doi: 10.22124/CR.2021.20609.1689

(مقاله پژوهشی)

تحقیقات غلات

دوره یازدهم/ شماره دوم/ تابستان ۱۴۰۰ (۱۴۷-۱۳۵)

ارزیابی عملکرد لاین‌های امیدبخش سورگوم [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] دو منظوره دانه‌ای- علوفه‌ای در زمان‌های مختلف برداشت

محمد ابراهیم خلیلیان[۱]، داود حبیبی[۲]، فرید گل‌زردی[۳*]، فیاض آقایاری[۴] و عظیم خزائی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۲

چکیده

به‌منظور ارزیابی عملکرد دانه و علوفه در لاین‌های امیدبخش سورگوم، آزمایشی دو ساله به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل زمان برداشت در چهار سطح (مراحل شیری، خمیری نرم، خمیری سفت و رسیدگی فیزیولوژیکی دانه) و ژنوتیپ‌های سورگوم دو منظوره دانه‌ای- علوفه‌ای در هفت سطح (لاین‌های امیدبخش KDFGS4، KDFGS6، KDFGS9، KGFGS10، KDFGS16، MDFGS2 و MDFGS1) بودند. بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه (۶۸۴۷ و ۴۰۶۱ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب از لاین‌های KDFGS6 و KDFGS16 به‌دست آمد، در حالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین وزن هزار دانه (۳۵/۲۷ و ۲۲/۰۳ گرم) به‌ترتیب در لاین‌های KDFGS6 و MDFGS2 ثبت شد. لاین MDFGS1 بیش‌ترین عملکرد علوفه سیلویی (۱۰۱/۷۳ تن در هکتار) را در مرحله خمیری نرم دانه و بیش‌ترین عملکرد ماده خشک (۳۸/۱۳ تن در هکتار) را در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانه تولید کرد. به‌طور کلی، با توجه به نتایج این آزمایش، لاین KDFGS6 به‌عنوان بهترین ژنوتیپ دو منظوره برای تولید دانه-علوفه و لاین MDFGS1 به‌عنوان بهترین ژنوتیپ برای تولید علوفه معرفی می‌شوند. علاوه بر این، بر اساس درصد ماده خشک مناسب علوفه برای تولید سیلاژ، پیشنهاد می‌شود علوفه لاین‌های امیدبخش سورگوم دومنظوره در مرحله خمیری نرم دانه برداشت شود. بنابراین، برداشت علوفه از لاین امیدبخش MDFGS1 در انتهای مرحله خمیری نرم به‌عنوان تیمار برتر این آزمایش برای تولید سیلاژ پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پانیکول، تولید سیلاژ، ژنوتیپ، عملکرد دانه، ماده خشک

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۳- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۴- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

* نویسنده مسئول: f.golzardi@areeo.ac.ir

مقدمه

در سال‌های اخیر تغییر اقلیم باعث کاهش سطح اراضی زراعی قابل‌کشت و اُفت عملکرد گیاهان زراعی شده است (Ashoori *et al*., 2021). وقوع خشک‌سالی‌های شدید و مکرر و چرای بی‌رویه دام‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک هم‌چون ایران، تولید علوفه را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده است (Bakhtiyari *et al*., 2020). بنابراین برای بهبود بهره‌وری تولید گیاهان زراعی با استفاده از منابع محدود آب در کشور، ضروری است به کاشت محصولات زراعی متحمل به خشکی توجه شود (Balazadeh *et al*., 2021). یکی از راه‌کارهای مؤثر برای کاهش ریسک تولید و ارتقای امنیت غذایی، تلاش برای اصلاح گیاهان زراعیِ متحمل به خشکی و گسترش کاشت آن‌هاست (Ashori *et al*., 2020).

سورگوم یکی از پنج غله اصلی دنیا و گیاهی چند منظوره است که به‌دلیل کاربردهای متعدد دانه، ساقه و برگ آن در صنایع غذایی و سلولزی، سوخت‌های زیستی و خوراک دام و طیور در سرتاسر دنیا مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (Baghdadi *et al*., 2021; Khazaei *et al*., 2017). این گیاه مقاومت بالایی در برابر تنش‌های غیرزیستی مانند گرما، خشکی و شوری دارد و تحت شرایط تنش می‌تواند در مقایسه با سایر گیاهان زراعی عملکرد مطلوبی داشته باشد (Shakeri *et al*., 2017; Ahmadizadeh *et al*., 2018). زمان کاشت تطبیق‌پذیر، فصل رشد نسبتاً کوتاه، مناسب بودن برای سیستم کشت دوم و امکان قرارگیری در تناوب‌های زراعی مختلف نیز باعث افزایش توجه به سورگوم به‌عنوان یک محصول دانه‌ای و علوفه‌ای مهم شده است (Hassan *et al*., 2019).

در ژنوتیپ‌های سورگوم دومنظوره، پتانسیل تولید دانه و علوفه به‌طور هم‌زمان وجود دارد و تقریباً نیمی از کل زیست‌توده در این ارقام به تولید علوفه (ساقه و برگ) اختصاص می‌یابد (Ashori *et al*., 2020). با توجه به خاصیت سبزمانی در ژنوتیپ‌های سورگوم دومنظوره دانه‌ای-علوفه‌ای، هم تولید دانه و هم تولید علوفه در یک کشت امکان‌پذیر است. در این ژنوتیپ‌های سورگوم حتی پس از رسیدن فیزیولوژیکی دانه، برگ‌ها و ساقه‌ها سبز و دارای کیفیت علوفه مطلوبی هستند (Khazaei, 2020). این ارقام می‌توانند با برداشت در زمان مناسب و داشتن درصد ماده خشک مطلوب، جهت تولید سیلاژ استفاده شوند (Golzardi *et al*., 2019). علاوه بر این، در صورت نیاز به دانه سورگوم می‌توان برداشت را در مرحلهٔ رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌ها انجام داد و با توجه به خاصیت سبزمانی در این ارقام از علوفه سبز باقیمانده (ساقه و برگ) هم بهره برد. کاشت سورگوم دومنظوره دانه‌ای-علوفه‌ای به کشاورز اختیار می‌دهد که بر اساس مزیت اقتصادی و تقاضای بازار، زمان برداشت محصول خود را انتخاب کند (Khazaei *et al*., 2019).

زمان برداشت به‌عنوان یکی از عوامل مهم و مؤثر بر عملکرد کمی و کیفی علوفه، اثر عمده‌ای بر خوش‌خوراکی و ارزش غذایی آن دارد (Ronga *et al*., 2020). زمان برداشت سورگوم بستگی به فاکتورهای مختلفی از جمله هدف تولید و نوع مصرف (سیلویی، علوفه تر، علوفه خشک و چرای مستقیم) دارد (Khazaei, 2020). به‌منظور تولید علوفه تر و خشک بهتر است سورگوم در اواخر مرحله رشد رویشی (و با آغاز گلدهی) برداشت شود، در حالی‌که اگر هدف تولید سیلاژ باشد، برداشت در مرحله شیری-خمیری دانه بر اساس درصد ماده خشک مناسب علوفه (۳۵-۳۰ درصد) انجام می‌شود (Golzardi *et al*., 2019). سورگوم یکی از علوفه‌های مناسب برای تولید سیلاژ است و زمان برداشت علوفه آن به‌شدت می‌تواند ارزش سیلاژ آن را تحت تأثیر قرار دهد (Khazaei *et al*., 2019). برداشت علوفه زمانی که بیش از حد مرطوب یا خیلی خشک باشد، سبب آسیب به سیلاژ می‌شود. برداشت زودهنگام سورگوم علوفه‌ای (با رطوبت بالا)، موجب ایجاد روان‌آب در کف سیلو شده و هدرروی مواد مغذی موجود در علوفه را به‌همراه خواهد داشت (Golzardi *et al*., 2019). برداشت دیرهنگام سورگوم علوفه‌ای (با رطوبت پایین) نیز از تخمیر مناسب و فعالیت باکتری‌های مؤثر در آن جلوگیری می‌کند (Kaplan *et al*., 2019).

تأثیر زمان برداشت بر عملکرد و ارزش غذایی محصولات علوفه‌ای توسط بسیاری از محققان مورد مطالعه قرار گرفته است (Glamoclija *et al*., 2011; Teixeira *et al*., 2017; Ronga *et al*., 2020). محمد و همکاران (Muhammad *et al*., 2002) تأثیر زمان‌های مختلف برداشت را بر عملکرد علوفه سورگوم بررسی و بیان داشتند که بیشترین عملکرد ماده خشک (۲۶ تن در هکتار) با برداشت علوفه در ۷۵ روز پس از کاشت و کم‌ترین عملکرد (۸ تن در هکتار) با برداشت در ۴۵ روز پس از کاشت سورگوم حاصل شد. رضوانی مقدم و نصیری محلاتی (Rezvani Moghaddam and Nasiri Mahallati,

2004) نیز اثر پنج زمان برداشت (مرحله شروع گل‌دهی و یک، دو، سه و چهار هفته پس از شروع گل‌دهی) را بر عملکرد سه رقم سورگوم علوفه‌ای بررسی و بیان کردند که با تأخیر در برداشت، درصد برگ کاهش و درصد گل و ساقه و عملکرد علوفه افزایش یافت. با توجه به این مطالب و اهمیت زمان برداشت در سورگوم، این مطالعه با هدف ارزیابی عملکرد لاین‌های امیدبخش سورگوم دومنظوره دانه‌ای-علوفه‌ای در مراحل مختلف برداشت انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل زمان برداشت در چهار سطح (مراحل شیری، خمیری نرم، خمیری سفت و رسیدگی فیزیولوژیک دانه) و لاین‌های امیدبخش سورگوم دومنظوره دانه‌ای- علوفه‌ای در هفت سطح (KDFGS4، KDFGS6، KDFGS9، KGFGS10، KDFGS16، MDFGS2 و MDFGS1) بودند. این لاین‌ها، حاصل آزمایشات مقدماتی و نیمه‌نهایی هستند که در شرایط آب و هوایی کشور توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، تولید شده‌اند. اقلیم محل اجرای آزمایش دارای آب و هوای نیمه‌خشک با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و نیمه‌خشک بود. بر اساس داده‌های بلندمدت هواشناسی منطقه، میزان بارندگی سالیانه ۲۵۱ میلی‌متر، تبخیر سالیانه ۲۱۸۴ میلی‌متر و میانگین دمای هوا و خاک به‌ترتیب ۱۳/۵ و ۱۴/۵ درجه سلسیوس بود.

پیش از کاشت نسبت به تهیه زمین (شخم، دیسک و لولر) اقدام و بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و نیاز کودی سورگوم، مقدار کود موردنیاز به زمین اضافه شد. طبق تجزیه خاک، پیش از کاشت، عناصر فسفر (P_2O_5) و نیتروژن (N) به‌ترتیب به‌میزان ۱۱۵ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار (از منبع کود دی‌آمونیوم فسفات) و در زمان کاشت عنصر نیتروژن (N) به‌میزان ۴۶ کیلوگرم در هکتار (از منبع کود اوره) به زمین اضافه شد. علاوه بر این، در مرحله ۴-۶ برگی نیز ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (از منبع کود اوره) به‌صورت سرک به زمین اضافه شد. لازم به ذکر است که لاین‌های سورگوم مورد بررسی در این مطالعه از آزمایشات نیمه‌نهایی انتخاب شده‌اند و از بین آن‌ها در آینده، یک تا دو رقم معرفی خواهد شد و نیاز کودی دقیق رقم مربوطه نیز پس از معرفی تعیین خواهد شد. بنابراین در این مرحله از آزمایش (قبل از معرفی رقم)، نیاز کودی لاین‌های امیدبخش بر اساس ارقام معرفی‌شده قبلی تعیین شد. اطلاعات میانگین دمای ماهانه در محل اجرای آزمایش طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در جدول ۲ ارایه شده است. لازم به ذکر است که شرایط آب و هوائی سال ۱۳۹۶ تفاوت کم‌تری با میانگین بلندمدت منطقه داشت و دمای تابستان سال ۱۳۹۷ به‌طور چشم‌گیری بیش‌تر از میانگین بلندمدت منطقه بود.

آزمایش شامل ۲۸ تیمار و ۸۴ کرت آزمایشی بود. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط کاشت به‌طول شش متر با فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر بود و فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت ۹ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (تراکم کاشت ۱۸۵ هزار بوته در هکتار). همچنین بین بلوک‌های آزمایشی، راهروهایی با عرض دو متر در نظر گرفته شد. در هر دو سال آزمایش، عملیات کاشت در ۱۰ خردادماه و در زمینی تحت آیش انجام شد. بذر ژنوتیپ‌های سورگوم از بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای (مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج) تهیه شد. آبیاری به‌صورت جوی و پشته (فارو) و با دور آبیاری ۱۰-۷ روز یک‌بار بر اساس نیاز آبی سورگوم انجام شد. برای کنترل علف‌های هرز نیز علف‌کش ارادیکان (۵ لیتر در هکتار) به‌صورت پیش‌کاشت و علف‌کش توفوردی+ام‌سی‌پی‌ای (۱/۵ لیتر در هکتار) به‌صورت پس‌رویشی در مرحله شش برگی سورگوم مورد استفاده قرار گرفت (Khazaei *et al*., 2019).

جدول ۱- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک در محل آزمایش طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

Table 1. Physical and chemical properties of the soil at the experimental site in 2017 and 2018 growing seasons

Year	Total nitrogen (%)	Available phosphorus (mg kg^{-1})	Available potassium (mg kg^{-1})	Organic matter (%)	pH	EC (dS.m^{-1})	Texture
2017	0.07	12.2	254	0.57	7.21	2.21	Clay-loam
2018	0.06	12.3	269	0.53	7.14	2.10	Clay-loam

جدول ۲- میانگین ماهانه دمای هوا در محل آزمایش طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

Table 2. Monthly average of air temperature at the experimental site during 2017 and 2018 growing seasons

Month	Mean temperature (°C)		Minimum temperature (°C)		Maximum temperature (°C)	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
June	26.1	25.6	17.6	17.4	34.2	33.8
July	28.9	31.9	20.3	23.5	36.4	38.9
August	27.4	28.4	19.4	20.3	34.9	36.2
September	23.7	24.0	15.9	16.8	31.6	31.6
October	17.0	16.6	10.6	11.1	23.9	22.6

زمان برداشت در هر کرت بر اساس تیمارهای آزمایشی موردنظر تنظیم شد. جهت تعیین عملکرد علوفه سیلویی، دو ردیف وسط هر کرت با حذف ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای کلیه ردیف‌ها (اثر حاشیه‌ای)، برداشت و بلافاصله توزین شد. برای تعیین عملکرد ماده خشک نیز سه بوته تصادفی از هر کرت انتخاب و توزین شد و سپس نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۶۵ درجه سلسیوس (تا ثابت شدن وزن نمونه) خشک شدند. در نهایت وزن نمونه‌های خشک‌شده اندازه‌گیری و بر اساس میزان کاهش وزن نمونه‌ها و درصد ماده خشک آن‌ها، عملکرد علوفه خشک در هر کرت محاسبه شد.

به‌منظور تجزیه آماری داده‌ها، ابتدا همگنی واریانس خطاهای آزمایشی طی دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ با استفاده از آزمون بارتلت (Bartlett, 1937) بررسی شد و سپس با توجه به تایید همگنی واریانس خطاهای آزمایشی، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها انجام شد. برای تجزیه مرکب داده‌ها، عوامل سال و بلوک به‌عنوان اثر تصادفی و زمان برداشت و ژنوتیپ به‌عنوان اثر ثابت در نظر گرفته شدند. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای مقایسه میانگین برهمکنش‌ها نیز از روش برش‌دهی استفاده شد.

نتایج و بحث

تولید دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال بر عملکرد دانه و تعداد دانه در پانیکول در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگینِ اثر سال نشان داد که عملکرد دانه در سال اول (۶۴۴۱ کیلوگرم در هکتار) حدود ۲۹ درصد بیش‌تر از سال دوم (۴۹۹۶ کیلوگرم در هکتار) بود. تعداد دانه در پانیکول نیز در سال اول (۱۲۴۶ عدد) در مقایسه با سال دوم (۹۵۲ عدد) حدود ۳۱ درصد بیش‌تر بود (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد کاهش عملکرد دانه و تعداد دانه در پانیکول در سال زراعی ۱۳۹۷، با دمای بالاتر هوا به‌ویژه در زمان گرده‌افشانی سورگوم (جدول ۲) که منجر به عقیمی دانه‌های گرده آن می‌شود (Golzardi *et al*., 2019) مرتبط باشد. لازم به ذکر است که شرایط آب و هوایی سال ۱۳۹۶ شباهت بیش‌تری با میانگین بلندمدت منطقه داشت و دمای تابستان سال ۱۳۹۷ به‌طور قابل توجهی بیش‌تر از میانگین بلندمدت منطقه بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات دانه در ژنوتیپ‌های سورگوم دومنظوره

Table 3. Combined analysis of variance of grain traits in dual-purpose sorghum genotypes

Source of variations	df	Mean squares		
		Grain yield	1000-grain weight	No. of grains per panicle
Year	1	21905481*	0.038	906696*
Replication (Year)	4	2702848*	1.007	80263*
Genotype	6	5125082*	106.644**	239304
Year × Genotype	6	1223996	2.083*	70560*
Error	24	713275	0.786	20632
CV (%)	-	14.77	3.03	13.07

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی سال و ژنوتیپ بر ویژگی‌های دانه سورگوم

Table 4. The main effect of year and genotype on grain characteristics of sorghum

Treatment		Grain yield (kg.ha^{-1})	1000-grain weight (g)	No. of grains per panicle
Year	2017	6441 a	29.25	1246 a
	2018	4996 b	29.19	952 b
Genotype	KDFGS4	6124 ab	31.34 b	1083
	KDFGS6	6847 a	35.27 a	1074
	KDFGS9	6202 ab	28.22 cd	1223
	KDFGS10	6085 ab	31.22 b	1090
	KDFGS16	4061 c	26.37 d	854
	MDFGS2	5749 ab	22.03 e	1457
	MDFGS1	4962 bc	30.12 bc	912

Means followed by the similar letter (s) in each column and each treatment are not significantly different by Tukey's test at 5% probability level.

ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر عملکرد دانه ($p\leq0.05$) و وزن هزار دانه ($p\leq0.01$) تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه (۶۸۴۷ کیلوگرم در هکتار) از لاین KDFGS6 به‌دست آمد، اما تفاوت معنی‌داری با لاین‌های KDFGS4، KDFGS9، KDFGS10 و MDFGS2 نداشت (جدول ۴). کم‌ترین عملکرد دانه (۴۰۶۱ کیلوگرم در هکتار) نیز در لاین KDFGS16 مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با لاین MDFGS1 با عملکرد دانه ۴۹۶۲ کیلوگرم در هکتار نداشت (جدول ۴). همچنین بیشینه و کمینه وزن هزار دانه (به‌ترتیب ۳۵/۲۷ و ۲۲/۰۳ گرم) به‌ترتیب در لاین‌های KDFGS6 و MDFGS2 مشاهده شد (جدول ۴). خزائی (Khazaei, 2020) نیز پس از ارزیابی ۱۰ لاین امیدبخش سورگوم دومنظوره دانه‌ای- علوفه‌ای، ژنوتیپ‌های KDFGS4، KDFGS6، KDFGS9 و KDFGS10 را از نظر عملکرد دانه برتر دانست و لاین KDFGS6 را با میانگین عملکرد دانه ۶۲۸۹ کیلوگرم در هکتار و وزن هزار دانه ۳۳ گرم برترین ژنوتیپ معرفی کرد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت. برهمکنش سال× ژنوتیپ بر وزن هزار دانه و تعداد دانه در پانیکول در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشینه عملکرد دانه (۷۲۷۵ کیلوگرم در هکتار) در سال اول توسط لاین KDFGS6 حاصل شد، در حالی‌که کمینه آن (۳۵۰۲ کیلوگرم در هکتار) در سال دوم در لاین MDFGS1 مشاهده شد (جدول ۵). لاین KDFGS6 بیش‌ترین عملکرد دانه و وزن هزار دانه را در هر دو سال آزمایش در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها تولید کرد، در حالی‌که کمینه وزن هزار دانه در هر دو سال آزمایش در لاین MDFGS2 مشاهده شد (جدول ۵). در مقابل، بیشینه تعداد دانه در پانیکول در هر دو سال آزمایش در لاین MDFGS2 ثبت شد، در حالی‌که لاین KDFGS16 در سال اول و لاین MDFGS1 در سال دوم آزمایش، کم‌ترین تعداد دانه در پانیکول را داشتند (جدول ۵). کاهش عملکرد و تعداد دانه در همه ژنوتیپ‌ها طی سال دوم را می‌توان با دمای بالاتر هوا در زمان گرده‌افشانی و عقیمی دانه‌های گرده مرتبط دانست (Golzardi *et al*., 2019).

تولید علوفه

نتایج تجزیه واریانس صفات مرتبط با تولید علوفه سورگوم در جدول ۶ ارایه شده است. اثر سال بر عملکرد علوفه سیلویی، درصد ماده خشک علوفه، وزن تر پانیکول و وزن تر ساقه و برگ در سطح احتمال یک درصد و بر عملکرد ماده خشک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر سال نشان داد که بیش‌ترین عملکرد علوفه سیلویی، عملکرد ماده خشک، وزن تر ساقه و برگ و وزن تر پانیکول (به‌ترتیب ۸۷/۰۷، ۲۹/۴۱، ۶۶/۱۷ و ۲۰/۹۱ تن در هکتار) در سال زراعی ۱۳۹۶ حاصل شد که نسبت به مقادیر این صفات در سال ۱۳۹۷ به‌ترتیب حدود ۷/۹، ۳/۳، ۷/۱ و ۱۰/۳ درصد برتری داشت (جدول ۷). از آنجا که عملکرد ماده خشک و وزن خشک ساقه و برگ و پانیکول کم‌تر از وزن تر آن‌ها تحت تأثیر سال قرار گرفت، به‌نظر می‌رسد گرم‌تر بودن هوا در سال دوم باعث کاهش درصد رطوبت در بافت‌های گیاهی سورگوم نسبت به سال اول شده است (Khazaei *et al*., 2019). بالاتر بودن درصد ماده خشک علوفه در سال دوم آزمایش نیز این موضوع را تایید کرد (جدول ۷).

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سال×ژنوتیپ بر ویژگی‌های دانه سورگوم

Table 5. Interaction of year × genotype on the grain characteristics of sorghum

Year	Genotype	Grain yield (kg.ha^{-1})	1000-grain weight (g)	No. of grains per panicle
2017	KDFGS4	6545a	31.40 b	1158 bc
	KDFGS6	7275a	35.90 a	1123 bc
	KDFGS9	6777a	27.77 c	1357 b
	KDFGS10	6840a	31.17 b	1223 b
	KDFGS16	4279a	26.03 d	908 c
	MDFGS2	6947a	21.40 e	1800 a
	MDFGS1	6421a	31.10 b	1150 bc
2018	KDFGS4	5702a	31.28 b	1007 ab
	KDFGS6	6419a	34.63 a	1025 ab
	KDFGS9	5626a	28.67 c	1088 a
	KDFGS10	5329a	31.27 b	957 ab
	KDFGS16	3844a	26.70 d	800 bc
	MDFGS2	4551a	22.67 e	1113 a
	MDFGS1	3502a	29.13 c	673 c

Means followed by the similar letter (s) in each column are not significantly different by Tukey's test at 5% probability level.

جدول ۶- تجزیه واریانس مرکب صفات علوفه در ژنوتیپ‌های سورگوم دومنظوره

Table 6. Combined analysis of variance of forage traits in dual-purpose sorghum genotypes

Source of variations	df	Mean squares						
		Silage forage yield	Dry matter yield	Dry matter content	Fresh weight of stem & leaf	Fresh panicle weight	Dry weight of stem & leaf	Dry panicle weight
Year (Y)	1	1700**	35.75*	80.52**	815.13**	160.88**	6.07	12.36
Replication (Y)	4	11	4.41	0.65	4.90	4.50	5.04	2.05
Harvest time (H)	3	1622**	822.49**	2620.46**	2308.49**	647.86**	6.35	962.07**
Y × H	3	29*	2.09	2.81**	23.86*	0.97	1.76*	0.90
Genotype (G)	6	1553**	169.68**	87.81**	1195.92**	233.53**	86.66**	88.28**
Y × G	6	56**	10.10**	1.00	32.50**	3.89**	5.19**	1.08
H × G	18	29*	3.58*	7.07**	13.30*	6.86**	0.98*	4.05**
Y × H × G	18	9	1.43	0.50	5.68	0.68	0.41	0.46
Error	108	101	10.44	1.55	72.06	5.50	5.39	2.12
CV (%)	-	11.98	11.17	3.55	13.27	11.77	12.89	13.32

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر زمان برداشت بر تمام صفات مرتبط با علوفه به غیر از وزن خشک ساقه و برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگینِ اثر زمان برداشت نشان داد که بیش‌ترین عملکرد علوفه سیلویی (۸۸/۳۶ تن در هکتار) با برداشت در مرحله خمیری نرم دانه حاصل شد، هر چند تفاوت معنی‌داری با مرحله شیری و خمیری سفت دانه نداشت. کمینه عملکرد علوفه سیلویی (۷۴/۷۷ تن در هکتار) نیز با برداشت در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانه به‌دست آمد (جدول ۷). به‌نظر می‌رسد فرایند خشک شدن و کاهش درصد رطوبت بوته‌ها پس از مرحله خمیری نرم دانه باعث کاهش تدریجی عملکرد علوفه سیلویی تا مرحله رسیدگی دانه شده است (Teixeira *et al.*, 2017; Ronga *et al.*, 2020). روند تغییرات عملکرد ماده خشک با افزایش مرحله بلوغ گیاه کاملاً افزایشی بود و تفاوت قابل‌توجهی با روند تغییرات عملکرد علوفه سیلویی داشت، به‌نحوی که کمینه و بیشینه عملکرد ماده خشک (۲۳/۶۶ و ۳۳/۹۷ تن در هکتار) به‌ترتیب در مراحل شیری دانه و رسیدگی فیزیولوژیک دانه حاصل شد (جدول ۷). محتوی ماده خشک علوفه نیز از روندی مشابه با عملکرد ماده خشک برخوردار بود، به‌نحوی که با پیشرفت بلوغ گیاه، درصد ماده خشک علوفه نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کمینه و بیشینه محتوی ماده خشک علوفه (۲۷/۲۲ و ۴۵/۵۴ تن در هکتار) به‌ترتیب در مراحل شیری

دانه و رسیدگی فیزیولوژیکی دانه به‌دست آمد (جدول ۷). برداشت علوفه سیلویی با درصد ماده خشک خیلی کم یا خیلی زیاد سبب کاهش کیفیت سیلاژ تولیدی می‌شود (Khazaei *et al*., 2019). بنابراین برداشت علوفه سیلویی در مرحله شیری دانه با توجه به درصد ماده خشک پایین آن در این آزمایش (۲۷ درصد) می‌تواند منجر به خروج شیرابه (منبع قند قابل‌تخمیر) و ایجاد روان‌آب در کف سیلو شده و هدرروی مواد مغذی موجود در علوفه را سبب شود (Golzardi *et al*., 2019). برداشت علوفه سیلویی در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانه نیز با توجه به درصد ماده خشک بالای آن در این آزمایش می‌تواند از تخمیر مناسب و فعالیت باکتری‌های مؤثر در آن جلوگیری کند (Kaplan *et al*., 2019).

نتایج مقایسه میانگین اثر زمان برداشت نشان داد که با پیشرفت بلوغ گیاه، وزن تر ساقه و برگ به‌طور خطی و معنی‌داری کاهش یافت، به‌نحوی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین وزن تر ساقه و برگ (۷۲/۳۴ و ۵۵/۲۶ تن در هکتار) به‌ترتیب در مراحل شیری و رسیدگی فیزیولوژیک دانه ثبت شد (جدول ۷). این در حالی است که روند کاهش وزن خشک ساقه و برگ با افزایش سن گیاه بسیار جزئی و غیرمعنی‌دار بود (جدول ۷). شیب زیاد کاهش وزن تر ساقه و برگ با پیشرفت بلوغ گیاه را می‌توان با فرایند خشک شدن و از دست دادن رطوبت بوته‌ها مرتبط دانست (Ronga *et al*., 2020)، درحالی‌که شیب اندک کاهش وزن خشک ساقه و برگ با افزایش سن گیاه می‌تواند با پدیده انتقال مجدد ماده خشک به دانه‌ها مرتبط باشد (Bayat and Sepehri, 2014). با پیشرفت مرحله بلوغ گیاه تا رسیدن به مرحله خمیری سفت دانه، وزن تر پانیکول به‌طور خطی و معنی‌داری افزایش یافت و به بیشینه خود رسید، ولی پس از این مرحله رو به کاهش گذاشت، به‌طوری‌که بیشینه و کمینه وزن تر پانیکول (۲۴/۲۴ و ۱۴/۸۳ تن در هکتار) به‌ترتیب در مراحل خمیری سفت و شیری دانه ثبت شد (جدول ۷). در مقابل، وزن خشک پانیکول با افزایش سن گیاه به‌طور پیوسته، خطی و معنی‌دار، تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانه افزایش یافت، به‌طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک پانیکول (۱۶/۵۱ و ۵/۳۵ تن در هکتار) به‌ترتیب در مراحل شیری و رسیدگی فیزیولوژیک دانه به‌دست آمد (جدول ۷). تفاوت در روند تغییرات وزن تر و خشک پانیکول پس از مرحله خمیری سفت دانه را می‌توان به فرایند خشک شدن و کاهش درصد رطوبت پانیکول نسبت داد (Glamoclija *et al*., 2011).

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی سال، ژنوتیپ و زمان برداشت بر خصوصیات علوفه سورگوم

Table 7. The main effect of year, genotype and harvest time on the forage characteristics of sorghum

		Silage forage yield ($ton.ha^{-1}$)	Dry matter yield ($ton.ha^{-1}$)	Dry matter content (%)	Fresh weight of stem & leaf ($ton.ha^{-1}$)	Fresh panicle weight ($ton.ha^{-1}$)	Dry weight of stem & leaf ($ton.ha^{-1}$)	Dry panicle weight ($ton.ha^{-1}$)
Year	2017	87.07 a	29.41 a	34.34 b	66.17 a	20.91 a	18.20	11.21
	2018	80.71 b	28.48 b	35.73 a	61.76 b	18.95 b	17.82	10.67
Harvest time	Milk stage	87.16 a	23.66 d	27.22 d	72.34 a	14.83 d	18.31	5.35 d
	Soft dough	88.36 a	27.42 c	31.23 c	67.21 b	21.15 b	18.26	9.16 c
	Hard dough	85.28 a	30.73 b	36.16 b	61.04 c	24.24 a	17.99	12.74 b
	Maturity	74.77 b	33.97 a	45.54 a	55.26 d	19.50 c	17.46	16.51 a
Genotype	KDFGS4	89.74 ab	31.37 a	35.42 bc	67.43 b	22.31 a	19.60 ab	11.77 b
	KDFGS6	82.41 c	30.17 a	37.13 a	59.77 c	22.64 a	17.19 c	12.98 a
	KDFGS9	81.78 c	29.67 ab	36.84 a	58.89 c	22.89 a	16.55 c	13.12 a
	KDFGS10	79.34 c	27.80 b	35.64 b	59.80 c	19.53 b	16.74 c	11.06 bc
	KDFGS16	70.36 d	24.16 c	34.73 cd	56.19 c	14.17 d	15.98 c	8.18 d
	MDFGS2	88.81 b	27.59 b	31.48 e	70.70 b	18.11 c	18.83 b	8.76 d
	MDFGS1	94.81 a	31.85 a	34.02 d	74.94 a	19.87 b	21.16 a	10.69 c

Means followed by the similar letter (s) for each factor in each column are not significantly different by Tukey's test at 5% probability level.

نتایج نشان داد که برهمکنش زمان برداشت و ژنوتیپ بر عملکرد علوفه سیلویی، عملکرد ماده خشک و وزن تر و خشک ساقه و برگ در سطح احتمال پنج درصد و بر محتوای ماده خشک علوفه و وزن تر و خشک پانیکول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین برهمکنش زمان برداشت و ژنوتیپ نشان داد که بیش‌ترین عملکرد علوفه سیلویی (۱۰۱/۷۳ تن در هکتار) توسط لاین MDFGS1 و در مرحله خمیری نرم دانه و کم‌ترین مقدار آن (۶۴/۲۴ تن در هکتار) توسط لاین KDFGS16 و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک تولید شد (جدول ۸). لاین MDFGS1 در تمامی مراحل برداشت مورد بررسی، بیش‌ترین عملکرد علوفه سیلویی را در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها تولید کرد. علاوه بر ژنوتیپ MDFGS1، لاین‌های KDFGS4 و MDFGS2 نیز در تولید علوفه سیلویی در تمامی مراحل برداشت موفق عمل کردند (جدول ۸). در بیش‌تر ژنوتیپ‌های مورد بررسی، بیشینه پتانسیل تولید علوفه سیلویی در مرحله خمیری نرم دانه مشاهده شد، در حالی‌که لاین‌های KDFGS10 و KDFGS16 بیش‌ترین عملکرد علوفه سیلویی را در مرحله شیری دانه تولید کردند و پس از این مرحله و با پیشرفت بلوغ، این عملکرد کاهش یافت (جدول ۸). زمان برداشت در ارقام سورگوم دومنظوره با توجه به هدف استفاده، نقش مهمی در کمیت و کیفیت علوفه و دانه و در مجموع کل زیست‌توده بازی می‌کند (Torrecillas *et al*., 2011; Blummel *et al*., 2003).

بیش‌ترین عملکرد ماده خشک (۳۸/۱۳ تن در هکتار) توسط لاین MDFGS1 و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک بذر و کم‌ترین میزان آن (۱۹/۵۱ تن در هکتار) توسط لاین KDFGS16 و در مرحله شیری دانه حاصل شد (جدول ۸). در تمامی مراحل برداشت مورد بررسی لاین MDFGS1 بیش‌ترین عملکرد ماده خشک را به‌خود اختصاص داد. علاوه بر این ژنوتیپ، لاین‌های KDFGS4، KDFGS6 و KDFGS9 نیز در تمامی مراحل برداشت مورد بررسی، عملکرد ماده خشک بالایی داشتند (جدول ۸). در تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی با افزایش سن گیاه، عملکرد ماده خشک به طور معنی‌دار و خطی افزایش یافت و بیشینه پتانسیل تولید ماده خشک توسط این لاین‌ها در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی بذر حاصل شد (جدول ۸). محمد و همکاران (Muhammad *et al*., 2002) نیز با بررسی عملکرد علوفه سورگوم در زمان‌های مختلف برداشت گزارش کردند که با تأخیر در برداشت عملکرد ماده خشک علوفه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

در تمام لاین‌های مورد بررسی با افزایش سن گیاه، درصد ماده خشک علوفه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. محتوی ماده خشک علوفه لاین‌های مختلف در مرحله شیری بین ۲۵/۰۲ تا ۲۸/۵۲ درصد، در مرحله خمیری نرم بین ۲۷/۳۵ تا ۳۳/۵۹ درصد، در مرحله خمیری سفت بین ۳۲/۹۳ تا ۳۸/۱۲ درصد و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانه بین ۴۰/۶۰ تا ۴۸/۹۲ درصد متغیر بود (جدول ۸). کم‌ترین درصد ماده خشک علوفه در تمام مراحل برداشت مورد بررسی در لاین MDFGS2 مشاهده شد، در حالی که لاین KDFGS6 در تمامی مراحل برداشت دارای بیش‌ترین درصد ماده خشک علوفه بود (جدول ۸). بدون در نظر گرفتن لاین MDFGS2 که درصد ماده خشک پایینی داشت، سایر لاین‌های مورد بررسی در مرحله خمیری نرم دانه درصد ماده خشک مناسبی برای تولید سیلاژ داشتند (بین ۳۰ تا ۳۴ درصد). بنابراین زمان مناسب برداشت علوفه برای تهیه سیلاژ در تمام لاین‌های مورد بررسی (به‌غیر از لاین MDFGS2)، مرحله خمیری نرم دانه بود. با توجه به محتوای مناسب ماده خشک علوفه برای تولید سیلاژ بهتر است علوفه لاین MDFGS2 در مرحله خمیری سفت برداشت شود.

رطوبت بیش از ۷۰ درصد علوفه سیلویی باعث می‌شود که سرعت اسیدی شدن سیلاژ کاهش یابد و تا زمانی که pH سیلاژ بالای ۵ باشد، میکروارگانیسم‌های نامطلوب امکان رشد و تکثیر دارند. بنابراین اگر محتوای ماده خشک علوفه کم‌تر از ۳۰ درصد باشد، زمینه برای فعالیت کلستریدیاها (Clostridia) و سایر میکروارگانیسم‌های نامطلوب فراهم خواهد شد (Jones *et al*., 2017). در این شرایط، پروتئین علوفه به اسید پروبیوتیک، آمین‌های بیوژنیک و سایر الکل‌ها تبدیل می‌شوند و سیلاژ را آلوده می‌کنند. این ترکیبات که بوی تند و نامطلوبی هم دارند، ضمن کاهش خوش‌خوراکی سیلاژ، برای سلامت دام‌ها نیز مضر هستند و موجب آسیب رساندن به کبد دام‌ها می‌شوند (Borreani *et al*., 2018). علاوه بر این، بالا بودن محتوای ماده خشک علوفه (بیش از ۴۰ درصد) می‌تواند سرعت فعالیت باکتری‌های تولیدکننده اسید لاکتیک را کاهش دهد و از تخمیر مناسب و سریع سیلاژ جلوگیری کند (Jones *et al*., 2017). با توجه به مطالب ذکر شده، برداشت علوفه لاین‌های سورگوم مورد بررسی

در این آزمایش با هدف تولید سیلاژ در مرحله شیری دانه به‌علت محتوای بالای رطوبت علوفه و درصد ماده خشک کم (جدول ۸) قابل‌توصیه نیست. همچنین برداشت علوفه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانه به‌علت درصد ماده خشک بسیار بالا (جدول ۸) و به‌دنبال آن تخمیر کُند و نامناسب نیز قابل‌توصیه نخواهد بود. با در نظر گرفتن عملکرد علوفه سیلویی و درصد ماده خشک علوفه در ژنوتیپ‌های مختلف و مراحل برداشت مورد بررسی، پیشنهاد می‌شود علوفه لاین امیدبخش MDFGS1 در انتهای مرحله خمیری نرم با هدف تولید سیلاژ به‌عنوان تیمار برتر برداشت شود.

بیش‌ترین وزن تر و خشک ساقه و برگ به‌ترتیب با ۸۴/۷۳ و ۲۱/۸۵ تن در هکتار در لاین MDFGS1 و مرحله شیری دانه مشاهده شد، درحالی‌که کم‌ترین وزن تر و خشک ساقه و برگ در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک بذر و توسط لاین‌های KDFGS6، KDFGS9، KDFGS10 و KDFGS16 تولید شد (جدول ۸). لاین MDFGS1 در تمامی مراحل برداشت مورد بررسی بیش‌ترین وزن تر و خشک ساقه و برگ را در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها به‌خود اختصاص داد. علاوه بر ژنوتیپ MDFGS1، لاین‌های KDFGS4 و MDFGS2 نیز توانستند در مرحله خمیری سفت دانه از نظر وزن تر و خشک ساقه و برگ در گروه آماری برتر قرار گیرند (جدول ۸). در تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی با افزایش سن گیاه، وزن تر ساقه و برگ به طور خطی و معنی‌داری کاهش یافت و بیشینه پتانسیل تولید ساقه و برگ در این لاین‌ها در مرحله شیری دانه حاصل شد (جدول ۸). رضوانی مقدم و نصیری محلاتی (Rezvani Moghadaddam and Nasiri Mahallati, 2004) نیز با بررسی ارقام مختلف سورگوم در زمان‌های مختلف برداشت نتایج مشابهی را گزارش کردند.

جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش زمان برداشت و ژنوتیپ بر خصوصیات علوفه سورگوم (برش‌دهی‌شده روی زمان برداشت)

Table 8. Mean comparison of the interaction of harvest time and genotype on the forage characteristics of sorghum (sliced upon the harvest time)

Harvest time	Genotype	Silage forage yield (ton.ha^{-1})	Dry matter yield (ton.ha^{-1})	Dry matter content (%)	Fresh weight of stem & leaf (ton.ha^{-1})	Fresh panicle weight (ton.ha^{-1})	Dry weight of stem & leaf (ton.ha^{-1})	Dry panicle weight (ton.ha^{-1})
Milk stage	KDFGS4	91.69 ab	25.81 a	28.19 ab	74.18 c	17.51 a	19.54 b	6.27 b
	KDFGS6	85.12 c	24.27 ab	28.52 a	67.07 de	18.05 a	17.37 d	6.90 a
	KDFGS9	84.56 c	23.49 b	27.87 ab	66.56 de	18.00 a	16.64 d	6.85 a
	KDFGS10	86.30 bc	23.41 b	27.31 bc	70.14 cd	16.17 b	17.63 cd	5.79 b
	KDFGS16	73.31 d	19.51 c	26.73 c	64.25 e	9.05 d	16.09 d	3.42 d
	MDFGS2	92.47 a	23.09 b	25.02 d	79.42 b	13.05 c	19.05 bc	4.04 c
	MDFGS1	96.71 a	26.00 a	26.92 c	84.73 a	11.97 c	21.85 a	4.15 c
Soft dough	KDFGS4	94.70 b	29.63 ab	31.33 c	71.00 b	23.70 a	19.93 b	9.69 b
	KDFGS6	87.22 cd	29.22 ab	33.59 a	63.18 c	24.04 a	17.70 cd	11.53 a
	KDFGS9	86.40 d	28.11 b	32.61 b	62.76 c	23.64 a	17.02 de	11.08 a
	KDFGS10	82.58 d	26.22 c	31.8 bc	62.24 c	20.34 b	16.83 de	9.38 b
	KDFGS16	72.83 e	23.47 d	32.33 b	57.02 d	15.81 d	16.08 e	7.39 d
	MDFGS2	93.07 bc	25.32 c	27.35 e	74.45 b	18.62 c	18.78 bc	6.53 e
	MDFGS1	101.73 a	29.99 a	29.59 d	79.85 a	21.88 b	21.50 a	8.49 c
Hard dough	KDFGS4	93.08 a	33.05 ab	35.54 c	66.06 a	27.02 ab	20.05 a	13.00 b
	KDFGS6	85.32 bc	31.97 a-c	37.51 ab	58.46 b	26.86 ab	17.44 bc	14.53 a
	KDFGS9	84.27 bc	31.93 a-c	37.97 a	56.64 b	27.63 a	16.78 bc	15.15 a
	KDFGS10	78.64 c	29.96 bc	38.12 a	55.54 b	23.10 c	16.46 c	13.49 b
	KDFGS16	71.08 d	25.67 d	36.18 bc	53.75 b	17.34 d	15.82 c	9.85 c
	MDFGS2	89.05 ab	29.23 c	32.93 d	66.91 a	22.15 c	18.95 ab	10.29 c
	MDFGS1	95.54 a	33.29 a	34.86 c	69.93 a	25.61 b	20.42 a	12.87 b
Maturity	KDFGS4	79.49 a	36.99 a	46.63 b	58.49 b	21.00 ab	18.86 b	18.13 ab
	KDFGS6	71.99 b	35.23 ab	48.91 a	50.39 c	21.60 ab	16.25 c	18.98 ab
	KDFGS9	71.89 b	35.13 a-c	48.92 a	49.60 c	22.29 a	15.74 c	19.39 a
	KDFGS10	69.82 bc	31.62 c	45.33 c	51.29 c	18.53 c	16.05 c	15.57 cd
	KDFGS16	64.24 c	27.99 d	43.66 d	49.76 c	14.48 d	15.93 c	12.06 e
	MDFGS2	80.66 a	32.71 bc	40.60 e	62.03 ab	18.63 c	18.52 b	14.18 d
	MDFGS1	85.28 a	38.13 a	44.74 cd	65.27 a	20.01 bc	20.88 a	17.25 bc

Means followed by the similar letter (s) for each factor in each column are not significantly different by Tukey's test at 5% probability level.

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش زمان برداشت و ژنوتیپ نشان داد که بیش‌ترین وزن تر پانیکول در مرحله خمیری سفت دانه و در لاین‌های KDFGS4، KDFGS6 و KDFGS9 تولید شد، در حالی‌که کمینه وزن تر پانیکول (۹/۰۵ تن در هکتار) در لاین KDFGS16 و در مرحله شیری دانه حاصل شد (جدول ۸). این در حالی است که بیشینه وزن خشک پانیکول توسط لاین‌های KDFGS4، KDFGS6 و KDFGS9 و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک بذر و کمینه آن (۳/۴۲ تن در هکتار) در مرحله شیری دانه و توسط لاین KDFGS16 تولید شد (جدول ۸). بیش‌ترین وزن تر و خشک پانیکول در مراحل شیری و خمیری نرم دانه توسط لاین KDFGS6 و در مراحل خمیری سفت و رسیدگی فیزیولوژیک بذر توسط لاین KDFGS9 حاصل شد (جدول ۸). در تمامی لاین‌های مورد بررسی با پیشرفت بلوغ گیاه، وزن خشک پانیکول به‌طور خطی و معنی‌داری افزایش یافت و بیشینه پتانسیل تولید پانیکول در این ژنوتیپ‌ها در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک بذر مشاهده شد (جدول ۸). مهاجر و همکاران (Mohajer *et al*., 2012) نیز با بررسی تأثیر زمان‌های مختلف برداشت علوفه ارزن گزارش کردند که بیش‌ترین وزن خشک پانیکول در زمان رسیدگی فیزیولوژیک دانه و کم‌ترین مقدار آن در مرحله گلدهی به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که لاین‌های امیدبخش سورگوم دومنظوره دانه‌ای- علوفه‌ای از لحاظ عملکرد دانه و علوفه، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند که این تفاوت می‌تواند تابع ویژگی‌های ژنتیکی آن‌ها باشد. زمان برداشت نیز اثر معنی‌داری بر عملکرد علوفه سیلویی و تولید ماده خشک داشت، به‌طوری‌که بیشینه عملکرد علوفه سیلویی در مرحله خمیری نرم دانه به‌دست آمد. محتوای ماده خشک علوفه در مرحله خمیری نرم دانه در تمام لاین‌های مورد بررسی (به‌غیر از لاین MDFGS2) بین ۳۰ تا ۳۴ درصد بود که محدوده مناسب برای تهیه سیلاژ می‌باشد. در مجموع در مقایسه بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، لاین امیدبخش KDFGS6 به‌عنوان بهترین ژنوتیپ دومنظوره دانه‌ای- علوفه‌ای و لاین MDFGS1 به‌عنوان ژنوتیپ مناسب برای تولید علوفه معرفی می‌شوند. در بین مراحل برداشت نیز بر اساس نتایج این آزمایش، مرحله خمیری نرم دانه به‌عنوان مناسب‌ترین زمان برداشت علوفه در بیش‌تر لاین‌های مورد بررسی با هدف تولید سیلاژ پیشنهاد می‌شود، اما در مورد لاین MDFGS2 برداشت علوفه سیلویی بهتر است در مرحله خمیری سفت انجام شود. به‌طور کلی، برداشت علوفه لاین امیدبخش MDFGS1 در انتهای مرحله خمیری نرم به‌عنوان تیمار برتر در این آزمایش برای تولید سیلاژ قابل پیشنهاد خواهد بود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت‌های مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی در اجرای این پروژه تحقیقاتی با کد مصوب ۹۶۰۴۶۱- ۰۴۳- ۰۳۱۳- ۰۳- ۰۳ سپاسگزاری می‌شود.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

Ahmadizadeh, A., Khajoei-Nejad, G. and Abdoshahi, R. 2018. Effect of salicylic acid on morphological characteristics and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars under different irrigation regimes. **Cereal Research** 7 (4): 591-603. (In Persian with English Abstract).

Ashoori, N., Abdi, M., Golzardi, F., Ajali, J. and Ilkaee, M. N. 2021. Quantitative and qualitative characteristics of forage in the sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) and berseem clover (*Trifolium alexandrinum* L.) intercropping systems. **Journal of Agricultural Science and Sustainable Production** 31 (2): 1-15. (In Persian with English Abstract).

Ashori, M., Fotokian, M. and Khazaei, A. 2020. Evaluation of genetic diversity and relation among traits in advanced forage-grain sorghum lines under low-irrigation conditions. **Cereal Research** 10 (3): 273-283. (In Persian with English Abstract).

Baghdadi, A., Paknejad, F., Golzardi, F., Hashemi, M. and Ilkaee, M. N. 2021. Suitability and benefits from intercropped sorghum–amaranth under partial root-zone irrigation. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 101. https://doi.org/10.1002/jsfa.11244.

Bakhtiyari, F., Zamanian, M. and Golzardi, F., 2020. Effect of mixed intercropping of clover on forage yield and quality. **South-Western Journal of Horticulture, Biology and Environment** 11 (1): 49-65.

Balazadeh, M., Zamanian, M., Golzardi, F. and Mohammadi Torkashvand, A. 2021. Effects of limited irrigation on forage yield, nutritive value and water use efficiency of Persian clover (*Trifolium resupinatum*) compared to berseem clover (*Trifolium alexandrinum*), **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 52 (16): 1927-1942.

Bartlett, M. S. 1937. Properties of sufficiency and statistical tests. **Mathematical and Physical Sciences** 160: 268-282.

Bayat, S. and Sepehri, A. 2014. Effect of foliar application of salicylic acid and paclobutrazol on grain yield and dry matter remobilization of maize (*Zea mays* L.) under drought stress. **Cereal Research** 4 (2): 127-139. (In Persian with English Abstract).

Blummel, M., Zerbini, E., Reddy, B. V. S., Hash, C. T., Bidinger, F. and Khan, A. A. 2003. Improving the production and utilization of sorghum and pearl millet as livestock feed: progress towards dual-purpose genotypes. **Field Crops Research** 84 (1-2): 143-158.

Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J. and Muck, R. E. 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. **Journal of Dairy Science** 101 (5): 3952-3979.

Glamoclija, D., Jankovic, S., Rakic, S., Maletic, R., Ikanovic, J. and Lakic, Z. 2011. Effects of nitrogen and harvesting time on chemical composition of biomass of Sudan grass, fodder sorghum, and their hybrid. **Turkish Journal of Agriculture Food and Technology** 35: 127-138.

Golzardi, F., Nazari, Sh. and Rahjoo, V. 2019. Sorghum cultivation. ETKA Publication, Tehran, Iran. (In Persian).

Hassan, M. U., Chattha, M. U., Barbanti, L., Chattha, M. B., Mahmood, A., Khan, I. and Nawaz, M. 2019. Combined cultivar and harvest time to enhance biomass and methane yield in sorghum under warm dry conditions in Pakistan. **Industrial Crops and Products** 132: 84-91.

Kaplan, M., Kara, K., Unlukara, A., Kale, H., Buyukkilic Beyzi, S., Varol, I.S., Kizilsimsek, M. and Kamalak, A. 2019. Water deficit and nitrogen affects yield and feed value of sorghum sudangrass silage. **Agricultural Water Management** 218: 30-36.

Khazaei A. 2020. Evaluation of yield of promising dual purpose grain- forage sorghum lines (*Sorghum bicolor* L. Moench) using drought tolerance indices. **Iranian Journal of Crop Sciences** 22 (3): 275-290. (In Persian with English Abstract).

Khazaei, A., Fouman, A., Rahjoo, V. and Golzardi, F. 2019. Sorghum cultivation (Handbook). Agricultural Education Publication, Teharn, Iran. (In Persian).

Khazaei, A., Sabouri, A., Sadat Shobbar, Z. and Shahbazi, M. 2017. Evaluating the relationships between grain yield and important agronomic traits in cultivars and promising lines of grain sorghum under non-stress and drought stress irrigation regimes. **Cereal Research** 7 (1): 129-141. (In Persian with English Abstract).

Jones, C. M., Heinrichs, A. J., Roth, G. W. and Ishler, V. A. 2017. From harvest to feed: Understanding silage management. PennState Extension. Retrieved October 25, 2021, from https://extension.psu.edu/from-harvest-to-feed-understanding-silage-management.

Mohajer, S., Ghods, H., Mat R. and Talati, A. 2012. Effect of different harvest time on yield and forage quality of three varieties of common millet (*Panicum miliaceum*). **Scientific Research and Essays** 7 (34): 3020-3025.

Muhammad, A., Muhammad, A. N., Asif, T. and Azhar, H. 2002. Effect of different levels of nitrogen and harvesting times on the growth, yield and quality of sorghum fodder. **Asian Journal of Plant Sciences** 1 (4): 304-307.

Rezvani Moghaddam, P. and Nasiri Mahallati, M. 2004. Dry matter digestibility and protein contents of three forage sorghum cultivars harvested at different dates. **Iranian Journal of Agricultural Science** 35 (4): 787-796. (In Persian with English Abstract).

Ronga, D., Dal Prà, A., Immovilli, A., Ruozzi, F., Davolio, R. and Pacchioli, M. T. 2020. Effects of harvest time on the yield and quality of winter wheat hay produced in Northern Italy. **Agronomy** 10 (6): 917.

Shakeri, E., Emam, Y. and Tabatabaei, S. 2017. Evaluation of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) lines and cultivars under salinity stress using tolerance indices. **Cereal Research** 7 (2): 285-299. (In Persian with English Abstract).

Teixeira, T. P. M., Pimentel, L. D., Dias, L. A. S., Parrella, R. A. C., Paixão, M. Q. and Biesdorf, E. M. 2017. Redefinition of sweet sorghum harvest time: New approach for sampling and decision-making in field. **Industrial Crops and Products** 109: 579-586.

Torrecillas, M., Cantamutto, M. A. and Bertoia, L. M., 2011. Head and stover contribution to digestible dry matter yield on grain and dual-purpose sorghum crop. **Australian Journal of Crop Science** 5 (2):116-122.

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

doi: 10.22124/CR.2021.20609.1689

(Research Article)

Cereal Research
Vol. 11, No. 2, Summer 2021 (135-147)

Yield evaluation of promising lines of dual-purpose grain-forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] at different harvesting times

Mohammad Ebrahim Khalilian[1], Davood Habibi[2], Farid Golzardi[3*], Fayaz Aghayari[4] and Azim Khazaei[3]

Received: May 15, 2021 Accepted: September 3, 2021

Abstract

To evaluate the grain and forage yield in promising sorghum lines, a two years factorial experiment in a randomized complete block design with three replications was conducted in Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran, during 2017 and 2018 cropping seasons. Experimental factors included harvesting time at four levels (milk, soft dough, hard dough and physiological maturity stages of grain) and dual-purpose grain-forage sorghum genotypes at seven levels (KDFGS4, KDFGS6, KDFGS9, KGFGS10, KDFGS16, MDFGS1, and MDFGS2). Maximum and minimum grain yields (6847 and 4061 kg.ha^{-1}, respectively) were obtained from KDFGS6 and KDFGS16 lines, respectively, whereas the maximum and minimum 1000-grain weight (35.27 and 22.03 g, respectively) were recorded in KDFGS6 and MDFGS2 lines, respectively. MDFGS1 line produced the highest silage forage (101.73 ton.ha^{-1}) at the grain soft dough stage, and the highest dry matter (38.13 ton.ha^{-1}) at the grain physiological maturity stage. In total, according to the results of this experiment, KDFGS6 line is introduced as the best dual-purpose genotype for grain-forage production and MDFGS1 line as the suitable genotype for forage production. Furthermore, based on the suitable dry matter percentage of forage for silage production, it is recommended that the forage of promising dual-purpose sorghum lines be harvested at the grain soft dough stage. Therefore, forage harvesting from MDFGS1 promising line at the end of the soft dough stage is suggested as the superior treatment of this experiment for silage production.

Keywords: Dry matter, Genotype, Grain yield, Panicle, Silage production

1. Ph. D. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
3. Research Assist. Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
4. Assist. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
* Corresponding author: f.golzardi@areeo.ac.ir