J. Soil and Plant Interactions, Vol. 14, No. 2, Summer 2023, pp. 61-79. **Research Article**

https://jspi.iut.ac.ir EISSN: 2783-5286 DOI: 10.47176/jspi.14.2.20921 DOR: 20.1001.1.27835014.1402.14.2.4.1

Effects of Long-Term Drought Stress and Variation in Traits Related to Post-Drought Recovery, Persistence, and Summer Dormancy in Two Species of Orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) and Smooth Bromegrass (*Bromus inermis* Leyss.)

F. Saeidnia[1&2*], M. M. Majidi[2] and A. F. Mirlohi[2]

(Received: 25 February 2023; Accepted: 18 June 2023)

Abstract

This study was conducted to evaluate drought tolerance of recombined genotypes of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) and smooth bromegrass (*Bromus inermis* Leyss.), and investigate the effect of long-term drought stress on persistence, summer dormancy, and post-drought recovery. For this purpose, 36 genotypes of each species randomly selected from polycross populations, were clonally propagated, and evaluated under normal and drought-stressed conditions during 2013-2015 at the research farm of the Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. In the fourth year (2016), irrigation was withheld in both moisture regimes for two months, and then plants were re-watered and investigated. For most of the measured traits, high genetic variation was observed among the genotypes of both species. In orchardgrass, the genetic coefficient of variation varied from 4.31 to 65.45% under normal conditions, and from 3.93 to 79.93% under drought stress conditions. In smooth bromegrass, the range of genetic coefficient of variation was variable from 3.56 to 67.18% under normal conditions and from 3.42 to 54.63% under drought stress conditions. This indicated a high potential for improving these traits through targeted selection in breeding programs of the two species. In both species, the higher increase in genetic coefficient of variation under drought stress was observed for recovery-related traits (i.e., degree of recovery and recovery ratio in orchardgrass; and recovery yield, degree of recovery, recovery ratio, and percentage of recovery in smooth bromegrass). Results showed that smooth bromegrass had a better performance regarding recovery-related traits. Furthermore, post-drought recovery-related traits in both species were reduced under drought stress, except for the recovery ratio in smooth bromegrass. However, reductions were higher in orchardgrass than in smooth bromegrass. In the current study, the persistence of orchardgrass genotypes increased under drought stress, and decreased in the smooth bromegrass. Less fodder production during summer by the genotypes of this germplasm showed that these genotypes had incomplete dormancy.

Keywords: Clonal evaluation, Forage grasses, Polycross, Survival.

1- Agricultural and Horticultural Science Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Mashhad.

2- Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

* Corresponding author, Email: f.saeidnia@areeo.ac.ir

Background and Objective: Orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) is one of the most important perennial forage grasses, which plays an essential role in the livestock industry and sustainable development of environments worldwide (2). Smooth bromegrass (*Bromus inermis* Leyss.) is a drought-tolerant, cool-season grass species grown mainly for hay production (1). Drought stress is one of the most important factors limiting the survival and growth of plants in many regions of the world. Therefore, grasses must survive summer, recover in autumn, and actively grow during the cooler rainy seasons. Despite the wide distribution of forage grasses in arid and semi-arid regions of Iran, studies about post-drought recovery, persistence, and summer dormancy in these two species are rare. Therefore, this study was conducted to: 1) evaluate the genetic variation of post-drought recovery, persistence, and summer dormancy under two moisture conditions, 2) determine the relationships between these traits with phenological traits, productivity, and drought tolerance, and 3) assess the response of genotypes to drought stress in terms of the evaluated traits.

Methods: In this study, 36 genotypes of each species were randomly sampled from polycross progenies. These genotypes were clonally propagated and space-planted in the field according to a randomized complete block design with 12 replications in March 2012. Six replications were allocated to each of the two moisture environments. Phenological and morphological traits were evaluated over three years. After three years of field evaluation, drought recovery of all genotypes was assessed in 2016. For this purpose, after the first harvest of the fourth year, acute drought stress was imposed on both previous moisture environments (normal and drought stress) by stopping irrigation for 60 days until grass foliage was entirely desiccated. All plants were irrigated to the point of field capacity every week to allow drought stress recovery. After six weeks of re-watering, the traits related to recovery were measured.

Results: High genotypic variation was observed among genotypes for all measured traits, indicating a high potential for improving these traits. Drought stress negatively affected all traits and reduced their diversity. Moreover, in both species, after withholding irrigation and re-watering, post-drought recovery of genotypes was reduced under drought stress. However, these reductions were higher in orchardgrass than in smooth bromegrass. In this study, the persistence of orchardgrass genotypes increased under drought stress, and decreased in smooth bromegrass. The reduction of persistence under drought stress is likely related to decreased crown diameter, less root growth, and a decrease in growth points. Results also revealed that the genotypes of this germplasm with the characteristic of inhibiting fodder production during summer had incomplete dormancy. These plants were more flexible to drought stress. They had better survival and persistence than the plants with low summer dormancy, indicating that summer dormancy is an important trait for drought tolerance and can be used to develop drought-tolerant cultivars.

Conclusions: There was high genetic diversity between the studied genotypes of both species, which can be used in the breeding programs. In both species, post-drought recovery of genotypes was reduced under drought stress. These reductions were higher in orchardgrass than in smooth bromegrass. In the current study, the persistence of orchardgrass genotypes increased under drought stress conditions, while it decreased in smooth bromegrass. Moreover, the genotypes of this germplasm with the characteristic of inhibiting fodder production during summer had incomplete dormancy. There was a significant and positive association between summer dormancy and autumn yield on the one hand and between autumn yield and productivity on the other. Therefore, autumn yield is a compensatory mechanism in the dormant genotypes during the summer, leading to more fodder production in these genotypes during the autumn.

References:

1. Casler, M.D., Vogel, K.P., Balasko, J.A., Berdhal, J.D., Miller, D.A., Hansen, J.L., Frits, J.O., 2000. Genetic progress from 50 years of smooth bromegrass breeding. *Crop Science* 40: 13–22.

2. Jiang, L.F., Qi, X., Zhang, X.Q., Huang, L.K., Ma, X., Xie, W.G. 2014**.** Analysis of diversity and relationships among orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) accessions using start codon-targeted markers. *Genetics Molecular Research* 13(2): 4406–4418.

روابط خاک و گیاه/ سال چهاردهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۲ / صفحات ۷۹-۶۱ مقاله پژوهشی
DOR: 20.1001.1.27835014.1402.14.2.4.1 DOI: 10.47176/jspi.14.2.20921 EISSN: 2783-5286 https://jspi.iut.ac.ir

آثار تنش خشکی درازمدت و تنوع ویژگی‌های مرتبط با برگشت‌پذیری، دیرزیستی و خواب تابستانه در گونه‌های داکتی‌لیس (*Dactylis glomerata* L.) و برموس (*Bromus inermis* Leyss.)

فاطمه سعیدنیا[۱ و ۲*]، محمد مهدی مجیدی[۲] و آقافخر میرلوحی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۲۸)

چکیده

این پژوهش به‌منظور ارزیابی تحمل خشکی ژنوتیپ‌های نوترکیب دو گونه داکتی‌لیس (*Dactylis glomerata* L.) و برموس (*Bromus inermis* Leyss.)، و بررسی اثر تنش خشکی درازمدت بر دیرزیستی، خواب تابستانه و برگشت‌پذیری اجرا شد. بدین منظور، تعداد ۳۶ ژنوتیپ داکتی‌لیس و ۳۶ ژنوتیپ بروموس به‌صورت تصادفی از بین نتایج حاصل از پلی‌کراس انتخاب شده و کلون شدند و در شرایط بدون تنش و تنش خشکی طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۲ در مزرعه پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان مورد ارزیابی قرار گرفتند. در سال پنجم (۱۳۹۵)، پس از برداشت علوفه بهاره، اجرای آبیاری به‌مدت ۲ ماه در هر دو رژیم رطوبتی متوقف شد و سپس گیاهان آبیاری شده و مورد ارزیابی قرار گرفتند. تنوع ژنتیکی زیادی بین ژنوتیپ‌های هر دو گونه از نظر اکثر صفات مشاهده شد. در گونه داکتی‌لیس، ضریب تنوع ژنتیکی از ۴/۳۱ تا ٪۶۵/۴۵ در شرایط بدون تنش، و از ۳/۹۳ تا ٪۷۹/۹۳ در شرایط تنش متغیر بود. در گونه بروموس، دامنه ضریب تنوع ژنتیکی در شرایط بدون تنش ٪۶۷/۱۸-۳/۵۶ و در شرایط تنش ٪۵۴/۶۳-۳/۴۲ مشاهده شد که نشان‌دهنده پتانسیل زیاد برای بهبود این صفات از طریق انتخاب هدفمند در برنامه‌های اصلاحی است. در هر دو گونه بیش‌ترین درصد افزایش ضریب تنوع ژنتیکی تحت شرایط تنش برای صفات مرتبط با برگشت‌پذیری (امتیاز و نسبت برگشت‌پذیری در گونه داکتی‌لیس، و عملکرد، امتیاز، نسبت و درصد برگشت‌پذیری در گونه بروموس) مشاهده شد. نتایج نشان داد که گونه بروموس از نظر برگشت‌پذیری نسبت به گونه داکتی‌لیس وضعیت بهتری دارد. در هر دو گونه کاهش صفات مرتبط با برگشت‌پذیری، به‌جز صفت نسبت برگشت‌پذیری در گونه بروموس، تحت شرایط تنش خشکی مشاهده شد. میزان کاهش این صفات در گونه داکتی‌لیس نسبت به بروموس بیش‌تر بود. در این پژوهش، دیرزیستی ژنوتیپ‌های داکتی‌لیس در رژیم رطوبتی تنش خشکی افزایش یافت درحالی‌که در گونه بروموس کاهش یافت. تولید کم‌تر علوفه طی تابستان توسط ژنوتیپ‌های این ژرم‌پلاسم نشان داد که این ژنوتیپ‌ها دارای خواب ناقص بودند.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی کلونی، پلی‌کراس، بقاء، گراس‌های علوفه‌ای.

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ۸۳۶۴۱-۹۱۷۶۹

۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: f.saeidnia@areeo.ac.ir

مقدمه

گراس‌ها از مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای-مرتعی خانواده گرامینه هستند که به لحاظ تولید علوفه، کاربری زینتی، احداث چراگاه و حفاظت و جلوگیری از فرسایش خاک اهمیت زیادی دارند. از طرفی، این گیاهان به‌عنوان ماده اولیه در تأمین مواد پروتئینی و فرآورده‌های شیر در حفظ سلامت و امنیت غذایی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند (۳). خشکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی محدودکننده بقاء، رشد و تولید گیاهان در بسیاری از مناطق جهان است (۲ و ۲۶). حدود یک سوم از زمین‌های کشاورزی دنیا در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند که ایران نیز بخشی از همین مناطق است. بنابراین نیاز به گونه‌های گیاهی و ژنوتیپ‌هایی است که قادر به تحمل شرایط خشک باشند. به عبارت دیگر از توانایی زنده‌ماندن، برگشت‌پذیری و رشد فعال در تابستان و فصول سرد سال برخوردار باشند. درک سازوکارهای تحمل به خشکی موضوع اصلی بسیاری از پژوهش‌ها بوده (۱۱) و توسعه ارقام متحمل به خشکی هدف اصلی برنامه‌های اصلاحی است و انتظار می‌رود که نقش مؤثری در مقابله با آثار تغییر اقلیم ایفا کند (۹). داکتیلیس (*Dactylis glomerata* L.) و برموس (*Bromus inermis* Leyss) از مهم‌ترین گراس‌های چندساله مراتع ایران هستند که علیرغم سهم عمده‌ای که در تولید علوفه مرتعی دارند، پژوهش‌های اصلاحی اندکی بر روی آن‌ها انجام شده است.

در گراس‌ها، گزینش موفقیت‌آمیز گونه‌های علوفه‌ای چندساله به دیرزیستی این گونه‌ها و توانایی گیاهان برای زنده‌ماندن و بقاء و حفظ عملکرد تحت شرایط خشکی‌های مداوم تابستانه بستگی دارد (۱) که با توانایی گیاه برای حفظ طوقه زنده در سطح خاک مرتبط است. در شرایط کشت تک‌بوته نیز تفاوت در عملکرد گیاهان طی سال‌های متمادی می‌تواند برآورد خوبی از دیرزیستی گونه‌ها ارائه دهد (۲۰). مشخص شده است که برگشت‌پذیری ضعیف می‌تواند منجر به کاهش دیرزیستی شود. بنابراین، دیرزیستی و برگشت‌پذیری بیش‌تر در گراس‌های علوفه‌ای با توانایی رشد مجدد از مریستم‌ها یا ریزوم‌ها و از سیستم عمیق ریشه‌ای که رطوبت باقی‌مانده خاک را مورد استفاده قرار می‌دهند، مرتبط هستند (۱۵). برگشت‌پذیری پس از تنش خشکی می‌تواند تا حدود زیادی با حفظ نقاط رشدی طی تنش خشکی، رشد جبرانی بافت‌های بقاءیافته و میزان انتقال ذخایر ریشه مرتبط باشد (۴). بنابراین، طی تنش خشکی گزینش صفات برای توانایی برگشت‌پذیری زیاد از اهمیت اقتصادی بیش‌تری نسبت به گزینش صفات برای بهبود رشد و تولید علوفه برخوردار است (۴ و ۲۳). این امر گیاهان علوفه‌ای را قادر می‌سازد تا در مراتع و چمن‌زارها دوام داشته باشند و از توانایی رقابت بیش‌تری نسبت به گونه‌های کم‌تر متحمل برخوردار باشند (۲۷).

یکی از صفات مهم دیگر مرتبط با تحمل به خشکی در گراس‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، خواب تابستانه است که بقاء در شرایط وقوع تنش خشکی و عملکرد پاییزه گراس‌ها را در این مناطق بهبود می‌بخشد. خواب تابستانه یکی از سازوکارهای سازگاری است که در شرایط خاص محیطی مانند طول روز بلند و دمای زیاد القاء می‌شود و به‌صورت اندوژنیک (درون‌زا) کنترل می‌گردد. گیاهانی که دارای خواب تابستانه هستند، حتی در صورت وجود بارندگی‌های تابستانه، مواد غذایی و رطوبت کافی دچار توقف یا کاهش رشد می‌شوند. البته سطوح پایین خواب تابستانه ممکن است به گیاه اجازه رشد در این شرایط را بدهد (۱۷). اگرچه ارقام یا ژنوتیپ‌های دارای خواب تابستانه در فصل تابستان از رشد و عملکرد کم‌تری نسبت به گیاهان بدون خواب تابستانه برخوردار هستند، اما برگشت‌پذیری پس از تنش خشکی و عملکرد پاییزه آن‌ها بیش‌تر از گیاهان بدون خواب تابستانه خواهد بود. به‌عبارت دیگر خواب تابستانه سبب افزایش بقاء و عملکرد پاییزه گیاهان می‌شود (۱۷ و ۲۴). شایمی و همکاران (۲۴) گزارش کردند یکی از مهم‌ترین صفات مرتبط با بهبود دیرزیستی تحت شرایط خشک در داکتیلیس خواب تابستانه است.

تاکنون پژوهشی به‌منظور ارزیابی صفات مهم مرتبط با

تحمل خشکی (مانند دیرزیستی، برگشت‌پذیری پس از دوره درازمدت تنش خشکی و خواب تابستانه) در شرایط تغییر اقلیم و ژرم‌پلاسم بومی دو گونه داکتی‌لیس و برومـوس و یا ژرم پلاسم‌های معرفی‌شده از سایر کشورها انجام نشده است. بنابراین این پژوهش به‌منظور: ۱- ارزیابی تنوع ژنتیکی صفات فنولوژیک، عملکرد علوفه، دیرزیستی، خواب تابستانه و صفات مرتبط با برگشت‌پذیری پس از تنش خشکی در دو گونه داکتی‌لیس و برومـوس در شرایط بدون تنش و تنش خشکی، ۲- تعیین رابطه بین صفات فنولوژیک، تحمل خشکی، خواب تابستانه، دیرزیستی و صفات مرتبط با برگشت‌پذیری پس از تنش خشکی، و شناسایی ترکیب مناسب این صفات به‌منظور گزینش ژنوتیپ‌های مناسب برای پژوهش‌های آینده، و ۳- مقایسه واکنش ژنوتیپ‌های انتخابی در دو گونه مورد بررسی به تنش خشکی براساس ارزیابی ویژگی‌های گفته‌شده و مقایسه این صفات در بین دو گونه، اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال‌های زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۲ در مزرعه پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد که در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی واقع شده است، انجام شد. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۶۳۰ متر بوده و بر اساس طبقه‌بندی کوپن[1] دارای اقلیم نیمه‌خشک و خنک و تابستان‌های خشک است. میزان بارندگی و میانگین دمای سالیانه آن به‌ترتیب ۱۴۰/۵ میلی‌متر و ۱۴/۵ درجه سلسیوس است.

در این پژوهش ۳۶ ژنوتیپ برومـوس و ۳۶ ژنوتیپ داکتی‌لیس، که از داخل ۲۵ فامیل نیمه‌خواهری در هر کدام از گونه‌های مذکور به‌صورت تصادفی انتخاب شدند، استفاده شد (جدول ۱). سپس به‌منظور انجام پلی‌کراس و تشکیل فامیل‌های نیمه‌خواهری برای استفاده در پژوهش‌های آینده، هر یک از ژنوتیپ‌ها از طریق تقسیم بوته کلون شده و به‌صورت ایزوله در یک طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۱۲ تکرار کشت شدند. فاصله بین بوته‌ها و بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به‌منظور تهیه بستر کاشت، زمین مکان آزمایش در پاییز شخم خورده و پیش از کاشت چند بار دیسک زده شد و کرت‌بندی گردید.

میزان کود مصرفی بر اساس ۱۵۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار بود. تمام کود فسفاته پیش از کاشت و کود اوره در دو نوبت پس از برداشت‌های اول و دوم در هر سال به زمین داده شد. عملیات داشت شامل آبیاری غرقابی، کوددهی (کود آبیاری) و وجین دستی در طی فصل رشد به‌طور مرتب انجام گرفت. آبیاری اول بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به‌طور تقریبی هر ۷ روز یک بار تا زمان استقرار کامل گیاهچه‌ها انجام شد. به‌منظور استقرار گیاهان در مزرعه، در سال اول آبیاری به‌صورت بدون تنش و در حد ظرفیت زراعی انجام شد. از سال دوم به بعد شش تکرار به محیط تنش خشکی و شش تکرار به محیط بدون تنش اختصاص یافت.

برای اعمال تنش خشکی، تا زمان گل‌دهی میزان آبیاری و تعداد دفعات آن در هر دو محیط رطوبتی بدون تنش و تنش، به‌صورت یکسان انجام شد. ولی از مرحله گل‌دهی به بعد، در شرایط رطوبتی بدون تنش، زمانی آبیاری انجام می‌شد که ۵۰ درصد آب قابل استفاده از عمق توسعه ریشه تخلیه می‌شد. در محیط رطوبتی تنش، آبیاری زمانی انجام می‌شد که ۹۰ درصد آب قابل استفاده خاک تخلیه می‌شد. عمق مجاز تخلیه رطوبت از لایه توسعه ریشه با رابطه زیر محاسبه شد:

$$I_d = (FC-PWP)\times MAD\times D\times B \qquad (۱)$$

که در آن I_d عمق آب مجاز برای تخلیه در تیمار مورد نظر (میلی‌متر)، FC[2] حد ظرفیت زراعی (گرم بر گرم)، PWP[3] حد پژمردگی دائم (گرم بر گرم)، D عمق ناحیه فعال توسعه ریشه(میلی‌متر)، B چگالی ظاهری خاک در ناحیه توسعه ریشه

1. Koppen

2. Field capacity
3. Permanent wilting point

جدول ۱. منشأ مواد ژنتیکی مورد بررسی

Table 1. The origin of the evaluated genetic materials

ژنوتیپ‌های داکتی‌لیس	کد جمعیت	منشأ	ژنوتیپ‌های برومـوس	کد جمعیت	منشأ
1	4000/31	اصفهان- نجف آباد	1	2000/50	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان
2	4000/25	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	2	2000/50	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان
3	4000/25	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	3	2000/50	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان
4	4000/25	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	4	2000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان
5	4000/25	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	5	2000/T-9	همدان
6	RCAT041111	خارجی- مجارستان	6	2000/T-9	همدان
7	RCAT041111	خارجی- مجارستان	7	2000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان
8	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	8	2000/T-9	همدان
9	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	9	2000/2-18	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان
10	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	10	2000/2-18	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان
11	4000/44	سمنان	11	RCAT042134	خارجی- مجارستان
12	4000/44	سمنان	12	RCAT042134	خارجی- مجارستان
13	RCAT041111	خارجی- مجارستان	13	RCAT064839	خارجی- مجارستان
14	RCAT041111	خارجی- مجارستان	14	-	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان
15	RCAT041111	خارجی- مجارستان	15	-	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان
16	RCAT041111	خارجی- مجارستان	16	-	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان
17	4000/2	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	17	-	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان
18	4000/2	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	18	2000/T-9	همدان
19	4000/44	سمنان	19	2000/18	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان

ادامه جدول ۱.

Table 1. (continued)

ژنوتیپ‌های داکتی‌لیس	کد جمعیت	منشأ	ژنوتیپ‌های بروموس	کد جمعیت	منشأ
20	4000/25	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	20	2000/18	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان
21	4000/44	سمنان	21	RCAT041861	خارجی- مجارستان
22	4000/44	سمنان	22	2000/40	اصفهان- سمیرم
23	4000/25	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	23	2000/4	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان
24	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	24	-	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان
25	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	25	RCAT042133	خارجی- مجارستان
26	RCAT041050	خارجی- مجارستان	26	RCAT042133	خارجی- مجارستان
27	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	27	2000/10	کردستان
28	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	28	RCAT041861	خارجی- مجارستان
29	4000/29	خارجی- هلند	29	2000/10	کردستان
30	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	30	RCAT064835	خارجی- مجارستان
31	4000/29	خارجی- هلند	31	RCAT064835	خارجی- مجارستان
32	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	32	RCAT064835	خارجی- مجارستان
33	RCAT041050	خارجی- مجارستان	33	RCAT064835	خارجی- مجارستان
34	4000/2	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	34	RCAT064837	خارجی- مجارستان
35	4000/2	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	35	RCAT064837	خارجی- مجارستان
36	4000/2	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فزوه اصفهان	36	RCAT064837	خارجی- مجارستان

(۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، و MAD[1] ضریب مدیریت مزرعه (برای حالت بدون تنش برابر با ۰/۵ و برای محیط تنش برابر با ۰/۹) است. برای اندازه‌گیری میزان آب ورودی به کرت‌ها از کنتور استفاده شد.

ارزیابی صفات در سال استقرار گیاهان (۱۳۹۱) انجام نشد.

1. Management allowed depletion

در سال‌های دوم تا چهارم (۱۳۹۴-۱۳۹۲) مجموعه‌ای از صفات فنولوژیک (شامل روز تا خوشه‌دهی و روز تا گرده‌افشانی)، مورفولوژیک (شامل ارتفاع و تعداد ساقه) و عملکردهای علوفه بهاره، تابستانه و پاییزه به‌صورت تک بوته مورد ارزیابی قرار گرفتند. تعداد روز تا خوشه‌دهی و گرده‌افشانی به‌ترتیب بر اساس تعداد روز از اول اسفند تا ظهور سه خوشه در هر بوته و ظاهر شدن پرچم‌ها در سه خوشه از هر بوته ثبت شد. عملکرد علوفه خشک بهاره، تابستانه و پاییزه از طریق اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها پس از ۴۸ ساعت در دمای ۸۰-۷۵ درجه سلسیوس در آون، به‌دست آمد. دیرزیستی به‌صورت تفاضل عملکرد علوفه خشک سال چهارم از عملکرد علوفه خشک سال اول پس از استقرار (سال دوم) محاسبه شد (۱۹ و ۲۲). خواب تابستانه به‌صورت نسبت عملکرد علوفه تابستانه یک ژنوتیپ به عملکرد علوفه بهاره همان ژنوتیپ از طریق فرمول زیر محاسبه شد (۱۷):

$$SDI = [100 - ((\text{summer yield}/\text{spring yield})\times 100)]/10 \quad (۲)$$

که در این فرمول، SDI شاخص خواب تابستانه، summer yield عملکرد علوفه تابستانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی، و spring yield عملکرد علوفه بهاره ژنوتیپ‌ها است.

به‌منظور ارزیابی صفات مرتبط با برگشت‌پذیری در دو گونه مورد بررسی، در سال پنجم (۱۳۹۵) همه ژنوتیپ‌هایی که طی سال‌های پیشین (۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴) در دو شرایط رطوبتی بدون تنش و تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفته بودند، در مزرعه در معرض تنش خشکی شدید و درازمدت قرار گرفتند. بدین منظور، در تیر ماه ۱۳۹۵ آبیاری گیاهان تا زمان خشکیدگی کامل پوشش گراس به‌طور کامل قطع شد (۶۰ روز). سپس به‌منظور ارزیابی برگشت‌پذیری گیاهان، ژنوتیپ‌های مورد بررسی به‌صورت منظم و هر هفته آبیاری شدند. پس از گذشت ۴۵ روز از آبیاری مجدد ژنوتیپ‌ها، صفات مرتبط با برگشت‌پذیری شامل عملکرد برگشت‌پذیری (RY)، امتیاز برگشت‌پذیری (DR)، نسبت برگشت‌پذیری (RR) و درصد برگشت‌پذیری (PR) در گیاهان رشدیافته در دو محیط رطوبتی بدون تنش و تنش خشکی اندازه‌گیری شدند. عملکرد برگشت‌پذیری با اندازه‌گیری عملکرد علوفه خشک هر ژنوتیپ پس از قطع آبیاری و آبیاری مجدد ثبت شد. امتیاز برگشت‌پذیری به‌صورت چشمی و براساس امتیاز ۰ تا ۹ ثبت شد؛ به‌طوری‌که گیاهان دارای برگ‌های سبز و کاملاً برگشت‌یافته امتیاز ۹ و گیاهان دارای برگ‌های کاملاً خشک امتیاز ۰ گرفتند. نسبت برگشت‌پذیری به‌صورت نسبت عملکرد علوفه هر ژنوتیپ پیش از قطع آبیاری (عملکرد علوفه بهاره سال چهارم) به عملکرد علوفه همان ژنوتیپ پس از قطع آبیاری و آبیاری مجدد، محاسبه شد. درصد برگشت‌پذیری به‌صورت درصد گیاهان زنده هر ژنوتیپ که پس از آبیاری مجدد برگشت‌پذیری نشان دادند، محاسبه شد.

پیش از انجام تجزیه واریانس، برای تعیین یکنواختی واریانس خطا آزمون بارتلت انجام شد. به‌منظور بررسی تفاوت بین محیط‌های رطوبتی، سال‌ها، ژنوتیپ‌ها و برهم‌کنش‌های بین آن‌ها، و همچنین برآورد اجزای واریانس صفات مختلف، تجزیه واریانس داده‌های آزمایش با استفاده از مدل GLM در نرم‌افزار SAS انجام شد. از آنجایی که آزمایش به‌مدت سه سال در دو محیط رطوبتی (بدون تنش و تنش خشکی) اجرا شد، لذا مدل کرت‌های خردشده در زمان (۱۴) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به‌منظور تجزیه مرکب داده‌های آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. صفات مرتبط با برگشت‌پذیری بر اساس تجزیه مرکب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. اجزای تشکیل‌دهنده واریانس با استفاده از امید ریاضی میانگین مربعات طرح کرت‌های خردشده در زمان و با استفاده از برنامه Varcomp در SAS برآورد شد. اثر محیط رطوبتی و ژنوتیپ ثابت و اثر سال تصادفی در نظر گرفته شد. در صورت معنی‌داربودن اثر تیمارهای آزمایشی، از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد برای مقایسه میانگین تیمارها استفاده شد. برای برآورد سطوح تنوع ژنتیکی، ضریب تنوع ژنتیکی[1] (GCV) با استفاده از معادله زیر محاسبه شد (۷):

1. Genetic coefficient of variation

$$GCV = (\sigma_g / \mu)\ 100 \qquad (۳)$$

که در این معادله σ_g ریشه دوم واریانس ژنتیکی و μ میانگین فنوتیپی است. به‌منظور برآورد رابطه بین صفات مورد بررسی، ضرایب همبستگی فنوتیپی بین صفات محاسبه شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری به‌کمک نرم‌افزارهای SAS و SPSS و داده‌پردازی و ترسیم نمودارها و جداول به‌کمک نرم‌افزار Excel انجام گرفت. برای ترسیم بای‌پلات‌ها از نرم‌افزار Statgraphics استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در هر دو گونه تنش رطوبتی بر کلیه صفات مورد بررسی تأثیر بسیار معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) داشته است (نتایج نشان داده نشده است). بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی هر دو گونه از نظر کلیه صفات تفاوت معنی‌داری وجود داشت، که بیانگر تنوع ژنتیکی زیاد بین ژنوتیپ‌های منتخب از نظر صفات مورد بررسی است و می‌تواند در بهبود انتخاب در برنامه‌های اصلاحی مؤثر باشد. برهم‌کنش‌های بسیار معنی‌دار ژنوتیپ × محیط رطوبتی برای کلیه صفات (به‌جز روز تا خوشه‌دهی و دیرزیستی در داکتی‌لیس) نشان داد که واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های رطوبتی متفاوت بوده است. آثار سال، سال × محیط رطوبتی و ژنوتیپ × سال نیز برای تمامی صفات در هر دو گونه مورد بررسی، معنی‌دار بود (نتایج نشان داده نشده است).

در هر دو گونه مورد بررسی، میانگین بیش‌تر صفات در اثر تنش خشکی کاهش یافت. صفات روز تا خوشه‌دهی، روز تا گرده‌افشانی و دیرزیستی در گونه داکتی‌لیس و صفت نسبت برگشت‌پذیری در گونه بروموس تحت تأثیر تنش خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش افزایش یافتند. برخی صفات نیز مانند روز تا خوشه‌دهی و روز تا گرده‌افشانی در گونه بروموس تحت تأثیر تنش نسبت به شرایط بدون تنش تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۲). کاهش صفات مختلف در اثر تنش خشکی به کاهش در فتوسنتز، فشار آماس، رشد سلولی، و کاهش سطح یا لوله‌ای‌شدن برگ و همچنین تولید و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن نسبت داده شده است (۱۲). شریعتی‌پور و همکاران (۲۵) نیز در بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد علوفه و صفات مرتبط با عملکرد در گونه کنتاکی بلوگراس به کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه و صفات مرتبط با آن در اثر تنش خشکی اشاره کردند.

ضرایب تنوع ژنتیکی صفات مورد بررسی در دو گونه داکتی‌لیس و بروموس در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در جدول (۲) ارائه شده است. در گونه داکتی‌لیس، ضریب تنوع ژنتیکی در شرایط بدون تنش از ۴/۳۱٪ برای صفت روز تا گرده‌افشانی تا ۶۵/۴۵٪ برای صفت عملکرد برگشت‌پذیری و در شرایط تنش از ۳/۹۳٪ برای صفت روز تا گرده‌افشانی تا ۷۹/۹۳ ٪ برای نسبت برگشت‌پذیری متغیر بود. در گونه بروموس، دامنه ضریب تنوع ژنتیکی در شرایط بدون تنش از ۳/۵۶ ٪ برای صفت روز تا گرده‌افشانی تا ۶۷/۱۸٪ برای صفت دیرزیستی و در شرایط تنش از ۳/۴۲٪ برای صفت روز تا گرده‌افشانی تا ۵۴/۶۳٪ برای عملکرد برگشت‌پذیری متفاوت بود. به‌طور کلی از تنوع ژنتیکی زیاد موجود در صفات مختلف می‌توان در طراحی و اجرای برنامه‌های اصلاحی پیشرفته‌تر استفاده کرد (۱۳). در هر دو گونه بیش‌ترین درصد افزایش ضریب تنوع ژنتیکی تحت شرایط تنش برای صفات مرتبط با برگشت‌پذیری (امتیاز و نسبت برگشت‌پذیری در گونه داکتی‌لیس، و عملکرد، امتیاز، نسبت و درصد برگشت‌پذیری در گونه بروموس) مشاهده شد. کاهش یا افزیش تنوع ژنتیکی صفات مختلف تحت شرایط تنش به ماهیت صفات و تغییر در بیان ژن‌ها بستگی دارد.

در اکثر گراس‌های علوفه‌ای رشد تابستانه ارتباط معکوسی با بقاء و دیرزیستی دارد. بنابراین مهم‌ترین راهکار برای تحمل خشکی حفظ تولید تحت شرایط تنش خشکی نیست، بلکه توانایی برای بقاء و برگشت‌پذیری سریع پس از بارندگی‌های پاییزه مهم است (۲۳). در هر دو گونه مورد بررسی پس از قطع آبیاری و آبیاری مجدد، صفات مرتبط با برگشت‌پذیری (به‌جز

جدول ۲. مقایسه میانگین و ضرایب تنوع ژنتیکی صفات فنولوژیک، عملکرد علوفه و صفات مرتبط با برگشت‌پذیری در ۳۶ ژنوتیپ داکتی‌لیس و ۳۶ ژنوتیپ بروموس ارزیابی شده تحت دو محیط رطوبتی (بدون تنش و تنش خشکی) طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۲

Table 2. Mean comparison and genetic coefficients of variations for phenological traits, forage yield and recovery related traits in 36 genotypes of orchardgrass and smooth bromegrass under two moisture environments (normal and drought stress) during years 2013-2016

ضریب تنوع ژنتیکی (٪) Genetic coefficient of variation (GCV) (%)				میانگین Mean				
گونه بروموس		گونه داکتی‌لیس		گونه بروموس		گونه داکتی‌لیس		
محیط تنش خشکی Drought stress environment	محیط بدون تنش Normal environment	محیط تنش خشکی Drought stress environment	محیط بدون تنش Normal environment	محیط تنش خشکی Drought stress environment	محیط بدون تنش Normal environment	محیط تنش خشکی Drought stress environment	محیط بدون تنش Normal environment	صفات Traits
6.79	6.58	6.46	4.39	a 56.6	a 58.9	a 63.2	b 57.4	روز تا خوشه‌دهی (روز) Days to heading (day)
3.42	3.56	3.93	4.31	a 77.8	a 80.4	a 80.2	b 77.2	روز تا گرده‌افشانی (روز) Days to pollination (day)
10.72	5.97	8.77	7.31	b 75.6	a 96.6	b 63.2	a 94.0	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)
21.63	21.44	21.29	20.94	b 149	a 187	b 66.5	a 133	تعداد ساقه (-) Number of stem (-)
24.59	18.51	17.51	17.12	b 130	a 209	b 88.8	a 175	عملکرد علوفه بهاره (گرم در بوته) Spring forage yield (g per plant)

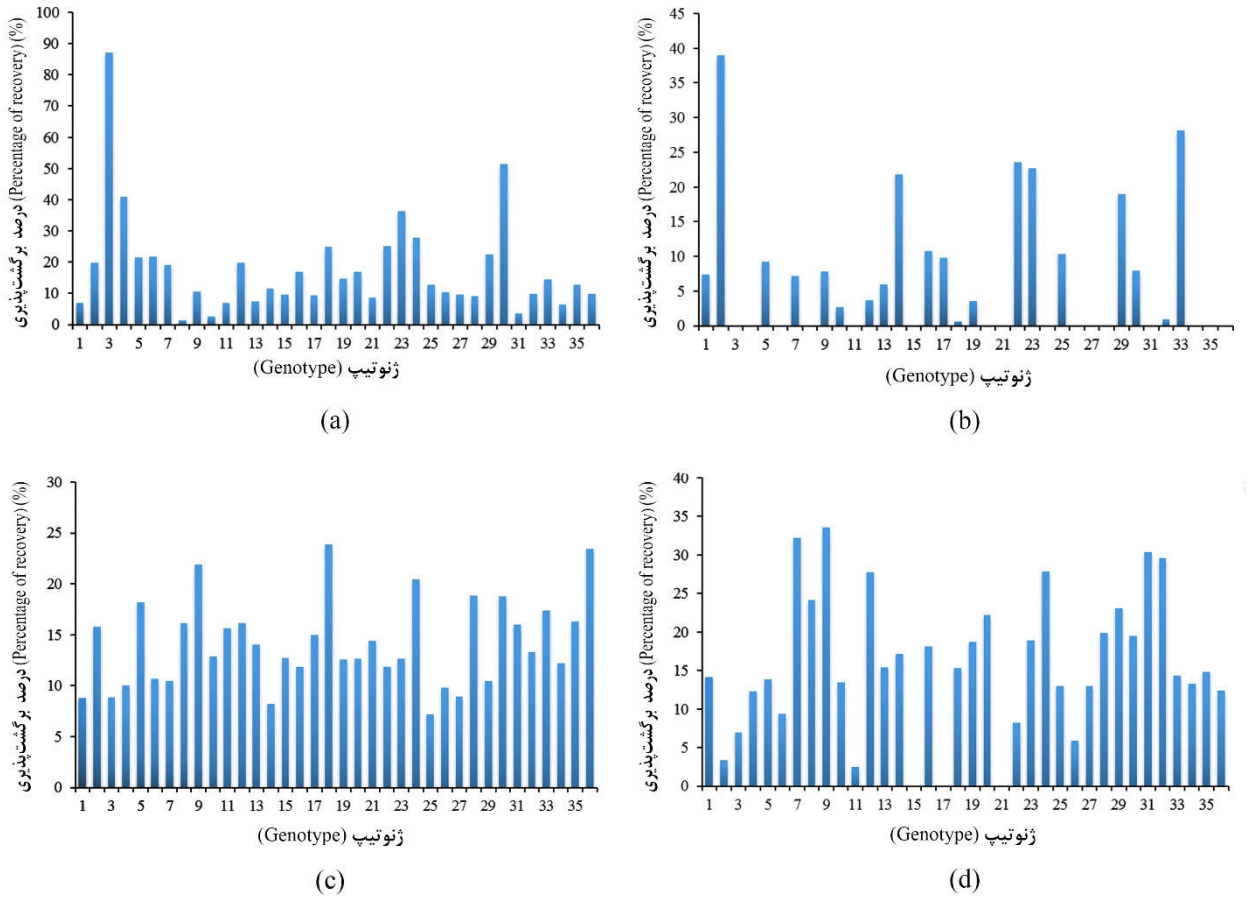
در هر گونه و در هر ردیف میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح ۰/۰۵ تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each species and in each row, mean values with similar letters are not significantly different (LSD, $p \leq 0.05$).

ادامه **جدول ۲.**

Table 2. (continued)

صفات Traits	میانگین Mean				ضریب تنوع ژنتیکی (٪) Genetic coefficient of variation (GCV) (%)			
	گونه داکتی‌لیس		گونه بروموس		گونه داکتی‌لیس		گونه بروموس	
	محیط بدون تنش Normal environment	محیط تنش خشکی Drought stress environment	محیط بدون تنش Normal environment	محیط تنش خشکی Drought stress environment	محیط بدون تنش Normal environment	محیط تنش خشکی Drought stress environment	محیط بدون تنش Normal environment	محیط تنش خشکی Drought stress environment
عملکرد علوفه تابستانه (گرم در بوته) Summer forage yield (g per plant)	a 40.8	b 9.75	a 49.2	b 20.5	21.89	15.80	18.07	17.38
عملکرد علوفه پاییزه (گرم در بوته) Autumn forage yield (g per plant)	a 47.4	b 15.6	a 44.7	b 22.5	23.45	16.90	14.50	21.33
عملکرد برگشت‌پذیری (گرم در بوته) Recovery yield (g per plant)	a 36.9	b 5.21	a 39.8	b 26.1	65.45	66.40	27.14	54.63
امتیاز برگشت‌پذیری (-) Degree of recovery (-)	a 3.46	b 0.76	a 5.45	b 3.21	47.04	76.78	14.70	44.34
نسبت برگشت‌پذیری (-) Recovery ratio (-)	a 0.16	b 0.07	b 0.14	a 0.16	58.74	79.93	21.07	47.81
درصد برگشت‌پذیری (٪) Percentage of recovery (%)	a 76.4	b 27.3	a 85.9	b 46.2	41.63	28.21	18.92	36.32
دیرزیستی (٪) Persistence (%)	b 33.9	a 46.9	a 55.1	b 40.4	53.42	37.03	67.18	51.76



شکل ۱. درصد برگشت‌پذیری در a) ۳۶ ژنوتیپ داکتی‌لیس در شرایط بدون تنش، b) ۳۶ ژنوتیپ داکتی‌لیس در شرایط تنش خشکی، c) ۳۶ ژنوتیپ بروموس در شرایط بدون تنش، و d) ۳۶ ژنوتیپ بروموس در شرایط تنش خشکی در سال چهارم (۱۳۹۵)

Fig. 1. Percentage of recovery in a) 36 genotypes of orchardgrass under normal condition, b) 36 genotypes of orchardgrass under drought stress condition, c) 36 genotypes of smooth bromegrass under normal condition, and d) 36 genotypes of smooth bromegrass under drought stress condition, in the fourth year (2016).

نسبت برگشت‌پذیری در گونه بروموس) تحت شرایط تنش خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش کاهش یافتند. میزان این کاهش در گونه داکتی‌لیس نسبت به بروموس بیش‌تر بود. از آنجایی‌که تنش رطوبتی در هر سه سال پیش از قطع آبیاری به‌طور یکسان اعمال شده است، می‌توان به این نتیجه رسید که تنش خشکی درازمدت دیرزیستی و برگشت‌پذیری گیاهان را کاهش داده است (۲۲). به‌هرحال، تنوع ژنتیکی زیادی بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمامی صفات مرتبط با برگشت‌پذیری در هر دو گونه مورد بررسی مشاهده شد، که نشان‌دهنده پتانسیل مناسب برای بررسی ژنتیکی این صفات و احتمالاً گزینش ژنوتیپ‌های دارای مقادیر متنوع برگشت‌پذیری و بقای گیاه در مجموعه ژرم‌پلاسم‌های مورد بررسی است.

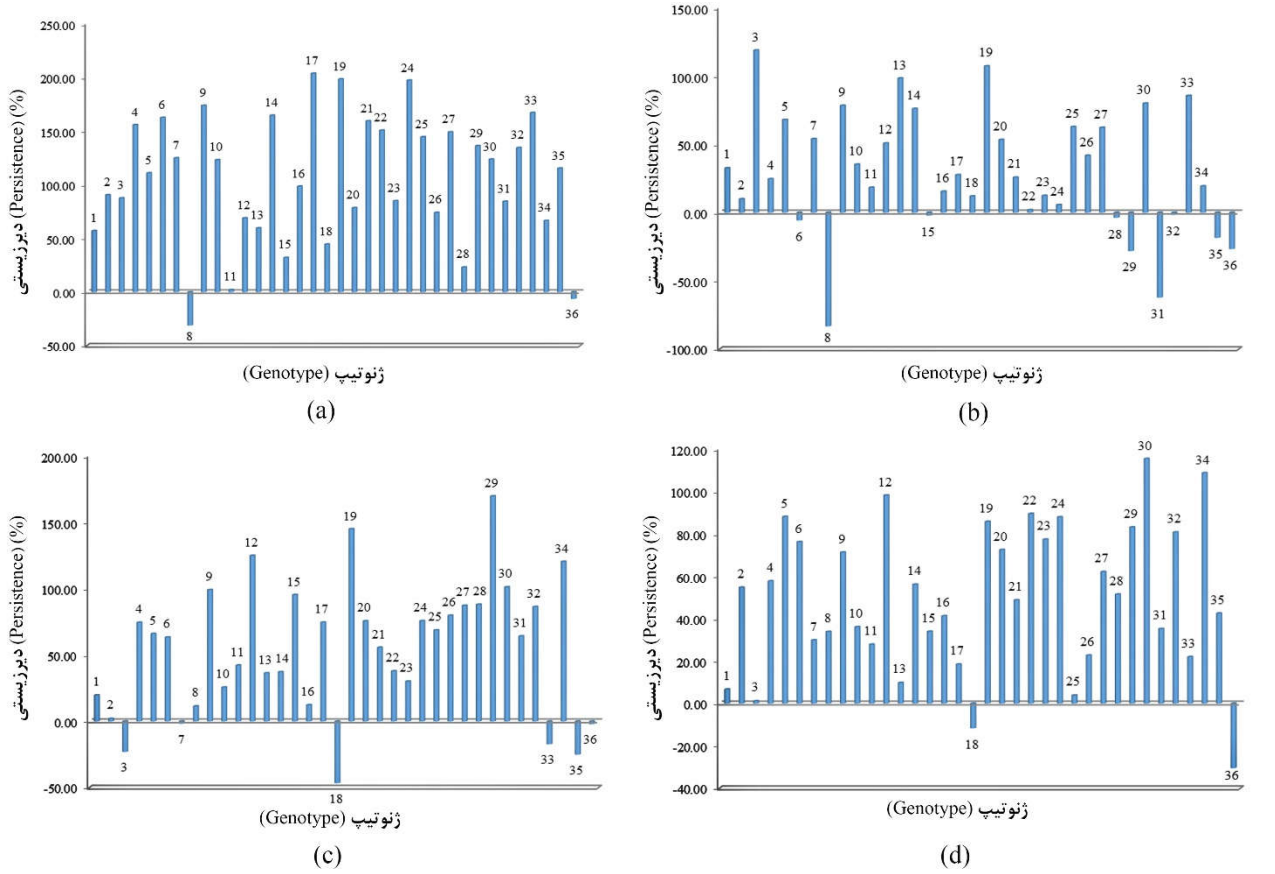
شکل (۱) درصد برگشت‌پذیری ژنوتیپ‌های داکتی‌لیس و بروموس را در دو محیط بدون تنش و تنش خشکی نشان می‌دهد. در گونه داکتی‌لیس کم‌ترین مقادیر برگشت‌پذیری در محیط بدون تنش در ژنوتیپ‌های ۸، ۱۱ و ۱۳ مشاهده شد و در محیط تنش ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۸، ۲۰، ۲۴، ۲۷، ۲۸، ۳۴، ۳۵ و ۳۶ هیچ‌گونه برگشت‌پذیری در اثر آبیاری مجدد پس از تنش نشان ندادند. بیش‌ترین مقدار برگشت‌پذیری در محیط بدون تنش به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های ۳ و ۳۰ و در محیط تنش به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های ۲، ۳۳، ۲۲، ۲۳ و ۱۴ تعلق داشت (شکل‌های ۱a و ۱b). در گونه بروموس در محیط بدون تنش، کم‌ترین مقادیر

برگشت‌پذیری در ژنوتیپ‌های ۲۵، ۱۴، ۱، ۳ و ۲۷ و بیش‌ترین مقادیر به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های ۱۸، ۳۶، ۹، ۲۴، ۲۸ و ۳۰ مشاهده شد. در محیط تنش، بیش‌ترین مقادیر برگشت‌پذیری به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های ۹، ۷، ۳۱، ۳۲، ۲۴ و ۱۲ و کم‌ترین مقادیر به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های ۲۱، ۱۷، ۱۵، ۱۱ و ۲ تعلق داشت (شکل‌های 1c و 1d). نتایج نشان داد که گونه بروموس از نظر برگشت‌پذیری نسبت به گونه داکتی‌لیس وضعیت بهتری دارد. به‌طوری‌که در هر دو محیط بدون تنش و تنش خشکی اکثر ژنوتیپ‌های بروموس پس از آبیاری مجدد برگشت‌پذیری نسبتاً خوبی داشتند. با این وجود، تعداد زیادی از ژنوتیپ‌های داکتی‌لیس در محیط تنش هیچ‌گونه برگشت‌پذیری در اثر آبیاری مجدد پس از تنش نداشته و کاملاً از بین رفتند. پیرنجم‌الدین و همکاران (۱۹) نیز گزارش کردند که در گونه فسکیو پس از قطع درازمدت آبیاری به‌مدت ۲ ماه در شرایط مشابه پژوهش کنونی تعدادی از ژنوتیپ‌ها از بین رفتند. درصد کم‌تر ژنوتیپ‌های از بین رفته در گونه بروموس می‌تواند نشانه برگشت‌پذیری سریع‌تر گونه مذکور نسبت به گونه داکتی‌لیس باشد (۲۸). به‌علاوه، برگشت‌پذیری بیش‌تر در بروموس مؤید این مطلب است که این‌گونه از تحمل بیش‌تری نسبت به تنش خشکی در مقایسه با داکتی‌لیس برخوردار است، که این نتیجه احتمالاً به سیستم ریشه‌ای و ریزوم‌های گسترده آن مرتبط است.

دیرزیستی ژنوتیپ‌های داکتی‌لیس و بروموس در دو محیط بدون تنش و تنش خشکی در شکل (۲) ارائه شده است. در گونه داکتی‌لیس، بیش‌ترین مقادیر دیرزیستی در محیط بدون تنش به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های ۱۷، ۲۴، ۱۹، ۳۳ و ۹ و در محیط تنش در ژنوتیپ‌های ۳، ۱۹، ۱۳، ۳۳ و ۳۰ مشاهده شد. کم‌ترین مقادیر برگشت‌پذیری نیز در محیط بدون تنش به ژنوتیپ‌های ۱۱، ۲۸ و ۱۵ و در محیط تنش به ژنوتیپ‌های ۱۵، ۲۲، ۳۲، ۲۴ و ۱۸، تعلق داشت. در گونه بروموس، بیش‌ترین مقادیر دیرزیستی در محیط بدون تنش به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های ۲۹، ۱۹، ۱۲، ۳۴ و ۹ و در محیط تنش در ژنوتیپ‌های ۳۰، ۳۴، ۱۲، ۲۲، ۵ و ۲۴ مشاهده شد. کم‌ترین مقادیر برگشت‌پذیری نیز در محیط بدون تنش به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های ۲، ۷، ۸، ۱۶ و ۱۰ و در محیط تنش به ژنوتیپ‌های ۳، ۲۵، ۱، ۱۳ و ۱۷ تعلق داشت.

دیرزیستی گونه‌های زراعی وابسته به عواملی مانند ژنوتیپ گیاه، مدیریت (کوددهی، مدیریت چرا، کنترل آفات و علف‌های هرز، آبیاری)، و فاکتورهای محیطی (بارندگی، نور، دما، نوع خاک) است (۵ و ۱۵). در پژوهش کنونی، دیرزیستی ژنوتیپ‌های گونه داکتی‌لیس در رژیم رطوبتی تنش خشکی در مقایسه با محیط بدون تنش افزایش یافت؛ درحالی‌که این صفت در گونه بروموس کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد کاهش دیرزیستی تحت شرایط تنش خشکی می‌تواند به کاهش قطر طوقه، و احتمالاً تعداد ساقه کم‌تر نسبت داده شود، که این امر بنیه گیاه را در طول سال‌های متمادی کاهش می‌دهد. به‌علاوه، دیرزیستی گراس‌های چندساله عمدتاً بستگی به حفظ پنجه‌ها دارد. درصورتی‌که پنجه‌ها در طی فصل رشد بعدی جایگزین نشوند، جمعیت کاهش می‌یابد. بنابراین، تراکم پنجه شاخص مهمی از بقای جمعیت است (۵).

خواب تابستانه یکی از مهم‌ترین صفات مرتبط با تحمل خشکی در گراس‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است که با وجود این‌که بقاء پس از خشکی و عملکرد پاییزه گراس‌ها را در این مناطق بهبود می‌بخشد، اما دانسته‌های اندکی در مورد وقوع و میزان تنوع ژنتیکی آن در گراس‌ها موجود است (۱۸ و ۲۴). در پژوهش کنونی، ژنوتیپ‌ها در هر دو گونه از نظر خواب تابستانه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند، که نشان‌دهنده وجود تنوع از نظر این صفت در ژرم‌پلاسم مورد بررسی است (نتایج نشان داده نشده است). از طرف دیگر نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی با مشخصه کاهش تولید علوفه در تابستان و در شرایط آبیاری کامل، دارای خواب ناقص هستند. این گیاهان در مقایسه با گونه‌های بدون خواب تابستانه انعطاف‌پذیری بیش‌تری نسبت به تنش خشکی داشتند. این نتیجه با یافته‌های هایز و همکاران (۱۰) هم‌خوانی دارد. در پژوهش کنونی، ژنوتیپ ۳۱ در گونه داکتی‌لیس، و ژنوتیپ‌های ۱۱، ۲۶،۳۳، ۳۴ و ۱۵ در گونه بروموس به‌عنوان ژنوتیپ‌های



شکل ۲. دیرزیستی a) ۳۶ ژنوتیپ داکتی‌لیس در شرایط بدون تنش، b) ۳۶ ژنوتیپ داکتی‌لیس در شرایط تنش خشکی، c) ۳۶ ژنوتیپ بروموس در شرایط بدون تنش، و d) ۳۶ ژنوتیپ بروموس در شرایط تنش خشکی

Fig. 2. Persistence of a) 36 genotypes of orchardgrass under normal condition, b) 36 genotypes of orchardgrass under drought stress condition, c) 36 genotypes of smooth bromegrass under normal condition, and d) 36 genotypes of smooth bromegrass under drought stress condition.

دارای حداقل خواب تابستانه شناسایی شدند. در برابر، ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۶، ۱۷، ۲۷، ۳۰، ۳۲، ۳۳ و ۳۵ در داکتی‌لیس و ژنوتیپ‌های ۶، ۸، ۲۳، ۲۴ و ۳۶ در بروموس دارای بیش‌ترین شاخص خواب تابستانه بودند. سایر ژنوتیپ‌ها درجات متفاوتی از خواب تابستانه را نشان دادند (نتایج نشان داده نشده است).

نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که شاخص خواب تابستانه با عملکرد پاییزه همبستگی مثبت و معنی‌دار دارد (ضرایب همبستگی به‌ترتیب **۰/۶۲ و **۰/۶۴ در داکتی‌لیس و بروموس) که نشان‌دهنده این است که خواب تابستانه عملکرد پاییزه را بهبود می‌بخشد (جداول ۳ و ۴ و شکل ۳). به‌علاوه، عملکرد پاییزه همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه، عملکرد علوفه خشک بهاره و تابستانه دو گونه داشت (جداول ۳ و ۴). بنابراین به‌نظر می‌رسد که خواب تابستانه با بقای بهتر و رشد مجدد پس از خواب در داکتی‌لیس و بروموس مرتبط باشد. شایمی و همکاران (۲۴) خواب تابستانه و بقای پس از خشکی اکوتیپ‌های Moroccan داکتی‌لیس را مورد ارزیابی قرار دادند و دریافتند که خواب تابستانه بقای پس از خشکی و عملکرد پاییزه گونه‌های علوفه‌ای چندساله مانند داکتی‌لیس را بهبود می‌بخشد. در فسکیوی بلند (۱۶) و چمن هاردینگ (۶) خواب ناقص، که تنها فرم شناخته‌شده خواب تابستانه در این گونه‌ها است، با بقای بهتر و برگشت‌پذیری پس از خشکی شدید تابستانه در مقایسه

جدول ۳. ضرایب همبستگی فنوتیپی صفات مختلف در ۳۶ ژنوتیپ داکتی‌لیس ارزیابی‌شده در دو محیط رطوبتی بدون تنش (بالای قطر) و تنش خشکی (پایین قطر) طی سه سال ۱۳۹۴-۱۳۹۲

Table 3. Phenotypic correlation coefficients of different traits of 36 genotypes of orchardgrass evaluated in two moisture environments of normal (above diagonal) and drought stress (below diagonal) during three years of 2013-2015.

صفات Traits	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱- تعداد روز تا خوشه‌دهی Days to heading	1	0.93**	-0.44**	-0.53**	-0.16	-0.47**	-0.49**	-0.33	-0.33*	-0.26	-0.34*	0.04	0.50**
۲- تعداد روز تا گرده‌افشانی Days to pollination	0.94**	1	-0.57**	-0.56**	-0.34*	-0.56**	-0.60**	-0.41*	-0.46**	-0.33*	-0.43**	0.04	0.44**
۳- ارتفاع بوته Plant height	-0.57**	-0.64**	1	0.51**	0.52**	0.39*	0.55**	0.45**	0.48**	0.35*	0.26	0.16	-0.01
۴- تعداد ساقه در بوته Number of stems	-0.61**	-0.62**	0.67**	1	0.61**	0.46**	0.55**	0.35*	0.51**	0.12	0.74**	0.04	0.02
۵- عملکرد علوفه بهاره Spring forage yield	-0.28	-0.40*	0.68**	0.62**	1	0.73**	0.72**	0.52**	0.61**	0.30	0.62**	0.02	0.05
۶- عملکرد علوفه تابستانه Summer forage yield	-0.33*	-0.41*	0.55**	0.66**	0.80**	1	0.90**	0.62**	0.62**	0.53**	0.57**	-0.10	-0.64**
۷- عملکرد علوفه پاییزه Autumn forage yield	-0.05	-0.20	0.42*	0.54**	0.60**	0.71**	1	0.72**	0.76**	0.63**	0.65**	0.10	-0.52**
۸- عملکرد برگشت‌پذیری Recovery yield	-0.43**	-0.46**	0.36*	0.40*	0.25	0.34*	0.37*	1	0.91**	0.89**	0.44**	0.68**	-0.29
۹- امتیاز برگشت‌پذیری Degree of recovery	-0.41*	-0.50**	0.42**	0.37*	0.15	0.16	0.24	0.85**	1	0.80**	0.63**	0.60**	-0.19
۱۰- نسبت برگشت‌پذیری Recovery ratio	-0.27	-0.34*	0.13	0.17	-0.14	-0.03	0.02	0.65**	0.86**	1	0.32	0.62**	-0.41*
۱۱- درصد برگشت‌پذیری Percentage of recovery	-0.39*	-0.45**	0.55**	0.58**	0.47**	0.56**	0.50**	0.59**	0.59**	0.40*	1	0.16	-0.02
۱۲- دیرزیستی Persistence	-0.25	-0.25	0.04	0.07	-0.14	-0.08	-0.01	0.82**	0.74**	0.69**	0.30	1	0.21
۱۳- شاخص خواب تابستانه Summer dormancy index	0.33*	0.32	0.07	0.05	-0.08	-0.15	0.17	0.10	0.15	0.13	0.03	0.19	1

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and ** significant at 5 and 1 percent probability levels, respectively

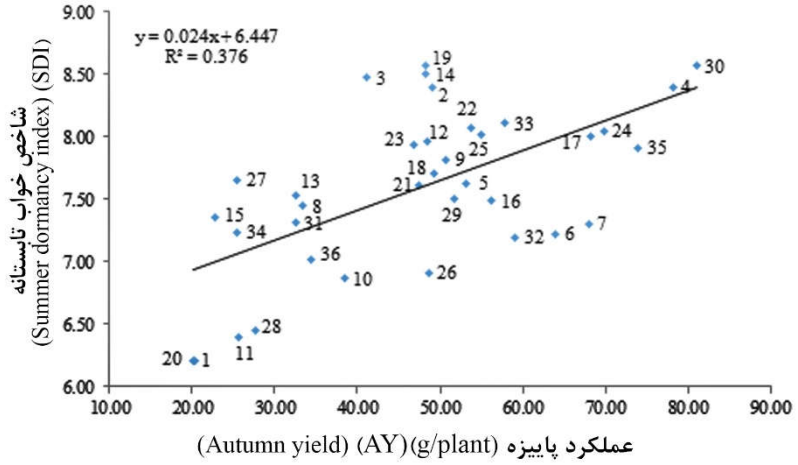
جدول ۴. ضرایب همبستگی فنوتیپی صفات مختلف در ۳۶ ژنوتیپ بروموس ارزیابی‌شده در دو محیط رطوبتی بدون تنش (بالای قطر) و تنش خشکی (پایین قطر) طی سه سال ۱۳۹۴-۱۳۹۲

Table 4. Phenotypic correlation coefficients of different traits of 36 genotypes of smooth bromegrass evaluated in two moisture environments of normal (above diagonal) and drought stress (below diagonal) during three years of 2013-2015.

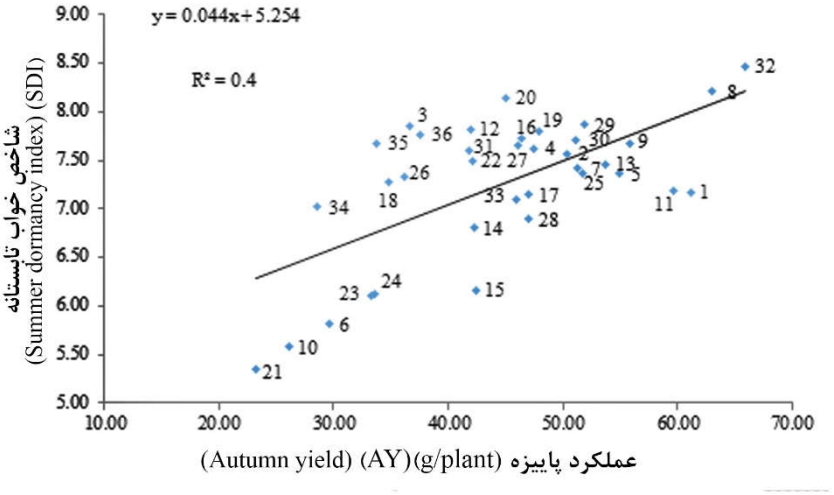
صفات Traits	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱- تعداد روز تا خوشه‌دهی Days to heading	1	0.95**	-0.36*	-0.09	0.22	0.00	-0.11	0.01	0.43**	0.02	-0.10	-0.02	0.38*
۲- تعداد روز تا گرده‌افشانی Days to pollination	0.92**	1	-0.36*	-0.07	0.29	0.03	-0.03	0.07	0.45**	0.04	-0.10	0.04	0.47**
۳- ارتفاع بوته Plant height	-0.58**	-0.53**	1	-0.01	0.08	0.06	0.17	0.06	-0.05	-0.07	-0.14	0.20	0.02
۴- تعداد ساقه در بوته Number of stems	-0.18	-0.13	0.20	1	0.66**	0.73**	0.71**	0.27	0.06	0.06	0.70**	-0.20	-0.16
۵- عملکرد علوفه بهاره Spring forage yield	0.15	0.27	0.18	0.72**	1	0.81**	0.82**	0.44**	0.45**	0.09	0.52**	-0.04	0.26
۶- عملکرد علوفه تابستانه Summer forage yield	-0.11	-0.02	0.16	0.69**	0.77**	1	0.91**	0.42*	0.30	0.08	0.68**	-0.02	-0.34*
۷- عملکرد علوفه پاییزه Autumn forage yield	-0.15	-0.04	0.29	0.68**	0.80**	0.85**	1	0.41*	0.25	-0.02	0.64**	0.13	-0.20
۸- عملکرد برگشت‌پذیری Recovery yield	0.13	0.27	0.13	0.14	0.49**	0.31	0.52**	1	0.53**	0.73**	0.24	0.31	-0.02
۹- امتیاز برگشت‌پذیری Degree of recovery	0.27	0.42*	0.05	0.18	0.61**	0.45**	0.54**	0.89**	1	0.41*	0.15	0.20	0.24
۱۰- نسبت برگشت‌پذیری Recovery ratio	0.21	0.29	0.13	-0.04	0.30	0.12	0.30	0.93**	0.83**	-0.02	-0.02	-0.16	-0.02
۱۱- درصد برگشت‌پذیری Percentage of recovery	-0.14	-0.15	-0.05	0.67**	0.50**	0.65**	0.65**	0.23	0.22	0.06	1	-0.03	0.05
۱۲- دیرزیستی Persistence	0.05	0.07	-0.05	-0.40*	-0.19	-0.20	0.01	0.40*	0.28	0.31	0.02	1	-0.04
۱۳- شاخص خواب تابستانه Summer dormancy index	0.40*	0.47**	-0.15	-0.23	0.12	-0.40*	-0.27	0.25	0.25	0.28	0.46**	0.21	1

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and ** significant at 5 and 1 percent probability levels, respectively



(a)



(b)

شکل ۳. ارتباط بین شاخص خواب تابستانه و عملکرد پاییزه در a) ۳۶ ژنوتیپ داکتی‌لیس و b) ۳۶ ژنوتیپ بروموس

Fig. 3. Relationship between summer dormancy index and autumn yield in a) 36 genotypes of orchardgrass, and b) 36 genotypes of smooth bromegrass.

با گیاهان بدون خواب تابستانه، مرتبط است. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار خواب تابستانه با عملکرد پاییزه (شکل‌های ۳a و ۳b)، ژنوتیپ‌های ۴، ۳۰ و ۳۵ در گونه داکتی‌لیس و ژنوتیپ‌های ۸ و ۳۲ در گونه بروموس به‌عنوان ژنوتیپ‌های دارای بیش‌ترین خواب تابستانه و عملکرد پاییزه برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی تولید واریته‌های ساختگی به‌منظور بهبود بقای پس از خشکی معرفی می‌شوند.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، در هر دو گونه تنوع زیادی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی وجود داشت که از این تنوع می‌توان در برنامه‌های اصلاحی به‌ویژه ایجاد ارقام متحمل به خشکی استفاده کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که گونه بروموس از قابلیت برگشت‌پذیری بیش‌تری نسبت به گونه داکتی‌لیس برخوردار است. به‌طوری‌که در هر دو محیط بدون تنش و تنش خشکی اکثر ژنوتیپ‌های بروموس پس از آبیاری

مجدد برگشت‌پذیری نسبتاً خوبی نشان دادند. با این وجود، در گونه داکتی‌لیس تعداد زیادی از ژنوتیپ‌ها در محیط تنش هیچ‌گونه برگشت‌پذیری در اثر آبیاری مجدد پس از تنش نشان ندادند و کاملاً از بین رفتند. دیرزیستی ژنوتیپ‌های گونه داکتی‌لیس در رژیم رطوبتی تنش خشکی در مقایسه با محیط بدون تنش افزایش یافت؛ درحالی‌که این صفت در گونه بروموس کاهش یافت. هر دو گونه مورد بررسی از نظر تحمل خشکی و تولید علوفه وضعیت نسبتاً مطلوبی داشتند، اما به‌نظر می‌رسد گونه بروموس از تحمل خشکی بیش‌تری برخوردار است که این یافته می‌تواند به‌دلیل سیستم ریشه‌ای و ریزوم‌های بسیار قوی در این گونه باشد.

تشکر و سپاسگزاری

در انجام این پژوهش، حمایت مالی خاصی از مؤسسات عمومی، صنعتی و غیرانتفاعی دریافت نشده است.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورد استفاده

1. Annicchiarico, P., Pecetti, L., Bouzerzour, H., Kallida, R., Khedim, A., Porqueddu, C., Simões, N.M., Volaire, F., Lelièvre, F., 2011. Adaptation of contrasting cocksfoot plant types to agricultural environments across the Mediterranean basin. *Environmental and Experimental Botany* 74: 82–89.
2. Blum, A., 2011. Plant Breeding for Water-Limited Environments. Springer, New York.
3. Casler, M.D., Duncan, R.R., 2003. Turfgrass: Biology, Genetics and Breeding. John Wiley and Sons, Inc., New York.
4. Chai, Q., Jin, F., Merewitz, E., Hung, B., 2010. Growth and physiological traits associated with drought survival and post-drought recovery in perennial turfgrass species. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 135: 125–133.
5. Cullen, B.R., Chapman, D.F., Quigley, P.E., 2005. Persistence of *Phalaris aquatica* in grazed pastures. Plant and tiller population characteristics. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 45: 41–48.
6. Culvenor, R.A., Boschma, S.B., 2005. Evaluation of (*Phalaris aquatica* L.) germplasm for persistence under grazing on the North-West Slopes, New South Wales. *Australian Journal of Agricultural Research* 56: 731–741.
7. Falconer DS, Mackay TFC (1996) Introduction to Quantitative Genetics. Longman, Harlow, UK
8. Fleta-Soriano, E., Munne-Bosch, S., 2016. Stress memory and the inevitable effects of drought: A physiological perspective. *Frontiers in Plant Science* 7: 143. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00143.
9. Gustafson, D. I., 2011. Climate change: a crop protection challenge for the twenty first century. *Pest Management Science* 67: 691–696.
10. Hayes, R.C., Dear, B.S., Li, G.D., Virgona, J.M., Conyers, M.K., Hackney, B.F., Tidd, J., 2010. Perennial pastures for recharge control in temperate drought-prone environments. Part 1: Productivity, persistence and herbage quality of key species. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 53(4): 283–302.
11. Irani, S., Majidi, M.M., Mirlohi, A., 2015. Half-sib matting and genetic analysis of agronomic, morphological and physiological traits in Sainfoin under non-stressed versus water-deficit conditions. *Crop Science* 55: 123–135.
12. Jiang, Y., Huang, B., 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrass in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science* 41: 436–442.
13. Mohammadi, S.A., Prasanna, B.M., 2003. Analysis of genetic diversity in crop plants-Salient statistical tools and considerations. *Crop Science* 43: 1235–1248.
14. Nguyen, H.T., Sleper, D.A., 1983. Theory and application of half-sib matting in forage grass breeding. *Theoretical and Applied. Genetics* 64: 187–196.
15. Nie, Z.N., Miller, S., Moore, G.A., Hackney, B.F., Boschma, S.P., Reed, K.F.M., Mitchell, M., Albertsen, T.O., Clark, S., Craig, A.D., Kearney, G., Li, G.D., Dear, B.S., 2008. Field evaluation of perennial grasses and herbs in southern Australia. Persistence, root characteristics and summer activity. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 424–435.
16. Norton, M. R., F. Volaire and F. Lelievre. 2006b. Summer dormancy in *Festuca arundinacea* Schreb., the influence

of season of sowing and a simulated mid-summer storm on two contrasting cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research* 57: 1267–1277.
17. Norton, M.R., Volaire, F., Fukai, S., Lelievre, F., 2008. Measurement of summer dormancy in temperate perennial pasture grasses. *Australian Journal of Agricultural Research* 59: 498–509.
18. Norton, M.R., Lelievre, F., Volaire, F., 2006. Summer dormancy in *Dactylis glomerata* L., the influence of season of sowing and a simulated mid-summer storm on two contrasting cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research* 57: 565–575.
19. Pirnajmedin, F., Majidi, M.M., Saeidi, G., Gheysari, M., Volaire, F., Barre, P., Osivand, A.H., Sarfaraz, D., 2017. Persistence, recovery and root traits of tall fescue genotypes with different flowering date under prolonged water stress. Euphytica 213: 269. https://doi.org/10.1007/s10681-017-2060-8.
20. Pirnajmedin, F., Majidi, M.M., Saeidnia, F., Hosseini, B., Mirlohi, A., Abdolahi, M., 2018. Genetics of post-drought recovery, persistence and summer dormancy in orchardgrass (*Dactylis glomerata*). Crop & Pasture Science 69: 1140–1149.
21. Resco, V., Ewers, B.E., Sun, W., Huxman, T.E., Weltzin, J.F., Williams, D.G., 2009. Drought-induced hydraulic limitations constrain leaf gas exchange recovery after precipitation pulses in the C3 woody legume, *Prosopis velutina*. *New Phytologist* 181: 672–682.
22. Saeidnia, F., Majidi, M.M., Mirlohi, A., Manafi, M., 2017. Productivity, persistence and traits related to drought tolerance in smooth bromegrass. *Plant Breeding* 136: 270–278.
23. Saeidnia, F., Majidi, M.M., Mirlohi, A., Spanani, S., Karami, Z., Abdollahi Bakhtiari, M., 2020. A genetic view on the role of prolonged drought stress and mating systems on post-drought recovery, persistence and drought memory of orchardgrass (*Dactylis glomerat*a L.). Euphytica 216: 91. https://doi.org/10.1007/s10681-020-02624-8.
24. Shaimi, N., Kallida, R., Volaire, F., Saidi, N., Faiz, C.A., 2009. Summer dormancy and drought survival of Moroccan ecotypes of orchardgrass. *Crop Science* 49: 1416–1424.
25. Shariatipour, N., Heidari, B., Shams, Z., Richards, Ch., 2022. Assessing the potential of native ecotypes of *Poa pratensis* L. for forage yield and phytochemical compositions under water deficit conditions. *Scientific Reports* 12: 1121. https://doi.org/10.1038/s41598-022-05024-1.
26. Staniak, M., Kocon, A., 2015. Forage grasses under drought stress in conditions of Poland. *Acta Physiologiae Plantarum* 37: 116. Doi:10.1007/s11738-015-1864-1.
27. Volaire, F., Barkaoui, K., Norton, M.R., 2014. Designing resilient and sustainable grasslands for a drier future: adaptive strategies, functional traits and biotic interactions. *European Journal of Agronomy* 52: 81–89.
28. Walter, J., Nagy, L., Hein, R., Rascher, U., Beierkuhnlein, C., Willner, E., Jentsch, A., 2011. Do plants remember drought? Hints towards a drought-memory in grasses. *Environmental and Experimental Botany* 71: 34–40.
29. Wang, Z., Huang, B., 2004. Physiological recovery of Kentucky bluegrass from simultaneous drought and heat stress. *Crop Science* 44: 1729–1736.