له کردن نمونه‌ها و سانتریفوژ کردن نمونه‌ها عصاره به دست آمده بر روی دیسک‌های کاغذی استاندارد دستگاه اسمومتر قرار داده شد، تا دستگاه مقدار مول بر لیتر اسمولایت را مشخص کند (Vosough-Ghanbari *et al.*, 2008) و مقدار ظرفیت اسمزی برگ محاسبه شود.

$$\Psi s = - M (mmol\ kg\text{-}1) \times 2.58 \times 10\text{-}3$$

در این رابطه، M مولاریته محلول (قرائت‌شده از دستگاه) و Ψs ظرفیت اسمزی برحسب مگاپاسکال است.

اندازه‌گیری محتوی کلروفیل a، b و کاروتنوئید

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید به ترتیب از روش آرنون (Arnon, 1949) و ریچتنتالر و ولبرن (Lichtenthaler and Wellburn, 1983) با استفاده از استن ۸۰ درصد استفاده شد. غلظت رنگیزه‌های کلروفیل a (Chl. a)، کلروفیل b (Chl. b)، کلروفیل کل (Chl. total)، کارتنوئیدها (CX+C) و نسبت کلروفیل a/b با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه گردید (Arnon, 1949; Lichtenthaler and Wellburn. 1983).

Chl. a (chlorophyll a) =11.75A663-2.350A645

Chl. b (chlorophyll b) =18.61A645- 3.960A663

Chl, total = Chla + Chlb

Carotinoids content = (1000A470-2.270 Chla – 81.4 Chlb)/227

محاسبات آماری

تجزیه‌های آماری و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطوح احتمال یک و پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد. برای ترسیم نمودار و منحنی‌ها از نرم‌افزار Excel ۲۰۰۰ استفاده شد.

جدول ۱- فهرست ژنوتیپ‌های منتخب از گونه‌های *A. desertorum*، *B. inermis*، *D. glomerata* و *F. arundinacea* و محل جمع‌آوری آنها و کد توده اولیه

Table 1: List of studied genotypes of *A. desertorum, B. inermis, D. glomerata and F. arundinacea* and tiher origin and accession code

Row	Species name	Genotype code	Accession code	Place of seed collection
1	*A. desertorum*	A.des-G1	1000.188	Damavand Rangeland Research Station, Iran
2		A.des-G2	1000.188	Damavand Rangeland Research Station, Iran
3		A.des-G3	1000.11	Fozveh seed bank, Isfahan, Iran
4	*B. inermis*	B.in-G1	2000.40	Vardasht Heidarabad, Semirom, Isfahan, Iran
5		B.in-G2	2000.25	Fozveh seed bank, Isfahan, Iran
6		B.in-G3	2000.25	Fozveh seed bank, Isfahan, Iran
7	*D. glomerata*	D.gl-G1	4000.26	Fozveh seed bank, Isfahan, Iran
8		D.gl-G2	4000.24	Fozveh seed bank, Isfahan, Iran
9		D.gl-G3	4000.2	Fozveh seed bank, Isfahan, Iran
10	*F. arundinacea*	F.ar-G1	6000. L7	Semirom, Isfahan, Iran
11		F.ar-G2	6000.39-4	Yazdabad, Isfahan, Iran
12		F.ar-G3	6000.L7	Semirom, Isfahan, Iran

نتایج

ارزیابی صفات فیزیولوژیکی در گونه فسکیوی بلند (*F. arundinacea*)

نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی مورد مطالعه در این پژوهش نشان داد که شاخص پایداری غشای سلولی، ظرفیت اسمزی، کلروفیل a، کلروفیل b، نسبت کلروفیل a/b، محتوی کلروفیل کل و محتوی کاروتنوئید در فسکیوی بلند به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار تنش خشکی قرار گرفتند (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در اثر اعمال تنش خشکی، شاخص پایداری غشای سلولی، ظرفیت اسمزی، محتوی پروتئین، کلروفیل a، کلروفیل b و نسبت کلروفیل a/b، محتوی کلروفیل کل در فسکیوی بلند کاهش نشان داده است، ولی میزان محتوی کاروتنوئید افزایش یافته است. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که ژنوتیپ Fa-G1 در مقایسه با ژنوتیپ‌های Fa-G2 و Fa-G3، بیشترین میزان شاخص پایداری غشای سلولی (۲۰/۱۳ درصد)، ظرفیت اسمزی (۴/۸۵- مگا پاسکال)، محتوی پروتئین محلول در برگ (۸۹/۷۵ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه)، کلروفیل a (۱/۸ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه)، کلروفیل b (۲/۹۳ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه)، کلروفیل کل (۴/۷۳ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه) و کارتنوئید (۱۹/۰۳ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه) را داشت و ژنوتیپ‌های Fa-G2 و Fa-G3 کمترین میزان این صفات را داشتند (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های منتخب گیاه فسکیوی بلند (*F. arundinacea*) در تیمار تنش خشکی
Table 2: Analysis of variance (MS) for physiological traits of *F. arundinacea* under drought stress

Sources	DF	MS							
		CMS index	Osmotic potential	Protein content	Chl. a	Chl. b	Chl . a/b	Total Chl.	Carotenoid
Replication	2	12.230	0.211	237.35	0.01	0.051	0.057	0.200	0.22
Drought (D)	1	13.441**	5.144**	247.09**	3.00**	0.460**	5.802**	0.096*	208.34*
Error a	2	0.056	0.190	196.835	0.007	0.006	0.001	0.055	0.461
Genotype(G)	2	446.79**	0.035**	1858.79**	0.28**	0.224**	0.798*	0.406**	3.60*
D x G	2	393.16*	2.091**	2581.75**	1.90**	0.248**	3.441	0.744**	70.23**
Error b	8	30.37	0.079	549.89	0.006	0.018	0.014	0.076	0.668
CV%	-	18.0	7.1	17.4	8.7	9.6	5.0	17.1	8.37

CMS=cell membrane stability Chl. = Chlorophyll

*, ** are, respectively significant at 5 and 1 % probability levels * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌ها در گونه فسکیوی بلند (*F. arundinacea*) تحت تیمار تنش خشکی
Table 3: Mean comparison of physiological traits of *F. arundinacea* genotypes under drought stress

Treatment	Genotype	CMS# Index %	Osmotic Potential MPa	Content Protein mg/gFW	Chl. a mg/gFW	Chl. b mg/gFW	Chl. a/b mg/gFW	Total Chl. mg/gFW	Carotenoid mg/gFW
Control		34.13 a	-3.72 b	80.46 a	2.63 a	1.89 a	3.98 a	4.53 a	8.88 b
Drought		12.61 b	-4.41 a	67.73 b	1.48 b	1.70 b	2.55 b	3.27 b	17.01 a
Control	Fa-G1	35.07 c	-3.65 a	90.75 a	3.63 a	2.21 a	4.83 a	5.84 a	9.46 a
	Fa-G2	38.16 b	-3.99 b	80.17 b	2.17 b	1.93 b	3.3 b 4	4.10 b	8.41 b
	Fa-G3	29.18 a	-3.52 c	70.45 b	2.10 b	1.55 b	3.81 b	3.65 b	8.76 b
Drought	Fa-G1	20.13 c	-4.85 a	75.89 a	1.80 a	2.93 a	3.22 a	4.73 a	19.03 a
	Fa-G2	8.54 b	-4.35 b	64.10 b	1.13 b	1.16 b	2.23 b	2.29 b	17.01 b
	Fa-G3	9.18 a	-4.02 c	63.21 b	1.52 b	1.28 b	2.23 b	2.80 b	15.00 b

CMS=cell membrane stability Chl. = Chlorophyll

Means with the same letters are not significantly different ($p< 0.05$) حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ است.

ارزیابی صفات فیزیولوژیکی در گونه علف پشمکی (*B. inermis*)

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات شاخص پایداری غشای سلولی، ظرفیت اسمزی و محتوی پروتئین محلول در برگ نشان داد که اثر تنش خشکی در گونه علف پشمکی در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر تنش خشکی بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b، نسبت کلروفیل a/b، محتوی کلروفیل کل و محتوی کاروتنوئید در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج نشان داد که غلظت محتوی پروتئین کلروفیل‌ها در تیمار تنش خشکی به‌صورت معنی‌داری کمتر بود. نتایج تحلیل آماری نشان داد که بین سه ژنوتیپ Bi-G1، Bi-G2 و Bi-G3 گیاه علف پشمکی در بین صفات مهم فیزیولوژی مورد مطالعه در این تحقیق اختلاف معنی‌داری وجود دارد. به‌طوری‌که به ترتیب ژنوتیپ Bi-G3، Bi-G2 و Bi-G1 در برابر تنش خشکی به احتمال قوی متحمل‌تر هستند و ژنوتیپ Bi-G3 از نظر پایداری غشای سلولی، محتوی پروتئین محلول در برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، نسبت کلروفیل a/b، محتوی کلروفیل کل و

محتوی کاروتنوئید در مقایسه با دو ژنوتیپ دیگر بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داد. در میان این ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ Bi-G1 کمترین میزان پایداری غشای سلولی (۷/۴۴ درصد)، محتوی پروتئین (۴۰/۹۸ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه)، محتوی کلروفیل a (۱/۱۶ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه)، کلروفیل b (۰/۵۶ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه)، محتوی کلروفیل کل (۱/۲۲ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه) و محتوی کاروتنوئید (۱۶/۸۹ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه) در مقایسه با ژنوتیپ Bi-G3 پایداری غشای سلولی (۱۰/۱۵ درصد)، محتوی پروتئین (۵۵/۷۸ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه)، محتوی کلروفیل a (۱/۷۸ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه)، کلروفیل b (۰/۸۵ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه)، محتوی کلروفیل کل (۲/۷۳ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه) و محتوی کاروتنوئید (۱۸/۳۶ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه) را داشت. از نظر شاخص مقاومت به خشکی ژنوتیپ Bi-G3 در گروه ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی قرار می‌گیرد و ژنوتیپ Bi-G1 با کمترین مقادیر پایداری غشای سلولی و کمترین قدر مطلق ظرفیت اسمزی در اثر تنش خشکی، در بین ژنوتیپ غیر متحمل به خشکی جای دارد (جدول ۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های منتخب در گونه علف پشمکی (*B. inermis*) تحت تیمار تنش خشکی
Table 4: Analysis of variance (MS) for physiological traits of *B. inermis* under drought stress

Sources	DF	MS							
		CMS index	Osmotic potential	Protein content	Chl. a	Chl. b	Chl. a/b	Total Chl.	Carotenoid
Replication	2	1.04	0.137	155.76	0.02	0.05	0.05	0.03	0.37
Drought (D)	1	1860.0**	3.19**	4707.64**	5.87*	2.12*	15.01*	0.34*	234.7*
Error a	2	0.61	0.015	557.09	0.04	0.001	0.04	0.02	1.1
Genotype(G)	2	334.41**	1.14*	3511.1**	0.04	0.04	0.12	0.16**	5.35 **
D x G	2	445.71	0.21**	3323.7**	0.33**	0.06	0.70	0.02*	12.59*
Error b	8	0.48	0.177	122.57	0.04	0.011	0.078	0.030	1.865
CV%	-	4.17	12.02	10.57	9.73	10.54	9.06	8.24	9.23

CMS=cell membrane stability Chl. = Chlorophyll

*, ** are, respectively significant at 5 and 1 % probability levels * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۵- مقایسه میانگین برخی از صفات فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌ها در گونه علف پشمکی (*B. inermis*) تحت تیمار تنش خشکی
Table 5: Mean comparison of physiological traits of *B. inermis* genotypes under drought stress

Treatment	Genotype	CMS Index %	Osmotic Potential MPa	Content Protein mg/gFW	Chl. a mg/gFW	Chl. b mg/gFW	Chl. a/b mg/gFW	Total Chl. mg/gFW	Carotenoid mg/gFW
Control		70.14a	-3.07b	120.91a	2.64a	1.35a	1.96a	3.99a	11.57b
Drought		35.74b	-3.92a	50.70b	1.50b	0.67b	2.24b	2.17 b	17.70a
Control	Bi-G1	30.84a	-3.68c	119.14c	2.78c	1.42c	1.96c	4.20c	8.59c
	Bi-G2	16.34b	-2.85b	120.46b	2.69b	1.48b	1.82b	4.17b	12.06b
	Bi-G3	18.58c	-2.70a	123.11a	2.25a	1.16a	2.11a	3.41a	13.76a
Drought	Bi-G1	7.44c	-4.30c	40.98c	1.16c	0.56c	2.10c	2.22 c	16.89c
	Bi-G2	8.76b	-3.47b	55.36b	1.57b	0.73b	2.15b	2.30 b	17.96b
	Bi-G3	10.05a	-3.97a	55.78a	1.78a	0.85a	2.50a	2.73a	18.36a

CMS=cell membrane stability Chl. = Chlorophyll

Means with the same letters are not significantly different ($p< 0.05$) حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ است.

ارزیابی صفات فیزیولوژیکی در گونه علف باغ (*D. glomerata*)

بر اساس جدول ۶ تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات شاخص پایداری غشای سلولی، ظرفیت اسمزی، محتوی پروتئین، کلروفیل a، کلروفیل b، نسبت کلروفیل a/b و کلروفیل کل نشان داد که اثر تنش خشکی و اثرهای متقابل ژنوتیپ × تنش خشکی در گونه علف باغ در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بود ولی کارتنوئید معنی‌دار نبود. با اعمال تنش خشکی شاخص پایداری غشای سلولی، محتوی پروتئین و محتوی کلروفیل کل در مقایسه با شاهد کاهش یافت ولی ظرفیت اسمزی به سمت منفی افزایش یافت. ژنوتیپ Dg-G1 داری بیشترین شاخص پایداری غشای سلولی (۱۵/۱۶ درصد)، ظرفیت اسمزی (۴/۴۶- مگا پاسکال)، کلروفیل a (۲/۵۰ میلی-گرم در گرم ماده خشک گیاه)، کلروفیل b (۱/۸۰ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه)، کلروفیل کل (۲/۹۰ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه) و محتوی کارتنوئید (۲۱/۳۵ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه) در مقایسه با سایر ژنوتیپ Dg-G2 و Dg-G3 بود (جدول ۷).

جدول ۶- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های منتخب گونه علف باغ (*D. glomerata*) تحت تنش خشکی

Table 6: Mean comparison for physiological traits of *D. glomerata* genotypes under drought stress

Sources	DF	MS							
		CMS index	Osmotic potential	Protein content	Chl.a	Chl.b	Chl. a/b	Total Chl.	Carotenoid
Replication	2	3.92	0.10	347.57	0.08	0.06 *	0.34	0.04	11.18 *
Drought (D)	1	2175.09*	6.72**	620.80*	0.51	0.36**	1.55	0.06	0.01
Error a	2	2.25	0.021	112.09	0.140	0.021	0.190	0.221	1.51
Genotype (G)	2	323.02**	0.13**	12339.6**	5.89**	5.65**	26.16**	1.77**	15.28**
D x G	2	170.28**	0.28*	7566.51*	1.55**	0.44**	2.54	0.06**	6.22
Error b	8	4.65	0.195	105.00	0.039	0.012	0.078	0.034	1.74

CMS=cell membrane stability Chl. = Chlorophyll

*, ** are, respectively significant at 5 and 1 % probability levels * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۷- مقایسه میانگین برخی از صفات فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های گونه علف باغ (*D. glomerata*) تحت تیمار تنش خشکی

Table 7: Mean comparison for physiological traits of *D. glomerata* genotypes under drought stress

Treatment	Genotype	CMS Index %	Osmotic Potential MPa	Content Protein mg/gFW	Chl. a mg/gFW	Chl. b mg/gFW	Chl. a/b mg/gFW	Total Chl. mg/gFW	Carotenoid mg/gFW
Control		35.73a	-2.60b	99.59a	2.46a	1.11a	3.07a	3.58a	15.52b
Drought		12.76b	-4.11a	70.14b	1.78b	1.07b	3.00b	2.23b	18.07a
Control	Dg-G1	41.13a	-2.81a	96.55a	4.00a	1.90a	4.72a	5.90a	17.11a
	Dg-G2	30.87b	-2.90b	81.38b	1.63b	0.65 b	2.07b	2.28b	17.70a
	Dg-G3	35.20b	-2.10b	120.85b	1.77b	0.80b	2.43b	2.57b	11.73b
Drought	Dg-G1	15.16a	-4.46a	39.85c	2.50a	1.80a	4.82a	2.90a	21.35a
	Dg-G2	10.66c	-3.73b	75.02 b	1.24b	0.54b	1.79b	1.78b	12.90c
	Dg-G3	12.47b	-4.15b	95.54a	1.61b	0.78b	2.39b	1.39b	19.85b

CMS=cell membrane stability Chl. = Chlorophyll

Means with the same letters are not significantly different ($p< 0.05$) حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ است.

ارزیابی صفات فیزیولوژیکی در گونه علف گندمی بیابانی (*A. desertorum*)

داده‌های مندرج در جدول ۸ نشان داد که تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات شاخص پایداری غشای سلولی، ظرفیت اسمزی، محتوی پروتئین محلول، کلروفیل a، کلروفیل b، نسبت کلروفیل a/b، محتوی کلروفیل کل و محتوی کاروتنوئید در برگ نشان داد که اثر تنش خشکی در گونه علف گندمی بیابانی در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار هستند. در اثر ژنوتیپ و اثرهای متقابل تمامی صفات به‌جز ظرفیت اسمزی معنی‌دار می‌باشند. نتایج نشان داد که محتوی شاخص پایداری غشای سلولی، ظرفیت اسمزی، محتوی پروتئین، کلروفیل a، کلروفیل b، نسبت کلروفیل a/b و محتوی کلروفیل کل در تیمار تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌صورت معنی‌داری کمتر از عدم تنش خشکی با ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد) بود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس میزان کارتنوئید در این تحقیق نشان داد که غلظت کارتنوئید در تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌صورت معنی-داری بیشتر از عدم تنش خشکی با ۱۰۰درصد ظرفیت زراعی (شاهد) بود (Mittler, 2002). نتایج تحلیل آماری نشان داد که بین سه ژنوتیپ Ad-G1، Ad-G2 و Ad-G3 گیاه علف گندمی بلند (جدول ۸) اختلاف معنی‌داری وجود دارد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که شاخص پایداری غشای سلولی در ژنوتیپ Ad-G1 در تیمار مورد بررسی بیشترین میزان را دارد و در مقابل ژنوتیپ Ad-G3 کمترین مقادیر این صفات را بین ژنوتیپ‌ها به خود اختصاص داد. در میان ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ Ad-G1 بیشترین میزان شاخص پایداری غشای سلولی (۴۵ درصد)، ظرفیت اسمزی (۵/۸۵- مگا پاسکال)، محتوی پروتئین (۷۲/۱۲ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه)، کلروفیل a (۱/۰۱ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه)، کلروفیل b (۰/۵ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه)، محتوی کلروفیل کل (۱/۵۶ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه) و محتوی کاروتنوئید (۲۲/۰۵ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه) را در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها دارد. از نظر شاخص مقاومت به خشکی ژنوتیپ Ad-G1 در گروه ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی قرار می‌گیرد. بنابراین ژنوتیپ Ad-G3 با کمترین مقادیر پایداری غشای سلولی و سایر صفات مورد مطالعه در این پژوهش، در بین ژنوتیپ-های غیر متحمل به خشکی جای دارد (جدول ۹).

جدول ۸- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های گونه علف گندمی بیابانی (*A. desertorum*) تحت تیمار تنش خشکی

Table 8: Mean comparison of physiological traits of *A. desertorum* genotypes under drought stress

Sources	DF	MS							
		CMS index	Osmotic potential	Protein content	Chl. a	Chl. b	Chl. a/b	Total Chl.	Carotenoid
Replication	2	0.05	0.33	446.44	0.02	0.01	0.10	0.04	1.37
Drought (D)	1	528.45**	52.21**	36656.4**	20.06**	3.58**	40.49**	0.01	823.20**
Error a	2	0.82	0.13	335.29	0.01	0.01	0.01	0.02	4.27
Genotype (G)	2	173.32**	0.07	7182.2*	0.35*	0.08*	0.55*	0.05	37.34*
D xG	2	190.15**	0.21*	6999.3*	0.31*	0.10*	0.78*	0.13	37.48*
Error b	8	4.60	0.027	72.59	0129	0.007	0.112	0.034	1.43
CV%		6.94	4.9	27.61	13.08	16.81	12.31	9.83	16.39

CMS=cell membrane stability Chl. = Chlorophyll

*, ** are, respectively significant at 5 and 1 % probability levels * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۹- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های گونه علف گندمی بیابانی (*A. desertorum*) تحت تیمار تنش خشکی

Table 9: Mean comparison for physiological traits of *A. desertorum* genotypes under drought stress

Treatment	Genotype	CMS Index %	Osmotic Potential MPa	Content Protein mg/gFW	Chl. a mg/gFW	Chl. b mg/gFW	Chl. a/b mg/gFW	Total Chl. mg/gFW	Carotenoid mg/gFW
Control		49.69a	-4.82b	90.92a	2.95a	0.58a	2.36a	4.25a	10.27b
Drought		30.75b	-5.79a	63.76b	0.84b	0.36b	2.34 a	1.25b	16.34a
Control	Ad-G1	68.12a	-4.78a	107.56a	3.25a	1.34a	2.36a	4.63a	12.00a
	Ad-G2	40.11b	-4.02b	84.69b	2.49b	1.02b	2.50b	3.64b	10.53b
	Ad-G3	35.85b	-4.44b	80.70c	3.12c	1.38c	2.28c	4.50c	8.08c
Drought	Ad-G1	45.00a	-5.85a	72.12a	1.07a	0.50a	2.62a	1.56a	22.05a
	Ad-G2	23.27b	-5.19b	60.77b	0.87b	0.38b	2.28b	1.39b	15.56b
	Ad-G3	23.99b	-5.01b	58.40c	0.59c	0.22c	2.13c	0.81c	11.42c

CMS=cell membrane stability Chl. = Chlorophyll

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ است. Means with the same letters are not significantly different ($p< 0.05$)

بحث

شاخص‌های فیزیولوژیک به‌منظور مطالعه میزان تحمل به خشکی و اطلاع در مورد نحوه کنترل ژنتیکی این صفات از جنبه‌های مهم اصلاح تحمل به خشکی در گیاهان محسوب می‌شوند (Pirnajmedin et al., 2015). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان پایداری غشای سلولی به ترتیب در علف پشمکی، علف گندمی بیابانی، علف باغ و فسکیوی بلند در شرایط نرمال در مقایسه با تنش خشکی مشاهده شد و این کاهش پایداری غشای سلولی در اثر تنش خشکی است (Pirnajmedin et al., 2015). در این تحقیق ژنوتیپ Fa-G3 در گونه فسکیوی بلند (*F. arundinacea*)، ژنوتیپ Bi-G3 در گونه علف پشمکی (*B. inermis*)، ژنوتیپ Dg-G1 در گونه علف باغ (*D. glomerata*) و ژنوتیپ Ad–G1 در گونه علف گندمی بیابانی (*A. desertorum*) به علت بالا بودن شاخص پایداری غشای سلولی نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها درون گونه مقاومت خوبی به تنش خشکی نشان دادند. طبق مطالعات گذشته، بیشترین میزان نشت الکترولیت غشای سلول برگی در پایین‌ترین سطح آبیاری (بالاترین نیروی مکش خاک) اتفاق می‌افتد. گونه علف پشمکی به دلیل نشت یونی کمتر، توانایی بیشتری در حفظ ساختار غشای سلولی داشت. درواقع، پایداری غشای سلولی معیاری برای تشخیص گیاهان متحمل به خشکی است (Liu et al., 2004; Pirnajmedin et al., 2022). همانطورکه در جدول‌های ۳، ۵ ، ۷ و ۹ مشاهده می‌شود، میزان پروتئین در هر چهار گونه در اثر اعمال تنش خشکی در مقایسه با شاهد به میزان قابل توجهی کاهش نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که تنش خشکی غلظت پروتئین محلول برگ را در کلیه ژنوتیپ‌ها کاهش می‌دهد. این کاهش را می‌توان به کاهش سنتز پروتئین در شرایط تنش خشکی یا تجزیه پروتئین به علت افزایش فعالیت آنزیم پروتئاز نسبت داد (Fang and Xiong, 2015; Pirnajmedin et al., 2022). یکی از مناسب‌ترین روش‌های تعیین مقدار آب در بافت‌های گیاهی، تعیین ظرفیت اسمزی در داخل بافت گیاه است. به دنبال کاهش میزان پایداری غشای سلولی و تغلیظ مواد درون‌یاخته‌ای در اثر اعمال تنش خشکی، میزان قدر مطلق ظرفیت اسمزی برگ به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت (Ajithkumar and Panneerselvam, 2014). اثر تنش خشکی بر میزان قدر مطلق ظرفیت اسمزی در سطح

احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. به‌طورکلی نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که علف گندمی بیابانی (*A. desertorum*) در مقایسه با سایر گونه‌ها، منفی‌ترین ظرفیت اسمزی را نشان داد که بیانگر مقاومت خوب این‌گونه در برابر تنش خشکی می‌باشد. به نظر می‌رسد که این گونه توانایی مناسبی برای حفظ آب خود در شرایط تنش خشکی دارد. ازاین‌رو، این گونه‌ها در گروه گونه‌های متحمل به خشکی قرار می‌گیرند.

میزان کلروفیل ویژگی مهمی است برای فهم چگونگی پاسخ گیاه به محیطی که گیاه در آن قرار دارد. درواقع دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش ازجمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است (Ajithkumar and Panneerselvam, 2014). در این پژوهش اثر تنش خشکی بر میزان رنگریزه‌ها ازجمله کلروفیل a، کلروفیل b و محتوی کاروتنوئید در تمام ژنوتیپ‌های مورد بررسی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که غلظت این رنگریزه‌ها در مقایسه با شاهد کاهش می‌یابد. یکی از دلایل کاهش کلروفیل طی تنش خشکی را می‌توان این گونه بیان کرد که تنش خشکی از یکسو منجر به تولید گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود که این نیز خود باعث تجزیه و درنتیجه کاهش رنگ‌دانه‌ها می‌شود (Mittler, 2002). در اثر تنش خشکی میزان کلروفیل فسکیوی بلند به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. احتمالاً دلیل کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش خشکی، افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن باشد که این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون و درنتیجه تجزیه این رنگیزه می‌شود (Mittler, 2002). افزایش محتوی رنگ‌دانه کارتنوئید در گیاهان تحت تأثیر تنش خشکی، میزان رادیکال‌های آزاد اکسیژن در اثر تنش خشکی را کاهش می‌دهد. اگر دیواره سلولی در اثر تنش آسیب ببیند نشت یونی الکترولیت‌ها از زیاد شدن گیاه دچار آسیب می‌شود. در این مطالعه نتایج بیانگر اختلاف بین گیاهان است که این تنوع به دلیل سازوکارهای سازگاری مختلف در بین گونه‌های مختلف می‌باشد که با نتایج یافته‌های ما مطابقت دارد. نتایج مطالعات ما نشان داد که پاسخ گونه‌های مختلف چمنی به تنش متفاوت‌تر است، به‌طوری‌که گونه (*A.desertorum*) در مقایسه با سایر گونه‌های مطالعه کمتر تحت تأثیر تنش قرار گرفت که نتایج ما نشان داد تنش متوسط ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تأثیر معنی‌داری بر روی صفات مورد مطالعه داشت که با یافته‌های Mustafa و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت داشت. به‌طورکلی نوع واکنش مشاهده‌شده در گیاه در پاسخ به تنش خشکی بسیار پیچیده است و به طول مدت و شدت تنش خشکی، زمان و نوع تنش، فراوانی و نوع تنش، نوع گیاه، مرحله رشد و نمو گیاه، خصوصیات ذاتی خاک و عوامل ایجادکننده تنش وابسته است (Farooq et al., 2009). صفات مرتبط با تحمل به تنش خشکی بسیار پیچیده و با کنترل چندژنی هستند و برهم‌کنش‌های شدید بین مکان‌های ژنی و بین محیط ژنتیک و محیط برای آنها وجود دارد (Senapati et al., 2019).

نتیجه‌گیری کلی

مقایسه میانگین صفات مورد اندازه‌گیری شده، نشان داد که ژنوتیپ Fa-G1 در گونه فسکیوی بلند، ژنوتیپ Bi-G3 در گونه علف پشمکی، ژنوتیپ Dg-G1 در گونه علف باغ و ژنوتیپ Ad-G1 در گونه علف گندمی بیابانی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها در برابر تنش خشکی متحمل‌تر بودند. همچنین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده شاخص ظرفیت اسمزی برگ می‌تواند به‌عنوان یکی از مهمترین شاخص‌های فیزیولوژیکی در شرایط تنش خشکی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در این گونه‌ها استفاده شود. نتایج کلی نشان می‌دهد که علف‌گندمی بیابانی، علف پشمکی، فسکیوی بلند و علف باغ به ترتیب مقاوم‌ترین گونه به تنش خشکی هستند.

منابع مورد استفاده

– Ajithkumar, I.P. and Panneerselvam, R., 2014. ROS scavenging system, osmotic maintenance, pigment and growth status of *Panicum sumatrense* Roth. Under drought stress. Cell Biochemistry and Biophysics, 68(3): 587-595.
– Almasouri, M., Kinet, J.M., Lutts, S., 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf). Plant and Soil, 231: 243-25.
– Arnon D.T., 1949. Copper enzymes in isolation chloroplast phenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24: 1-15.
– Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein day binding. Analytical Biochemistry, 72: 248-254.
– Fang, Y. and Xiong, L., 2015. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. Cellular Molecular Life Sciences, 72: 673–689.
– Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D and Basra, S.M.A., 2009. Plant drought stress: Effects, Mechanisms and management, Sustainable Agriculture, 29: 153–188.
– Gazanchian, A., Khosh Kholgh Sima, N.A., Malboobi, M.A, Majidi Heravan, E., 2006. Relationships between emergence and soil water content for perennial cool-season grasses native to Iran. Crop Science, 46:544-553.
– Gazanchian, G.A., Kashki, M.T., Mir Alavi, V., Eslami. A., 2017. Evaluation of Seed and Forage Yield of perennial plants with low water requirement in abandoned farming lands. Journal of Agroecology, 9(2): 545-558. (In Persian).
– Ghassemi-Golezani, K., Zafarani-Moattar, P., Raey, Y., Mohammadi, M., 2010. Response of pinto bean cultivars to water deficit at reproductive stages. The Journal of Food, Agriculture and Environment, 8: 801-804.
– Jafari, A.A., Seyedmohammadi, A. R. and Abdi, N., 2007. Study of variation for seed yield and seed components in 31 genotypes of *Agropyron desertorum* through factor analysis. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 15(3): 212-221. (In Persian).
– Kellogg, E. A. 2001. Evolutionary history of grasses. Plant physiology, 125: 1198-1205.
– Lichtenthaler, H.K., Wellburn, A.R., 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions. 11: 591-592.
– Liu, F., Jensen, C.R., Andersen, M.N., 2004. Pod set related to photosynthetic rate and endogenous ABA concentration in beans subjected to different water regimes and exogenous ABA and BA at early reproductive stages. Annals of Botany, 94: 405-411.
– Majidi, M.M., 2007. Breeding studies in tall fescue germplasm. PhD. thesis. Isfahan University of Technology. (In Persian).
– Mir, S., Etamadi, N., Nikbakht, A., Sabzeali, M., 2015. Effect of drought and shade on the growth of *Pavland fescue* grass. Horticultural Sciences of Iran, 46(4): 523-534.
– Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidant and stress tolerance. Trends in Plant Science, 9: 405-410.
– Mohammadi. R., 2006. Study of genetic variation in *Bromus inermis* Leyss. populations. Iranian journal of rangelands and forests plant breeding and genetic research, 14(3): 138-147. (In Persian).
– Mustafa, E., Arab, M., Etimadi, N., Rozban, M.R., 2015. Evaluation of practical usability in two Iranian native grass species. Journal of Crops Improvement. 4: 1027-1036. (In Persian).
– Pirnajmedin, F. and Majidi, M.M., 2022. Mechanisms of drought stress tolerance in cool season grasses. Iranian Journal of Crop Sciences, 24(1): 1-18. (In Persian).
– Pirnajmedin, F., Majidi, M.M. and Gheysari, M. 2015. Root and physiological characteristics associated with drought tolerance in Iranian tall fescue. Euphytica, 202: 141-155
– Pornaro, C., Serena, M., Macolino, S., Leinauer, B., 2020. Drought stress response of turf-type perennial ryegrass genotypes in a mediterranean environment. Agronomy, 10, 1810; doi:10.3390/agronomy10111810
– Rastegar, M.A., 2007. Forage Crops Cultivation. Nowpardazan, Tehran, Iran, 520p. (In Persian)
– Saburi Azar, Sh., Nouraein, M., Mohammadi. R., 2020. Evaluation of variation in *Dactylis glomerata* L. Populations in terms of yield and related traits under climatic conditions of Tabriz. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 29(2): 297-316. (In Persian).
– Sairam, R.K., Rao, K.V., Srivastava, G.C., 2002. Differential response of wheat genotypes to longterm salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Science. 163. 1037–1046.
– Scheaffer, C. C., Peterson, P. R., Hall, M. H., Stordahl, J. B., 1992. Drought effects on yield and quality of perennial grasses in the north central United States. Journal of Production Agriculture, Pp:

45-55. https://doi.org/10.2134/jpa1996.0556.
– Senapati, N., Stratonovitch, P., Paul, M. J. and Semenov, M.A., 2019. Drought tolerance during reproductive development is important for increasing wheat yield potential under climate change in Europe. Journal of Experimental Botany, 70: 2549-2560.
– Vosough-Ghanbari, S., Rahimi, R., Kharabaf, S., Zeinali, S., Mohammadirad, A., Amini, S., Yasa, N., Salehnia, A., Toliat, T., Nikfar, S., Larijani, B. and Abdollahi, M., 2008. Effects of *Satureja khuzestanica* on serum glucose, lipids and markers of oxidative stress in patients with type 2 diabetes mellitus: a double-blind randomized controlled trial. Evidence Based Complementary and Alternative Medicine, 18: 1-6.
– Wang, Z., Hopkins, A., Mian, R., 2001. Forage and turf grass biotechnology. Critical Reviews in Plant Sciences. 20: 573-619. Https://doi.org/:10.20013591099281.1080.