روابط خاک و گیاه/ سال سیزدهم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۱ / صفحات ۴۰-۲۳ مقاله پژوهشی
DOI: 10.47176/jspi.13.4.03601 EISSN: 2783-5286 https://jspi.iut.ac.ir

آثار تنش آبی بر رشد، مقدار علوفه و تنوع ژنتیکی سه گروه فنولوژیک فسکیوی بلند (*Festuca arundinacea*) در منطقه اصفهان

عباس نوروزی[۱]، محمد مهدی مجیدی[۱*] و فاطمه ابراهیمی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۴)

چکیده

توانایی تنظیم فنولوژیک و تسریع در رسیدگی یکی از مکانیسم‌های گیاهان برای تحمل به تنش کم‌آبی است. فسکیوی بلند (*Festuca arundinacea*) از گراس‌های علوفه‌ای و چمنی با ارزش است که برای جلوگیری از فرسایش خاک و نیز تولید علوفه در مراتع استفاده می‌شود و با اکثر خاک‌ها و اقلیم‌ها نیز سازگار است. در این پژوهش، آثار تنش کم‌آبی بر پتانسیل تولید و تنوع ژنتیکی سه گروه مختلف شامل گروه والدینی، گروه زودرس و دیررس گزینش شده از جامعه پایه پلی‌کراس (هر یک شامل ۲۵ ژنوتیپ) از طریق ارزیابی در دو شرایط بدون تنش و تنش کم‌آبی در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان (با عرض جغرافیایی ۲۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۶۳۰ متر) طی سال‌های زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ بررسی شد. اعمال تنش در ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک انجام شد و در شرایط بدون تنش در ۵۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک، آبیاری انجام شد. نتایج نشان داد که تنوع چشمگیری بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ صفات مطالعه شده و پاسخ به تنش کم‌آبی وجود دارد. بیش‌ترین مقدار تنوع ژنتیکی مربوط به صفت وزن علوفه بود. وزن علوفه خشک در چین اول و دوم در اثر تنش کم‌آبی به‌ترتیب ۱۷ و ۵۲ درصد کاهش پیدا کرد. بیش‌ترین برآورد وراثت‌پذیری مربوط به صفت روز تا گرده‌افشانی و کم‌ترین آن مربوط به درصد ماده خشک و وزن علوفه بود. بیش‌ترین میزان علوفه خشک در شرایط بدون تنش رطوبتی مربوط به گروه دیررس بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تحت شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی، بیش‌ترین وزن علوفه علوفه خشک در گروه زودرس به‌ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های آمریکا (۲۰۹/۵۰ گرم در بوته) و یاسوج ۲ (۱۴۲/۲۵ گرم در بوته)، در گروه دیررس به‌ترتیب ژنوتیپ‌های سمنان-شاهرود ۴ (۳۸۳ گرم در بوته) و لهستان ۱ (۱۷۸/۵۰ گرم در بوته) و در گروه والدینی (میان‌رس) ژنوتیپ سمنان-شاهرود ۴ به‌ترتیب با میانگین ۲۲۲/۵۰ و ۱۸۲/۲۵ گرم در بوته دارا بودند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارای خواب ناقص تابستانی هستند که بایستی در پژوهش‌های بعدی مورد بررسی قرار گیرند. از تنوع ژنتیکی زیاد بین و درون گروه‌های فنولوژیک و پاسخ متفاوت آن‌ها به تنش می‌توان برای توسعه ارقام ساختگی مناسب کشت در خاک‌های دارای محدودیت منابع آبی و نیز جلوگیری از فرسایش در مراتع استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: فستوکا، فنولوژی، تنش رطوبتی، مرتع.

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران
۲- پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: majidi@iut.ac.ir

مقدمه

افزایش تغییرات اقلیمی منجر به گسترش تنش‌های غیرزیستی و کاهش عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود. تنش کم‌آبی و به دنبال آن محدودیت جذب مواد غذایی از خاک از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولیدات کشاورزی در دنیا هستند (۲۲). به‌طور کلی کمبود آب زمانی رخ می‌دهد که تعادل بین عرضه و تقاضای آب در گیاه وجود نداشته باشد. از این‌رو گیاه برای سازگاری پاسخ‌های متفاوتی از طریق تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و متابولیک از خود نشان می‌دهد (۱۳). بهترین راه تحمل کم‌آبی، بررسی صفات زراعی و مورفولوژیک از لحاظ ژنتیکی و در نهایت گزینش ارقام سازگار در برابر تنش کم‌آبی و ایجاد ارقام پرمحصول است (۱۳). بدین دلیل که می‌توان با بررسی این جنبه‌ها که با پایداری عملکرد در شرایط تنش مرتبط هستند و با انتخاب صفات مناسب و مؤثر بر وزن علوفه اقدام به گزینش ارقام با عملکرد زیاد تحت شرایط تنش کم‌آبی کرد.

موفقیت در گزینش و افزایش بازه ناشی از انتخاب به میزان تنوع موجود در جمعیت بستگی دارد. این تنوع می‌تواند از طریق مطالعه نمونه‌های داخلی و ژرم‌پلاسم‌های موجود در دیگر مناطق پراکنش گیاه تأمین شود و به‌عنوان دستمایه اولیه برای بهبود صفات به‌ویژه تحمل به تنش‌ها مورد استفاده قرار گیرد. داشتن اطلاعات در خصوص کنترل ژنتیکی صفات زراعی و مورفولوژیک برای بهبود صفات ضروری است. بررسی تنوع ژنتیکی طبیعی یا مصنوعی یکی از راهکارهای دسترسی به این‌گونه اطلاعات است (۲). مطالعه تنوع ژنتیکی فرآیندی است که تفاوت یا شباهت گونه‌ها، جمعیت‌ها و یا افراد را با استفاده از روش‌ها و مدل‌های آماری خاص بر اساس صفات مورفولوژیک، اطلاعات شجره‌ای یا ویژگی‌های مولکولی افراد بیان می‌کنند (۲۹). بررسی تنوع ژنتیکی در ذخایر توارثی موجود، امکان گروه‌بندی و توصیف دقیق نمونه‌ها را فراهم آورده و تشخیص زیرنمونه‌ها و نمونه‌های مفید برای برنامه‌های بعدی را ممکن می‌سازد (۲۳).

کاشت گراس‌های علوفه‌ای به‌ویژه گونه‌های متحمل و کم‌توقع در اراضی دیم و مراتع فرسوده، ضمن جلوگیری از فرسایش خاک و هدررفت آب با تولید بهتر علوفه در شرایط نامساعد به رونق دامپروری و توسعه و حفاظت از منابع طبیعی کمک خواهد کرد. جنس فستوکا یک جنس بزرگ و متنوع با ۴۵۰ گونه است (۳۲). فسکیوی بلند (*Festuca arundinacea*) یک گراس دائمی و سرمادوست و از مهم‌ترین گونه‌های جنس فستوکا به‌شمار می‌رود. فسکیوی بلند در ایران پراکنش زیادی دارد (۱۹) و در اکثر مراتع، چراگاه‌ها و نواحی مرتفع رویش داشته و از پتانسیل زیادی برای تولید علوفه به‌صورت زراعی و مرتعی برخوردار است. این گیاه به لحاظ سازگاری وسیع با شرایط محیطی از نظر تولید علوفه، احیای مراتع و احداث چراگاه، ایجاد پوشش‌های چمنی و حفاظت درازمدت خاک به‌ویژه در زمین‌های شیب‌دار حاصلخیز مورد توجه است (۳۰). فسکیوی بلند با دارا بودن سیستم ریشه‌ای قوی و دیرزیستی زیاد به‌عنوان یکی از اجزای اصلی مراتع محسوب شده و در کشت زراعی نیز به تنهایی و یا به‌صورت مخلوط با لگوم‌ها، علوفه مطلوبی را به لحاظ کمی و کیفی تولید می‌کند، به‌طوری‌که از علوفه آن می‌توان به شکل چرای مستقیم، تولید علوفه خشک و نیز علوفه سیلو شده استفاده کرد (۳۴). رابطه همزیستی آن با قارچ اندوفیت سبب افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های زیستی و غیرزیستی و تغییر سرعت تجزیه بقایا و ویژگی‌های مختلف خاک می‌شود (۱۲). سازگاری با دامنه وسیعی از شرایط آب و هوایی، وزن خوب علوفه، سهولت در استفاده از علوفه، فصل طولانی چرا، مقاومت به بسیاری از تنش‌ها از جمله خشکی، مقاومت به بیماری‌ها و آفات از جمله حشرات مضر، تولید بذر عالی و حفاظت از خاک از ویژگی‌های مطلوب دیگر این گیاه است (۱۱).

پژوهش‌های انجام شده توسط شفر و همکاران (۳۱) نشان داد که فسکیوی بلند در بین چمن‌های فصل سرد مانند ری‌گراس (*Lolium perenne*) و کنتاکی بلوگراس (*Poa paratensis*) بهترین توانایی را در اجتناب از خشکی نشان می‌

دهد و با برخورداری از یک سیستم ریشه‌ای عمیق و گسترده می‌تواند با بهره‌برداری از رطوبت بخش‌های عمیق خاک از شرایط خشکی اجتناب کند. در پژوهشی تنوع ژنتیکی زیاد در یک مجموعه ارقام فسکیوی بلند مشاهده و کم‌ترین وراثت-پذیری برای صفت وزن مشاهده شد (۴). در پژوهشی دیگر تنوع ژنتیکی کلکسیونی از نمونه‌های فسکیوی مرتعی برای صفات عملکرد و ویژگی‌های مورفولوژیک بررسی و گزارش شد که بین ۱۸ تا ۳۶ درصد از تنوع توسط منشاء نمونه‌ها توجیه می‌شود (۵). در پژوهشی وراثت‌پذیری وزن علوفه و تاریخ ظهور خوشه فامیل‌های ناتنی فسکیوی بلند به‌ترتیب ۵۵ و ۹۲ درصد گزارش شد و بر اساس پیش‌بینی بازده ژنتیکی گزینش ۲۰ درصد از ژنوتیپ‌ها در هر نسل برای دو صفت مذکور به‌ترتیب ۱۴ و ۲۰ واحد موفقیت به همراه داشت (۱۴).

تحمل گیاه به خشکی، مجموعه‌ای از سازوکارها و پاسخ-های پیچیده است و درک مکانیزم‌های این نوع تحمل برای اصلاح گیاهان، نیازمند تشخیص فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی تحمل به خشکی به‌عنوان معیاری برای انتخاب است. این مکانیزم‌ها شامل فرار از خشکی، اجتناب از خشکی، تحمل خشکی و بهبود پس از دوره خشکی است (۹). فرار از خشکی یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های تحمل به خشکی است. بر اساس این مکانیسم گیاه در مراحل اولیه تنش، خود را به مرحله زایشی می‌رساند و با اتمام چرخه زندگی خود در مراحل اولیه تنش خشکی از خسارت ناشی از آن می‌کاهد. این مکانیزم ساده‌ترین راه سازگاری گیاه به شرایط کمبود رطوبت است. با این وجود این‌که تولید ژنوتیپ‌های مختلف در چین‌های مختلف و در گروهای گلدهی مختلف چگونه به خشکی واکنش نشان می‌دهند مشخص نیست. طی سال‌های گذشته نمونه‌های متنوعی از فسکیوی بلند جمع‌آوری شده و پاسخ‌های آن‌ها به تنش خشکی بررسی شد. پژوهش حاضر به ارزیابی پتانسیل تولید و تنوع ارقام فسکیوی بلند از نظر صفات مورفولوژیک و اثر تنش کم‌آبی بر وزن و اجزای وزن علوفه این گیاه در سه گروه فنولوژیک می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد در سال‌های زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ انجام شد. مواد ژنتیکی مورد مطالعه تعداد ۷۵ ژنوتیپ فسکیوی بلند شامل ۲۵ ژنوتیپ والدینی (که قبلاً از درون توده‌های متنوع گزینش شده بودند) و نتاج زودرس و نتاج دیرس گزینش شده از جامعه پلی‌کراس هر یک شامل ۲۵ ژنوتیپ بودند (جدول ۱). سه گروه ارقام به‌صورت طرح کرت-های خردشده در زمان (سال) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در دو محیط رطوبتی (بدون تنش و تنش کم‌آبی) کشت شدند. سه گروه شامل والدینی، نتاج زودرس و دیررس به‌عنوان عامل اصلی و سال (۱۳۹۰ و ۱۳۹۱) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایشی شامل پنج ژنوتیپ که به‌صورت کلونی تکثیر و با فاصله نیم متر کشت شدند. ارزیابی‌ها روی تک بوته انجام شد. عملیات داشت شامل آبیاری و کنترل علف‌های هرز در طی آزمایش انجام شد.

محیط‌های رطوبتی مورد استفاده شامل حالت بدون تنش کم‌آبی، با اعمال ضریب MAD_{50} (میانگین کسری از کل آب در دسترس که می‌تواند از لایه توسعه ریشه تخلیه شود بدون این‌که به گیاه تنشی وارد شود) برابر با ۵۰ درصد و محیط تنش کم‌آبی با اعمال ضریب MAD برابر با ۹۰ درصد بود (۳). مقدار تخلیه رطوبت از خاک براساس مقدار تبخیر-تعرق چمن با استفاده از روش فائو-پنمن- مانتیث و ضریب گیاهی فسکیوی بلند طی دوره رشد محاسبه شد (۳):

$$MAD_n = (\sum_{1}^{n} K_c \times ET_{0d}) / (FC - PWP) \qquad (۱)$$

حجم آب مورد استفاده برای آبیاری نیز از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$I_d = (FC\text{-}PWP) \times D \qquad (۲)$$

که در روابط فوق I_d، FC، PWP و D به‌ترتیب نشان‌دهنده عمق آب سهل‌الوصول (سانتی‌متر)، رطوبت حجمی خاک در حد گنجایش مزرعه (درصد)، رطوبت حجمی خاک در حد

جدول ۱. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و وضعیت گرده‌افشانی (روز) آنها در بررسی تأثیر تنش کم‌آبی بر فسکیوی بلند.

Table 1. The studied tall fescue genotypes and their pollination status in the assessment of the effect of water deficit stress.

نتاج دیررس Late- maturity offspring		نتاج زودرس Early- maturity offspring		والدین (میان رس) Parent (mid- maturity)		
گرده افشانی Anthesis	ژنوتیپ Genotype	گرده‌افشانی Anthesis	ژنوتیپ Genotype	گرده‌افشانی Anthesis	منشاء Origin	ژنوتیپ Genotype
60	1	47	1	50	اصفهان- یزد آباد ۱ Isfahan-Yazd Abad 1	1
58	2	53	2	48	یاسوج ۱ Yasouj 1	2
55	3	47	3	62	یاسوج ۲ Yasouj 2	3
65	4	48	4	49	اصفهان – مبارکه ۱ Isfahan- Mobarakeh 1	4
56	5	52	5	44	اصفهان– مبارکه ۲ Isfahan- Mobarakeh 2	5
57	6	48	6	54	اصفهان – داران ۱ Isfahan- Daran 1	6
54	7	51	7	56	اصفهان– داران ۲ Isfahan- Daran 2	7
56	8	52	8	50	اصفهان ۱ Isfahan 1	8
58	9	47	9	55	اصفهان ۲ Isfahan 2	9
55	10	45	10	59	ژنوتیپ خارجی آمریکا American foreign	10
53	11	53	11	53	ژنوتیپ خارجی مجارستان ۱ Hungarian foreign 1 cultivar	11
59	12	49	12	56	ژنوتیپ خارجی مجارستان ۲ Hungarian foreign 2 cultivar	12
58	13	46	13	51	ژنوتیپ خارجی مجارستان ۳ Hungarian foreign 3 cultivar	13
59	14	52	14	50	ژنوتیپ خارجی مجارستان ۴ Hungarian foreign 4 cultivar	14
56	15	52	15	52	اصفهان- یزد آباد ۲ Isfahan-Yazd Abad 2	15
53	16	47	16	45	اصفهان ۳ Isfahan 3	16
58	17	54	17	53	اصفهان ۴ Isfahan 4	17
60	18	51	18	49	سمنان – شاهرود ۱ Semnan- Shahrood 1	18
53	19	45	19	59	سمنان – شاهرود ۲ Semnan- Shahrood 2	19
54	20	55	20	48	اصفهان ۵ Isfahan 5	20
55	21	49	21	50	اصفهان ۶ Isfahan 6	21
62	22	47	22	56	ژنوتیپ خارجی – لهستان ۱ Poland foreign genotype 1	22
55	23	52	23	55	ژنوتیپ خارجی – لهستان ۲ Poland foreign genotype 2	23
55	24	50	24	47	سمنان – شاهرود ۳ Semnan- Shahrood 3	24
60	25	51	25	52	سمنان–شاهرود ۴ Semnan- Shahrood 4	25
57		49		52	Mean	میانگین

پژمردگی دائم (درصد) و عمق فعال توسعه ریشه (۶۰ سانتی‌متر) است. همچنین K_c ضریب گیاهی و ET_0 مقدار تبخیر و تعرق پایه گیاه مرجع (چمن) است.

در این پژوهش صفات تعداد روز تا خوشه‌دهی (از زمان کاشت تا ظهور سه خوشه در هر بوته)، تعداد روز تا گرده-افشانی (از زمان کاشت تا ظاهر شدن پرچم‌ها در سه خوشه از هر بوته)، طول و عرض برگ پرچم (میانگین طول و عرض برگ پرچم بر حسب سانتی‌متر روی سه پنجه بارور در زمان گرده‌افشانی)، تعداد خوشه بارور، عملکرد علوفه تر چین اول و دوم (وزن علوفه تازه بر حسب گرم در بوته در چین اول و دوم)، عملکرد علوفه خشک چین اول و دوم (وزن خشک علوفه بر حسب گرم در بوته پس از ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در آون)، درصد ماده خشک چین اول و دوم (نسبت وزن خشک علوفه به وزن تازه علوفه ضرب در ۱۰۰)، قطر یقه پس از هر برداشت (قطر طوقه (پوشش ریزومی سطح خاک) پس از برداشت بوته از ۵ سانتی‌متری زمین) و ارتفاع گیاه دو هفته پس از برداشت (ارتفاع بلندترین ساقه بر حسب سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد.

تجزیه مرکب برای دو محیط رطوبتی در قالب طرح کرت‌های خردشده در زمان (برای سه گروه رسیدگی و دو سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱) و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال یک درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 انجام شد. همچنین اجزای تشکیل‌دهنده واریانس با استفاده از امید ریاضی میانگین مربعات طرح آماری برآورد و سپس قابلیت توارث، ضرایب تنوع ژنتیکی محاسبه شد. به‌منظور محاسبه قابلیت توارث عمومی در هر محیط از روابط زیر استفاده شد. در رابطه زیر h^2 وراثت‌پذیری عمومی، CV_g ضریب تنوع ژنتیکی، σ^2_g واریانس ژنوتیپی و σ^2_p واریانس فنوتیپی است. در نهایت ارقام به روش Ward (۳۳) و با استفاده از نرم‌افزار SPSS گروه‌بندی شدند:

$$CV_g = \frac{\sqrt{\sigma_{2_g}}}{\overline{X}} \qquad (۳)$$

$$h^2 = \frac{\sigma_{2_g}}{\sigma_{2_p}} \qquad (۴)$$

نتایج

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که بین دو وضعیت رطوبتی خاک (بدون تنش و تنش کم‌آبی) تفاوت معنی‌داری برای همه صفات مورد بررسی به استثنای روز تا خوشه‌دهی و ارتفاع گیاه وجود داشت. تفاوت معنی‌داری از نظر صفات اندازه‌گیری شده بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در سطح یک درصد مشاهده شد که حاکی از تنوع و گوناگونی زیاد در ژرم-پلاسم مورد مطالعه بود. اثر برهم‌کنش تنش × ژنوتیپ بر همه صفات مورد مطالعه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود.

آمار توصیفی مربوط به صفات مورد مطالعه در ارقام فسکیوی بلند شامل میانگین، ضرایب تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری عمومی صفات در جدول (۳) نشان داده شده‌اند. میانگین وزن علوفه خشک در چین اول در حالت بدون تنش ۱۳۹/۷۱ گرم در بوته و در حالت تنش کم‌آبی ۱۱۶/۵۵ گرم در بوته مشاهده شد که کاهش ۱۷ درصدی در اثر تنش کم‌آبی را نشان می‌دهد. در چین دوم، وزن علوفه خشک در حالت بدون تنش ۵۲/۱۲ گرم در بوته بود که با کاهش ۵۲ درصدی در حالت اعمال تنش کم‌آبی به میزان ۲۷/۷۹ گرم در بوته رسید. در بین صفات مورد بررسی، بیش‌ترین مقدار ضریب تنوع ژنتیکی در حالت بدون تنش و تنش کم‌آبی را به‌ترتیب صفات عملکرد علوفه خشک چین اول و درصد ماده خشک چین دوم دارا بودند. کم‌ترین میزان ضریب تنوع ژنتیکی در شرایط بدون تنش و تنش کم‌آبی مربوط به صفات درصد ماده خشک چین دوم و روز تا گرده افشانی بود. در حالت بدون تنش بیش‌ترین وراثت‌پذیری عمومی مربوط به صفت روز تا خوشه‌دهی (۸۰/۸۸ درصد) و کم‌ترین میزان مربوط به صفت عملکرد علوفه تر چین دوم (۲۶/۵۶ درصد) بود. این در حالی است که در حالت تنش کم‌آبی، بیش‌ترین وراثت‌پذیری مربوط به روز تا خوشه‌دهی (۸۱/۵۳ درصد) و کم‌ترین میزان مربوط به صفت عملکرد علوفه خشک چین اول (۴۳/۳۳ درصد) بود.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس صفات مختلف در ارزیابی ژنوتیپ‌های فسکیوی بلند تحت دو محیط رطوبتی در دو سال.

Table 2. Results of the analysis of variance of different traits in evaluation of tall fescue genotypes under two moisture environments during two years.

	میانگین مجموع مربعات Mean sum of squares								
منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	روز تا خوشه‌دهی Day to heading	روز تا گرده‌فشانی Day to anthesis	تعداد خوشه بارور Number of fertile spikes	ارتفاع گیاه Plant height	وزن علوفه خشک چین اول Dry forage of the first cut	قطر یقه چین اول Crown diameter of the first cut	وزن علوفه خشک چین دوم Dry forage of the second cut	قطر یقه چین دوم Crown diameter of the second cut
تنش Stress	1	84.00$^{n.s}$	834.20**	1106.70*	113.90$^{n.s}$	76714.00*	7600.00**	146827**	6540**
تکرار (تنش) Replication (stress)	4	24.50	4.00	13.90	154.20	1363.00	4.40	743	3.40
ژنوتیپ Genotype	74	400.60**	226.40**	8417.30**	862.80**	3746.00**	198.90**	2730.40**	200.30**
تنش × ژنوتیپ Stress × Genotype	74	75.60**	54.80**	3685.60**	255.60**	1487.00**	75.80**	1614.60**	77.20**
تکرار (تنش × ژنوتیپ) Replication (Stress × Genotype)	294	16.80**	9.70**	95.50**	48.60**	170.00$^{n.s}$	10.60**	145.30**	10.60**
سال Year	1	29.00**	0.07$^{n.s}$	21040**	3723.60**	6803.00**	1854.20]*	295.33**	2807.08**
سال× تنش Year × Stress	1	195.10**	94.30**	4787.2**	363.60**	2935.00**	38.80**	67.60$^{n.s}$	34.90**
سال × ژنوتیپ Year × Genotype	74	12.30**	7.60**	1854.3**	167.20**	4115.00**	18.70**	270.90**	20.50**
سال × تنش × ژنوتیپ Year × Stress × Genotype	74	8.10**	4.00**	1036.9**	89.40**	2327.00**	13.30**	297.10**	14.20**
ضریب تغییرات ٪ Coefficient of variation %		5.50	1.50	12.2	29.80	12.30	9.50	20.80	9.60

ns، * و** به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

^{ns}, * and ** indicate non-significant, and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

مقایسه میانگین ۳ گروه ارقام فسکیوی بلند برای صفت وزن علوفه خشک به تفکیک چین در جدول (۴) نشان داده شده‌اند. میانگین وزن علوفه خشک در سه گروه زودرس، دیررس و والدینی در چین اول به‌ترتیب برابر ۱۲۶/۶۸، ۱۳۶/۵۸ و ۱۲۰/۷۵ گرم در بوته و برای چین دوم برابر ۴۰/۷۳، ۴۰/۳۶ و ۳۴/۷۱ گرم در بوته بود. در گروه زودرس بیش‌ترین وزن علوفه در چین اول و دوم به‌ترتیب مربوط به ارقام ۲۱ و ۱۰ با میانگین وزن ۲۳۲/۲۵ و ۷۵/۷۵ گرم در بوته با اختلاف معنی‌داری از سایر ارقام بود. در گروه دیررس بیش‌ترین وزن در چین اول و دوم به‌ترتیب مربوط به ارقام ۳ و ۲۵ با میانگین وزن ۴۳۲/۷۵ و ۹۴/۴۰ گرم در بوته بود. در گروه والدینی، ارقام ۲۵ و ۲۱ با میانگین وزن ۳۳۳/۲۵ و ۹۴ گرم در بوته بیش‌ترین مقدار وزن علوفه خشک را به‌ترتیب در چین اول و دوم به خود اختصاص دادند.

نتایج مقایسه میانگین وزن علوفه خشک در دو حالت بدون تنش و تنش کم‌آبی به تفکیک گروه‌ها (جدول ۵) نشان داد که در گروه زودرس در حالت بدون تنش و تنش کم‌آبی بیش‌ترین وزن به‌ترتیب مربوط به ارقام ۱۰ و ۳ با میانگین وزن ۲۰۹/۵۰

جدول ۳. آمار توصیفی، ضرایب تنوع و وراثت پذیری صفات در ارقام فسکیوی بلند در دو محیط رطوبتی.

Table 3. Descriptive statistics, coefficients of diversity and heritability of traits in tall fescue cultivars in two moisture environments.

وراثت‌پذیری عمومی (٪) Broad sense heritability (%)			ضریب تنوع ژنتیکی (٪) Coefficient of genetic variation (%)		میانگین Mean		صفت Trait
کل Total	تنش Stress	بدون تنش Non-stress	تنش Stress	بدون تنش Non-stress	تنش Stress	بدون تنش Non-stress	
72.55	81.53	80.88	17.43	15.98	36.49	36.83	روز تا خوشه‌دهی Day to heading
61.61	73.64	73.32	8.57	8.41	50.58	52.89	روز تا گرده‌افشانی Day to anthesis
57.05	66.28	63.80	13.53	17.81	11.41	8.91	طول برگ پرچم (سانتی‌متر) Flag leaf lengh (cm)
56.51	59.38	54.63	43.77	28.51	0.59	0.50	عرض برگ پرچم (سانتی‌متر) Flag leaf width (cm)
35.57	54.84	49.94	23.55	42.68	72.62	65.47	تعداد خوشه بارور Number of fertile spikes
48.59	65.87	63.72	24.47	14.03	80.99	78.92	ارتفاع چین اول (سانتی‌متر) Plant height in the first cut (cm)
31.51	56.65	68.44	18.12	59.34	204.40	388.24	علوفه تازه چین اول (گرم در بوته) Fresh forage of the first cut (g/plant)
37.29	43.33	45.43	49.65	72.45	116.55	139.71	علوفه خشک چین اول (گرم در بوته) Dry forage of the first cut (g/plant)
8.02	63.64	59.96	47.02	11.20	57.90	34.94	درصد ماده خشک چین اول Percentage of dry matter of the first cut
53.05	62.40	72.94	8.90	19.72	17.03	23.20	قطر یقه چین اول (سانتی‌متر) Crown diameter of the first cut (cm)
36.06	69.12	67.86	19.82	28.02	13.12	21.80	ارتفاع چین دوم (سانتی‌متر) Plant height in the second cut (cm)
21.93	52.28	36.56	27.36	57.48	55.24	141.50	علوفه تازه چین دوم (گرم در بوته) Fresh forage of the second cut (g/plant)
24.94	60.32	55.52	49.20	54.36	24.79	52.12	علوفه خشک چین دوم (گرم در بوته) Dry forage of the second cut (g/plant)
8.03	58.69	51.97	51.44	6.08	45.42	37.62	درصد ماده خشک چین دوم Percentage of dry matter of the second cut
51.62	75.93	72.50	14.04	20.00	17.13	23.21	قطر یقه چین دوم (سانتی‌متر) Crown diameter of the second cut (cm)

جدول ۴. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های فسکیوی بلند برای صفت وزن علوفه خشک (گرم در بوته) در چین اول و دوم.

Table 4. Mean comparison of tall fescue cultivars for dry forage yield in the first and second cuts.

گروه والدین Parental group		گروه دیررس Late maturity group		گروه زودرس Early maturity group		ژنوتیپ Genotype
چین دوم Second cut	چین اول First cut	چین دوم Second cut	چین اول First cut	چین دوم Second cut	چین اول First cut	
47.00	145.75	30.25	126.75	56.75	167.50	1
56.75	179.00	24.42	93.50	21.25	56.00	2
4.50	56.00	79.28	432.75	58.50	270.00	3
34.80	89.00	30.00	68.50	54.75	108.75	4
37.25	113.50	45.50	74.25	44.00	117.50	5
33.00	96.00	25.50	84.50	44.75	146.75	6
11.80	69.70	23.25	67.25	33.75	119.25	7
54.20	148.20	27.25	91.25	28.30	102.60	8
17.00	80.50	17.50	80.50	39.25	125.25	9
5.50	75.50	32.50	90.25	75.75	172.50	10
48.75	173.25	44.75	149.75	30.50	104.25	11
31.00	113.75	24.25	64.75	24.50	96.25	12
15.80	54.30	29.75	107.50	27.25	120.75	13
26.50	92.75	28.70	78.30	36.50	84.00	14
46.00	125.50	77.20	221.30	21.75	46.25	15
22.00	84.00	41.75	118.25	51.25	143.25	16
35.75	122.75	32.00	97.00	32.50	90.90	17
45.75	190.00	52.00	148.00	35.33	101.25	18
14.50	39.75	25.25	98.50	49.00	145.50	19
14.50	66.70	48.25	95.25	34.25	99.50	20
94.00	247.50	47.25	186.50	57.50	232.25	21
40.50	101.75	43.50	250.25	42.25	151.00	22
31.75	122.25	28.50	88.50	58.75	141.25	23
27.75	98.25	58.25	201.50	26.00	110.25	24
71.50	333.25	92.40	299.80	34.00	114.25	25
34.71	120.75	40.36	136.58	40.73	126.68	میانگین Mean
1.93	4.47	2.38	3.85	3.55	3.03	LSD5%

و ۱۴۲/۲۵ گرم در بوته بود. در گروه دیررس ارقام ۲۵ و ۲۲ با میانگین وزن ۳۸۳ و ۱۷۸/۵۰ گرم در بوته بیش‌ترین وزن را به‌ترتیب در شرایط بدون تنش و اعمال تنش رطوبتی دارا بودند. در گروه والدینی (میان‌رس)، ژنوتیپ ۲۵ بیشینه تولید علوفه خشک در هر دو شرایط شاهد و تنش رطوبتی را به‌ترتیب با میانگین ۲۲۲/۵۰ و ۱۸۲/۲۵ گرم در بوته به خود اختصاص داد. درصد کاهش وزن علوفه خشک تحت تأثیر تنش در گروه والدینی، دیررس، و زودرس به‌ترتیب برابر ۶/۹۷، ۳۵/۱۲ و ۲۶/۹۸ بود.

مقایسه میانگین صفت علوفه خشک چین اول و دوم در سه گروه مورد بررسی در شکل (۱) نشان داده شده است. در چین اول بیش‌ترین میزان علوفه خشک را گروه دیررس با اختلاف معنی‌داری نسبت به دو گروه دیگر به خود اختصاص داد. در

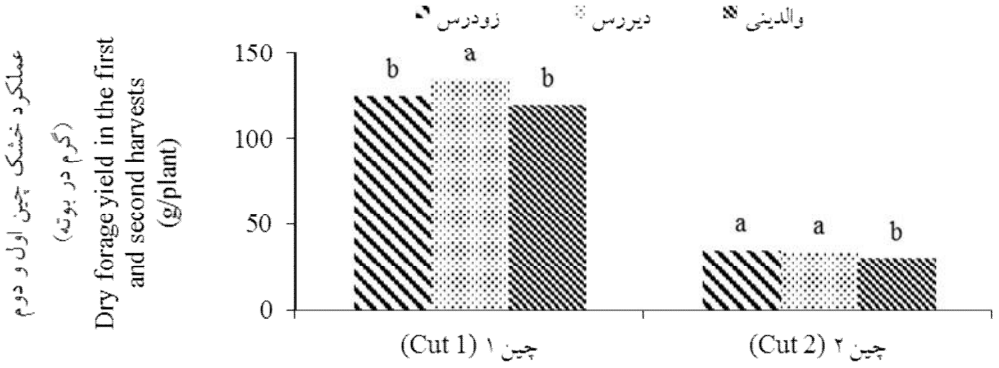
جدول ۵. مقایسه میانگین ارقام فسکیوی بلند برای وزن علوفه خشک تحت شرایط تنش کم‌آبی (میانگین وزن چین اول و دوم، گرم در بوته).

Table 5. Mean comparison of tall fescue cultivars for dry forage yield under water deficit stress condition (mean of first and second harvests, g/plant).

گروه والدین Parental group			گروه دیررس Late maturity group			گروه زودرس Early maturity group			ژنوتیپ Genotype
درصد تغییرات Percentage of changes	بدون تنش Non-stress	تنش Stress	درصد تغییرات Percentage of changes	بدون تنش Non-stress	تنش Stress	درصد تغییرات Percentage of changes	بدون تنش Non-stress	تنش Stress	
45	124.00	68.75	-3	75.50	79.50	3	113.50	110.75	1
-15	109.75	126.00	-99	39.50	78.41	-41	32.00	45.25	2
-75	22.00	38.50	66	381.50	130.50	24	186.25	142.25	3
-39	53.50	74.50	-19	45.00	53.50	52	110.50	53.00	4
-7	73.00	77.75	11	63.25	56.50	27	93.25	86.25	5
56	89.50	39.50	-240	25.00	85.00	24	108.50	83.00	6
-123	27.25	61.00	21	50.50	40.00	44	98.00	55.00	7
78	147.00	32.50	9	62.00	56.50	42	78.75	45.50	8
-136	29.00	68.50	14	52.75	45.25	24	93.50	71.00	9
-55	31.75	49.25	66	91.25	31.25	82	209.50	38.75	10
10	117.00	105.00	50	129.50	65.00	0.40	67.50	67.25	11
1	72.75	72.00	-66	33.50	55.50	32	72.00	48.75	12
24	38.75	29.50	0.40	68.75	68.50	5	75.75	72.25	13
21	66.50	52.75	43	64.50	37.00	15	65.00	55.50	14
45	111.00	60.50	79	218.75	45.00	16	37.00	31.00	15
22	59.50	46.50	53	108.50	51.50	-2	96.25	98.25	16
-58	61.50	97.00	39	80.25	48.75	37	72.50	45.50	17
39	146.50	89.25	27	115.50	84.50	24	77.50	59.08	18
-82	19.25	35.00	53	84.25	39.50	48	127.75	66.75	19
-10	39.00	43.00	63	104.75	38.75	43	85.00	48.75	20
0	170.75	170.75	-17	107.50	126.25	26	166.75	123.00	21
40	88.75	53.50	-55	115.25	178.50	32	115.25	78.00	22
-360	27.50	126.50	53	79.75	37.25	35	121.25	78.75	23
43	80.00	46.00	39	161.75	98.00	-40	56.75	79.50	24
18	222.50	182.25	81	383.00	71.50	-40	61.75	86.50	25
6.97	81.91	76.20	35.12	106.06	68.81	26.98	96.87	70.73	میانگین Mean
	11.38	15.63		14.20	8.68		13.82	11.13	LSD5%

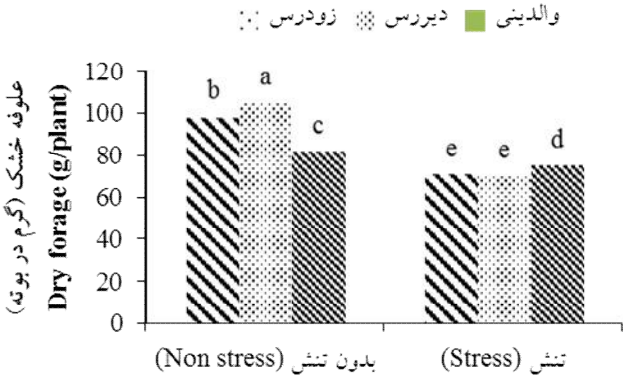
درصد تغییرات: تغییرات وزن علوفه خشک در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش‌آبی

Percentage of changes: Changes in dry forage yield under water deficit stress condition relative to non-stress condition



شکل ۱. مقایسه میانگین صفت وزن علوفه خشک در سه گروه (زودرس، دیررس و والدینی) فسکیوی بلند در چین اول و دوم.

Fig. 1. Mean comparison of dry forage yield in three groups of tall fescue (early maturity, late maturity groups and parental) in the first and second harvests.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تنش × گروه برای کل وزن علوفه خشک فسکیوی بلند.

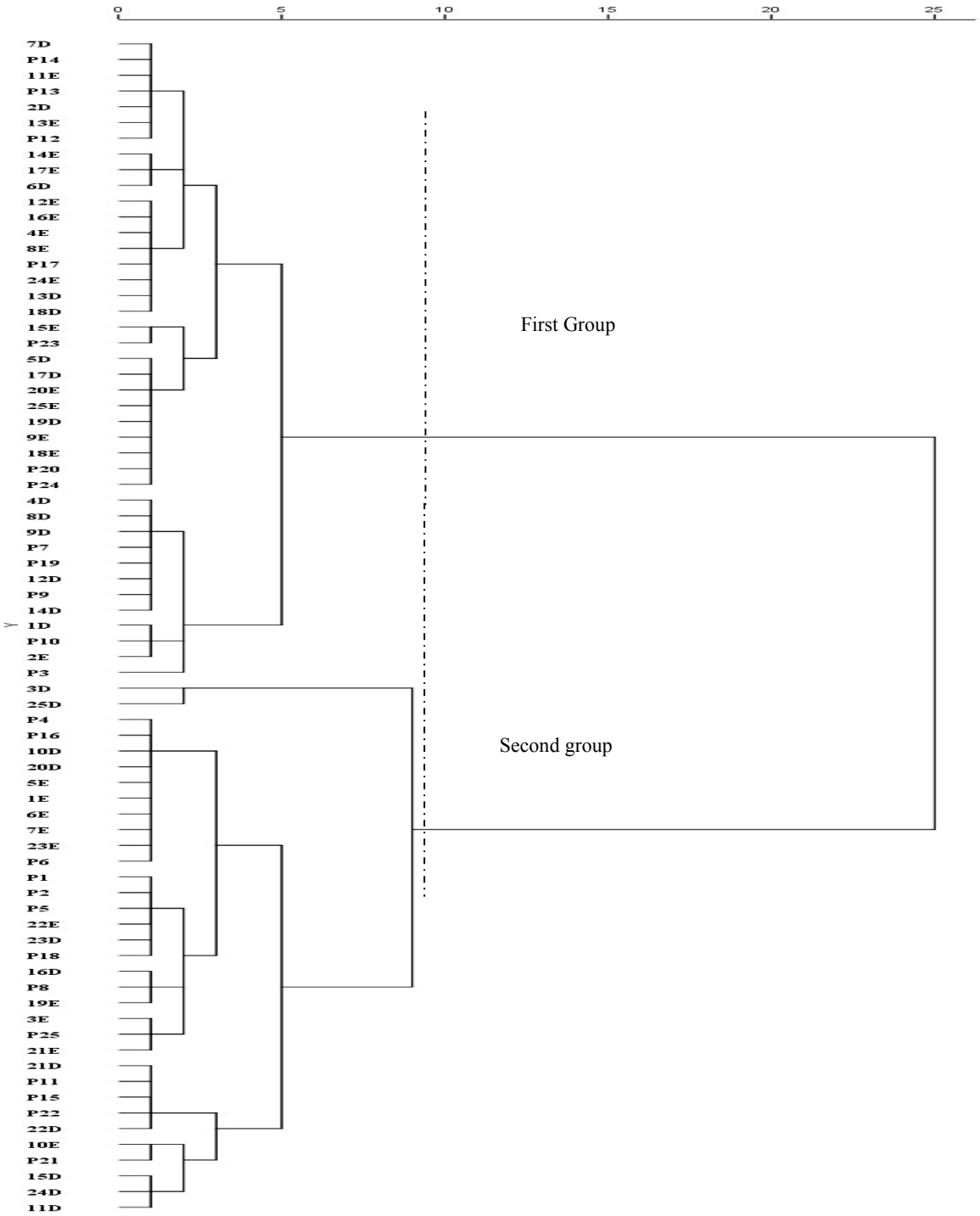
Fig. 2. Mean comparison of the groups by stress interaction for dry forage yield in tall fescue.

چین دوم هر سه گروه کاهش عملکرد قابل توجهی را نسبت به چین اول داشتند. اما گروه والدینی کاهش وزن بیش‌تری را با اختلاف معنی‌دار نسبت به دو گروه دیگر نشان داد. در شکل (۲) مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تنش و گروه فنولوژیک بر صفت عملکرد علوفه خشک نشان داده شده است. برای صفت عملکرد علوفه خشک در حالت بدون تنش، بین سه گروه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. گروه دیررس بیش‌ترین و گروه والدینی کم‌ترین میزان وزن علوفه خشک را به خود اختصاص دادند. در حالت تنش کم آبی، گروه والدینی بیش‌ترین میزان وزن علوفه خشک را نسبت به دو گروه دیگر نشان داد.

در این پژوهش به‌منظور گروه‌بندی ارقام در هر کدام از شرایط رطوبتی، تجزیه خوشه‌ای به روش Ward (۳۳) بر روی صفات مورد مطالعه انجام شد و از فاصله اقلیدسی به‌عنوان معیار تشابه استفاده شد (شکل ۳ و ۴). گروه‌بندی بر اساس تجزیه خوشه‌ای در شرایط بدون تنش توانست ارقام را در دو گروه مجزا قرار دهد (شکل ۳). در این گروه‌بندی، ۴۱ ژنوتیپ در گروه اول قرار گرفتند، ارقام این گروه از نظر صفات روز تا خوشه‌دهی و روز تا گلدهی در حد بالایی بودند. سایر ارقام (۳۴ ژنوتیپ) در گروه دوم قرار گرفتند، این ژنوتیپ‌ها از نظر کلیه صفات به‌استثنای صفات روز تا خوشه‌دهی و روز تا گلدهی در بیش‌ترین سطح قرار داشتند. در شرایط تنش کم‌آبی، گروه‌بندی بر اساس تجزیه خوشه‌ای ارقام فسکیوی بلند را در سه گروه قرار داد (شکل ۴). در گروه اول ۳۲ ژنوتیپ وجود داشت. ارقام این گروه دارای ارتفاع زیاد، درصد ماده خشک چین دوم بیش‌تر، روز تا خوشه‌دهی و روز تا گلدهی کم‌تر و وزن علوفه متوسط بودند. درحالی‌که در گروه دوم که شامل ۷ ژنوتیپ بود ارقام با طول و عرض زیاد برگ پرچم، وزن علوفه تازه و وزن علوفه خشک زیاد و همچنین قطر زیاد یقه در چین اول و دوم قرار داشتند. گروه دوم از نظر خصوصیت فنولوژیک در گروه والدینی قرار گرفت. گروه سوم شامل ۳۶ ژنوتیپ مورد بود که از نظر همه صفات مورد مطالعه به‌استثنای درصد ماده خشک چین اول دارای کم‌ترین مقدار بودند.

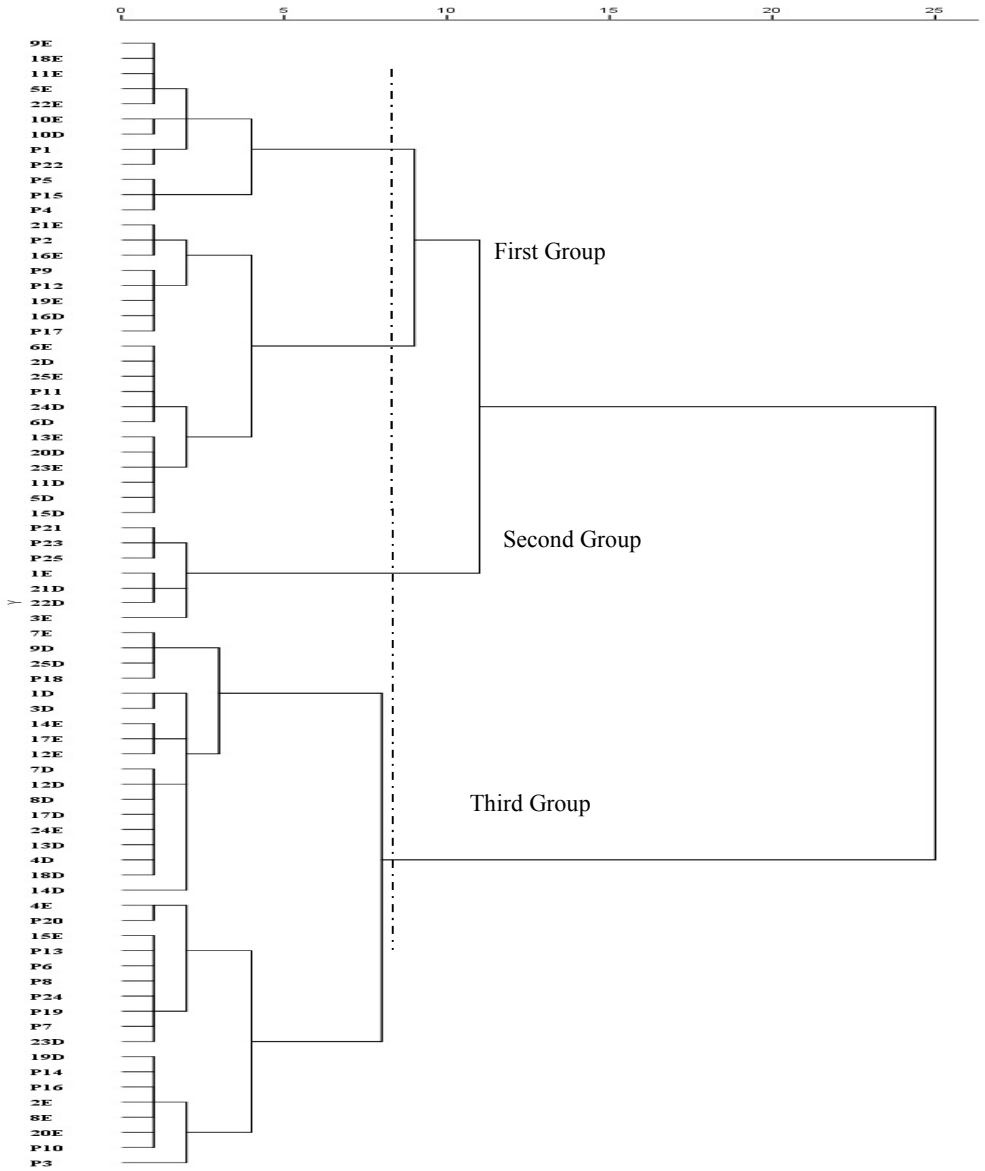
بحث

نتایج این پژوهش حاکی از آن است که تنوع زیادی در بین ژرم‌پلاسم مورد مطالعه در هر دو شرایط رطوبتی وجود دارد. تنوع ژنتیکی موجود در ژرم پلاسم مورد مطالعه به لحاظ این‌که با تأثیر گرفتن از شرایط محیطی شکل گرفته و مدت‌های مدیدی در طبیعت سازگار شده‌اند از ارزش بسیار زیادی برخوردار هستند. زیرا نمونه‌های مورد مطالعه در طول هزاران سال تحت شرایط محیطی سخت فرآیندهای تکاملی را طی کرده و ژن‌های مفیدی را در خود توسعه داده‌اند که می‌توانند برای توسعه و تولید ارقام با اهداف مختلف و سازگار به شرایط رطوبتی مختلف به‌کار گرفته شود.



شکل ۳. تجزیه خوشه‌ای بر مبنای فاصله اقلیدسی در ۷۵ ژنوتیپ فسکیوی بلند با استفاده از صفات مورفولوژیک در شرایط بدون تنش در فسکیوی بلند.

Fig. 3. Cluster analysis based on Euclidean distance in 75 tall fescue genotypes using morphological traits under non-stress condition in tall fescue.



شکل ۴. تجزیه خوشه‌ای بر مبنای فاصله اقلیدسی در ۷۵ ژنوتیپ فسکیوی بلند با استفاده از صفات مورفولوژیک در شرایط تنش در فسکیوی بلند.

Fig. 4. Cluster analysis based on Euclidean distance in 75 tall fescue genotypes using morphological traits under stress condition in tall fescue.

عملکرد علوفه خشک چین اول و درصد ماده خشک چین دوم (جدول ۳) در شرایط بدون تنش و تنش کم‌آبی دارای بیش‌ترین تنوع ژنتیکی بودند. از تنوع زیاد در صفات مذکور می توان برای بهبود این صفات و صفات مرتبط استفاده کرد. تنوع ژنتیکی کم برای صفات روز تا گرده‌افشانی (جدول ۳) نشان داد که نوعی یکنواختی نسبی بین ارقام از نظر زمان گلدهی گیاه وجود دارد که می‌تواند انجام پلی‌کراس و آزمون نتاج ارقام را در پژوهش های بعدی تسهیل کند. زیرا این صفت از مهم‌ترین صفات تعیین‌کننده آزادگرده‌افشانی تصادفی است (۲۵). در مطالعه محمدی و همکاران (۲۴) روی فسکیوی بلند، صفت وزن علوفه بیش‌ترین تنوع ژنتیکی و صفت ارتفاع بوته کم‌ترین مقدار این ضریب را داشتند. وراثت‌پذیری زیاد در صفات روز

تا خوشه‌دهی و روز تا گرده‌افشانی بیانگر این است که تنوع فنوتیپی در این صفات بیش‌تر تحت کنترل عوامل ژنتیکی است. وجود تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری زیاد برای صفات سبب افزایش بازده ناشی از گزینش در بهبود این صفات خواهد شد. همچنین وراثت‌پذیری کم صفت عملکرد علوفه تازه چین دوم و وزن علوفه خشک چین اول (جدول ۳) به‌ترتیب در شرایط بدون تنش و تنش کم‌آبی نشان می‌دهد که احتمالاً بهبود این صفات از طریق سایر صفاتی که همبستگی ژنتیکی زیادی با آن‌ها دارند مؤثرتر خواهد بود. وجود این اختلاف در وراثت‌پذیری در چین‌های مختلف می‌تواند به دلیل این باشد که وزن علوفه یک صفت پیچیده بوده و در ارزیابی آن عوامل محیطی و نیز برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط دخالت دارند. بنابراین بهتر است برای برآورد دقیق‌تر وراثت‌پذیری وزن از آزمون‌های وزن در مناطق و طی سال های مختلف استفاده شود. امینی (۴) برای صفت طول خوشه، عرض برگ پرچم، قطر یقه پس از چین اول و باروری خوشه به‌ترتیب ۹۲، ۳۱، ۳۸ و ۵۸ درصد وراثت‌پذیری عمومی را گزارش کرد. جعفری و جوارسینه (۱۴) وراثت‌پذیری عمومی ۵۵ درصد برای وزن علوفه، ۹۲ درصد روز تا خوشه‌دهی، ۵۰ درصد ارتفاع بوته و ۶۸ درصد برای قطر یقه را در فسکیوی گزارش کردند. مجیدی (۱۸) وراثت‌پذیری وزن علوفه تازه و علوفه خشک در بوته به‌ترتیب ۴۳ و ۴۴ درصد در گیاه فسکیوی بلند گزارش کرد. پژوهش‌ها در مورد گراس‌های مختلف از جمله فسکیو مرتعی *Festuca pratensis* (۱) چچم چند ساله *Lolium perenne* (۶)، فسکیوی بلند (۲۶) و تیموتی *Phleum pratense* (۲۷) نشان داده است که روز تا خوشه‌دهی یکی از صفات با وراثت‌پذیری زیاد است.

در این پژوهش وزن علوفه خشک در چین دوم نسبت به چین اول در هر سه گروه والدینی، زودرس و دیررس در هر دو شرایط بدون تنش و تنش کم آبی کم‌تر بود. اصولاً عملکرد گیاهان علوفه‌ای در مناطق معتدل در چین‌های متوالی در طول فصل رشد همراه با گرم شدن هوا، به‌ویژه در شرایط کشت آبی کاهش می‌یابد. این کاهش به دلیل افزایش تنفس گیاه، کاهش ذخایر هیدروکربن‌های غیرساختمانی در ریشه و طوقه، کاهش طول دوره رشد مجدد و کاهش تثبیت نیتروژن است (۲۰). کاهش وزن در چین دوم به وجود خواب تابستانه ناقص در گراس ها نیز می‌تواند مربوط باشد. خواب تابستانه یکی از مهم‌ترین صفات مرتبط با اجتناب از خشکی در گراس‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است و یک مکانیسم سازگاری است که در شرایط محیطی خاصی مانند طول روز بلند و دمای زیاد القا می‌شود. خواب تابستانه صفت پیچیده‌ای است که به‌صورت اندوژنیک کنترل می‌شود. گیاهانی که دارای خواب تابستانه هستند، حتی در صورت وجود بارندگی‌های تابستانه، مواد غذایی و رطوبت کافی دچار توقف یا کاهش رشد می‌شوند (۳۱). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های این ژرم‌پلاسم با مشخصه مهار تولید علوفه در طی تابستان احتمالاً دارای خواب ناقص هستند که بایستی در پژوهش‌های بعدی مورد بررسی قرار گیرند.

بیش‌ترین میزان علوفه خشک در شرایط بدون تنش مربوط به گروه دیررس بود. زیاد بودن وزن علوفه گروه دیررس در شرایط بدون تنش می‌تواند به این علت باشد که گروه مذکور، دیرتر وارد مرحله زایشی می‌شود و در نهایت تولید علوفه بیش‌تری را به خود اختصاص دهد. از پتانسیل ژنتیکی ارقام با وزن زیاد می‌توان برای بهبود صفات مورفولوژیک و توسعه رقم‌های با وزن زیاد استفاده کرد (۹).

در پژوهش حاضر تنش کم‌آبی میانگین وزن علوفه را در گروه‌های زودرس، دیررس و والدینی به‌ترتیب ۲۷، ۳۵ و ۷ درصد کاهش داد. کاهش در وزن علوفه در گیاهان علوفه‌ای در اثر تنش کم‌آبی توسط دیگر پژوهش‌گران نیز گزارش شده است (۸ و ۲۱). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بین ژنوتیپ ها از نظر میزان تأثیرپذیری از تنش تنوع وجود دارد (جدول ۳). این تنوع می‌تواند ناشی از تنوع در سایر ویژگی‌های درگیر در مسیر تولید اقتصادی گیاه باشد. در اکثر گراس‌ها کاهش بخش هوایی یک سازوکار مناسب برای سازگاری با شرایط تنش شدید

کم‌آبی است (۱۶). کاهش تولید در گراس‌ها در اثر تنش کم‌آبی به کاهش سطح یا لوله‌ای شدن برگ (۷) و همچنین تولید و افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن (۱۵) نسبت داده شده است. فو (۱۰) با بررسی اثر تنش کم‌آبی بر ارقام فسکیوی بلند، نشان داد زمانی‌که خاک رویین تا عمق ۲۰ سانتی‌متر خشک شود وزن علوفه خشک و تازه به‌شدت کاهش می‌یابد. ابراهیمیان و همکاران (۹) گزارش کردند که تنش کم آبی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد فسکیوی بلند دارد. در این پژوهش ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی بر اساس همه صفات اندازه‌گیری شده در گروه‌های متفاوتی قرار گرفتند که هر گروه از نظر دو یا چند صفت مورفولوژیک برتری داشت. گروه‌بندی نتوانست ژنوتیپ‌ها را از نظر منشأ جغرافیایی به‌طور کامل جدا کند. نامتجانسی، بکر بودن و تنوع ژنتیکی زیاد در نمونه‌های مورد بررسی را از جمله عوامل این عدم هم‌ترازی در گیاهان دگرگشن می‌دانند (۱۷ و ۲۸). همچنین پدیده جریان ژنی یا مهاجرت نیز موجب کسب آلل‌های یکسان در جوامع مختلف شده و در نهایت با ایجاد خزانه ژنی مشترک اختلافات میان جوامع دور را کاهش داده و حتی گاهی جوامع دور را به یک جامعه تبدیل می‌کند به‌طوری که مانع از انعکاس تفاوت‌های ناشی از سازگاری منطقه‌ای در ژنوتیپ‌ها می‌شود (۱۷). ژنوتیپ هایی که در گروه‌های متفاوت قرار می‌گیرند دارای بیش‌ترین فاصله ژنتیکی نسبت به یکدیگر هستند و می‌توانند برای انتخاب والدین تلاقی و نیز توسعه ارقام ساختگی مورد استفاده قرار گیرند.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی بر همه صفات گیاه فسکیوی بلند (به‌جز روز تا خوشه‌دهی و ارتفاع گیاه) اثر معنی‌داری داشت. تنش کم‌آبی بر وزن علوفه خشک در هر دو چین به‌ویژه چین دوم اثر منفی زیاد گذاشت. با این‌حال پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف به تنش کم‌آبی متفاوت بود. به‌طوری‌که امکان یافتن ژنوتیپ‌ها با تولید علوفه مطلوب و تحمل به تنش وجود دارد. تنوع زیاد بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی وجود داشت. از این تنوع می‌توان برای توسعه و تولید ارقام زودرس، دیررس و میان‌رس مناسب کشت در شرایط رطوبتی متفاوت استفاده کرد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان علوفه خشک در شرایط بدون تنش رطوبتی مربوط به گروه دیررس بود اما در حالت تنش کم‌آبی بین گروه زودرس و دیررس تفاوت معنی‌داری از نظر وزن علوفه وجود نداشت. همچنین گروه والدینی (میان‌رس) کم‌ترین درصد کاهش وزن علوفه را در شرایط تنش کم آبی نشان داد. نتایج این پژوهش نشان می دهد که ژنوتیپ‌های این ژرم‌پلاسم با مشخصه مهار تولید علوفه در طی تابستان احتمالاً دارای خواب ناقص هستند که بایستی در پژوهش‌های بعدی مورد بررسی قرار گیرند. ژنوتیپ‌های این گروه می‌توانند در پژوهش‌های بعدی برای گزینش ارقام متحمل به تنش کم‌آبی و مناسب کشت در خاک های دارای محدودیت منابع آب مورد بررسی بیش‌تر قرار گیرند.

منابع مورد استفاده

1. Aastveit, A.H., Aastveit, K., 1989. Genetic variations and inheritance of quantitative characters in two populations of meadow fescue (*Festuca pratensis*, Huds.) and their hybrid. *Hereditas* 111(2): 103–114.
2. Aklilu, E., 2021. Review on forward and reverse genetics in plant breeding. *All Life* 14(1): 127–135.
3. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage, Rome, Italy, pp. 56.
4. Amini, F., Masoomi, P., Ramshini, H., Norouzian, M.A., 2018. Genetic diversity among tall fescue ecotypes using agro-morphological traits, nutritional values and AFLP molecular markers. *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding* 7(2): 54–64. (In Persian with English abstract)
5. Casler, M.D., Brummer, E.C., 2008. Theoretical expected genetic gains for among and within family selection methods in perennial forage crops. *Crop Science* 48: 890–902.
6. Chakrabarti, M., Nagabhyru, P., Schardl, C.L., Dinkins, R.D. 2022. Differential gene expression in tall fescue

tissues in response to water deficit. *The Plant Genome* 15(2): 1–20.
7. Durand, J.L., Onillone, B., Schnyder, H., Rademacher, I., 1995. Drought effects on cellular and spatial parameters of leaf growth in tall fescue. *Journal of Experimental Botany* 46: 1147–1155.
8. Ebrahimiyan, M., 2010. Evaluation of Drought Resistance in Festuca Genotypes, MSc Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Persian)
9. Ebrahimiyan, M., Majidi, M.M., Mirlohi, A., Gheysari, M., 2012. Drought-tolerance indices in a tall fescue population and its polycross progenies. *Crop and Pasture Science* 63: 360–369.
10. Fu, J., 2003. Growth and physiological responses of turfgrass to deficit irrigation. Department of Horticulture, Forestry and Recreational Resources, College of Agriculture, Kansas State University, USA.
11. Hannaway, D., Franden, S., Copper, J., 1999. Tall fescue (*Festuca arundinacea* Scherb). Oregon State University, USA.
12. Hosseini, F., Mosaddeghi, M.R., Hajabbasi, M.A., Sabzalian, M.R., Soleimani, M., Sepehri, M., 2017. Effect of endophyte-infected (*Epichloe coenophaila*) tall fescue residues on water repellency and structural stability of texturally different soils. *Journal of Water and Soil Science* 21(2): 69–82. (In Persian with English abstract)
13. Ilyas, M., Nisar, M., Khan, N., Hazrat, A., Khan, A.H., Hayat, K. Ullah, A., 2021. Drought tolerance strategies in plants: A mechanistic approach. *Journal of Plant Growth Regulation* 40(3): 926–944.
14. Jafari, A., Javarsineh, A., 2016. Estimation of heritability and gain from selection of yield and quality of forage in parents and half sib family of tall fescue. In: Proceeding of the 1th Iranian Forage Plants Congress, Tehran, Iran, Aug 9–12. (In Persian)
15. 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.
16. Karcher, D., Richardson, M., Landreth, J., 2007. Drought tolerance of tall fescue and bluegrass cultivars. *Arkansas Turfgrass Report Research Series* 557: 17–20.
17. Khayyam-Nekouei, M., 2001. Germplasm Collection and Molecular Detection of Endophytic Fungi in Iranian Tall Fescue (*Festuca arundinacea* Schreb). PhD Thesis, University of Putra, Malaysia.
18. Majidi, M.M., 2007. Breeding Studies in Tall Fescue Germplasm. PhD Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Persian)
19. Majidi, M.M., Mirlohi, A., 2009. Multivariate statistical analysis in Iranian and foreign tall fescue germplasm. *Agricultural Science and Technology and Natural Resources* 12(48): 77–90. (In Persian with English abstract)
20. Majidi, M.M., Mirlohi, A., Amini, F., 2009. Genetic variation, heritability and correlations of agro-morphological traits in tall fescue (*Festuca arundinacea Schreb*.). *Euphytica* 167: 323–331.
21. Martens, D., 2007. Management of drought stressed alfalfa. Available at http:/www. Co. Stearns. Mn. Usldocum – ents/ E.
22. Mathan, J., Singh, A., Ranjan, A., 2021. Sucrose transport in response to drought and salt stress involves ABA-mediated induction of OsSWEET13 and OsSWEET15 in rice. *Physiologia Plantarum* 171(4): 620–637.
23. Mohammadi, S.A., Prasanna, B.M., 2003. Analysis of genetic diversity in crop plants-salient statistical tools and considerations. *Crop Science* 43: 1235–1248.
24. Mohammadi, R., Khayyam-Nekouei, M., Mirlohi, A.F., 2008. Genetic variation and heritability of several quantitative traits in selected genotypes of tall fescue. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research* 16: 254–272. (In Persian with English abstract).
25. Mohammadi, R., Khayyam-Nekouei, M., Majidi, M.M., Mirlohi, A.F., 2020. Heritability of yield and yield related traits in genotypes Smooth Brome Grass (*Bromus inermis*). *Iranian Journal of Field Crop Science* 42: 183–189.
26. Nguyen, H.T., Sleper, D.A., 1983. Genetic variability of seed yield and reproductive characters in tall fescue. *Crop Science* 23: 621–626.
27. Rognli, O.A., 1987. Genetic variation in arctic populations of timothy (*Phleum pratense L.*): I. Seed production characters. *Hereditas* 107: 27–54.
28. Roldan-Ruiz, I., Dendauw, J., Van-Bockstaele, E., Depicker, A., De-Loose, M., 2000. AFLP markers reveal high polymorphic rates in ryegrasses (*Lolium* spp.). *Molecular Breeding* 6: 125–134.
29. Saeidnia, F., Majidi, M.M., Mirlohi, A., 2021. Marker-trait association analysis for drought tolerance in smooth bromegrass. *BMC Plant Biology* 21: 1–13.
30. Shahnazari, M., Siahsar, B., Khayyam-Nekouei, M., Mohammadi, R., 2011. Investigation of genetic parameters and general combining ability of genotypes of tall fescue. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research* 18(2): 249–270. (In Persian with English abstract)
31. Shihan, A., Barre, P., Copani, V., Kallida, R., strem, L., Testa, G., Volaire, F., 2022. Induction and potential role of summer dormancy to enhance persistence of perennial grasses under warmer climates. *Journal of Ecology* 111: 225–234.
32. Sleper, D.A., West, C.P., 1996. Tall fescue. In: Moser, L.E., Jones, B. (Eds.). Cool Season Forage Grasses, Agron. Monogr., ASA/CSSA/SSSA, Madison, WI, pp. 471–502.

33. Ward, J.H., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association* 58: 236–244.
34. West, C.P., 1994. Physiology and drought tolerance of endophyte infected grasses. In: Bacon, C.W., White, J.F. (Eds.), Biotechnology of Endophytic Fungi of Grasses, CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 87–99.

J. Soil and Plant Interactions, Vol. 13, No. 4, Winter 2023, Isfahan Univ. Technol., Isf., Iran.
https://jspi.iut.ac.ir EISSN: 2783-5286 DOI: 10.47176/jspi.13.4.03601

Effects of Water Stress on Growth, Forage Yield and Genetic Variation of Three Phenological Groups of Tall Fescue (*Festuca arundinacea*) in Isfahan Region

A. Noroozi[1], M.M. Majidi[1*] and F. Ebrahimi[2]

(Received: 11 May 2022; Accepted: 26 September 2022)

Abstract

The ability of phenological adjustment and accelerate maturation is one of the most drought tolerance mechanisms in crops. Tall fescue is one of the valuable forage and turf grasses that is used to prevent soil erosion and produce forage in pastures and is compatible with most soils and climates. In this research, yield potential and genetic variation of three phenological groups including mid-flowering group (parental group), early and late flowering groups each containing 25 genotypes, selected from a poly cross community, were studied under non-stress and water deficit conditions in the research farm of Isfahan University of Technology for two years. Irrigation was applied when 90 and 50% of available soil water were depleted for stress and normal environments, respectively. The results showed that there was considerable variation in the studied germplasms in terms of all studied traits and responses to water deficit stress. The highest value of genetic variation belonged to forage yield. The results showed that dry forage yield in the first and second harvest stress decreased by 17% and 52% due to water deficit, respectively. The highest estimate of heritability was related to the trait of day to anthesis and the lowest was related to the percentage of dry matter and forage yield. The results showed that the highest dry forage yield under non-stress conditions belonged to the late flowering group. Means comparison of genotypes showed that the highest dry forage yield under normal and water stress belonged to genotypes 10 (from America with 209.50 g/plant) and 3 (from Yasouj with 142.25 g/plant), respectively, in the late flowering group, genotypes 25 (from Shahrood with 383 g/plant) and 22 (from Poland with 178.50 g/plant), respectively in early flowering group and genotypes 25 (from Shahrood) with 222.50 and 182.25 g/plant in the parental group, respectively. The results indicate that the studied genotypes may have incomplete summer dormancy that should be investigated in future studies. Considerable genetic diversity between and within phenological groups and their different responses to drought stress can be used to develop and produce suitable synthetic varieties for soils with limited water resources.

Key words: Festuca, Phenology, Water stress, Pasture.

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, 84156-83111, Iran.
2- Research & Technology Institute of Plant Production, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
* Corresponding author, Email: majidi@iut.ac.ir

Background and Objective: Plant water deficits may occur as a consequence of a seasonal decline in soil water availability, developing in the long term, or may result from drought spells (1). Tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb), the most important forage and turf grass species, is a widely used grass species that can be found abundantly in cold and dry regions (3). Tall fescue has a deep root system compared to other cool-season grasses. It has become an important grass for turf and soil conservation. Tall fescue is well cultivated in acidic soils with a pH equal to 4.8 to alkaline soils with a pH of 9.5 (2). In this research, the yield potential and genetic diversity of three different phenological groups of tall fescue genotypes were studied under non-stress and water deficit conditions.

Methods: Three different tall fescue groups in terms of phenology, each contained 25 genotypes, mid-flowering group (parental group), early and late flowering groups, selected from a polycross nursery, were studied under non-stress and water deficit conditions in the research farm of Isfahan University of Technology for two years. In non-stress and water deficit stress conditions, irrigation was applied when 50% and 90% of the total available water was depleted from the root zone, respectively.

Results: The results of the analysis of variance revealed highly significant ($p < 0.01$) difference among the cultivars for the studied traits. Also, the interaction between cultivar and environment was significant for all the studied traits. The highest value of genetic variation belonged to dry forage yield. Water deficit stress significantly reduced dry forage yield in the first and second harvest by 44.80 and 18.28%, respectively. The highest estimate of heritability was related to the days to anthesis, and the lowest one was related to the percentage of dry matter and forage yield. The results showed that the highest dry forage yield under non-stress conditions belonged to the late flowering group but in the case of water deficit stress there was no significant difference between the early and late flowering groups. Also, the parental group showed the lowest percentage of yield reduction under moisture-stress conditions. A comparison of means showed the highest dry forage yield mean in the early-flowering group was related to genotypes 10 (with 209.50 g/plant) and 3 (with 142.25 g/plant) under non-stress and water deficit stress conditions, respectively. In late-flowering group, genotypes 25 (with 383 g/plant) and 22 (178.50 g/plant) had the highest dry forage yield under non-stress and water deficit stress conditions, respectively. Also, in the parental group, genotypes 25 had the highest dry forage yield with 222.50 and 182.25 g/plant under non-stress and water deficit stress conditions, respectively.

Conclusions: High variation in the studied germplasm for response to water deficit stress can be used to develop suitable cultivars in soils with limited water resources. Water deficit stress significantly reduced forage yield and important traits of tall fescue. However, the reaction of different genotypes to water deficit stress is different so it is possible to find tolerant and high-yielding genotypes suitable for cultivation in different regions. Water deficit stress reduced forage plant weight by 27%, 35%, and 7% in late, early, and parental groups, respectively. Genotypes of the parental group with the lowest percentage of yield reduction under water stress conditions can be assessed to select tolerant cultivars to water stress in future studies. The results of this study indicate that the studied genotypes may have incomplete summer dormancy that should be investigated in future studies. Considerable genetic diversity between and within phenological groups and their different responses to drought stress can be used to develop and produce suitable synthetic varieties for soils with limited water resources.

References:

1. Chaves, M.M., Oliveira, M.M., 2004. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany* 55(47): 2365–2384.
2. Khashij, Sh., Karimi, B., Makhdoumi, P., 2018. Phytoremediation with *Festuca arundinacea*. *International Journal of Health and Life Sciences* 4(2): 1–7.
3. Nematollahia, F., Tehranifara, A., Nematia, S.H., Kazemia, F., Gazanchianb, Gh.A., 2018. Improving early growing stage of *Festuca arundinacea* Schreb. using media amendments under water stress conditions. *Desert* 23(2): 295–306.