Plant Production Technology/ Volume 23/ Issu 2/ Pages 53-68/ Autumn and Winter 2024
https://doi.org/10.22084//PPT.2024.28640.2116

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Evaluating the Forage Production Potential of Sorghum Promising Lines (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) at Different Reproductive Growth Stages

Golzardi[1*], F., Aghashahi[2], A., Yousef Elahi[3], M. and Dahmarde Ghaem Abad[4], O.

1. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2. Associate Professor, Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3 and 4. Associate Professor and MSc Graduate, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

*: Corresponding author Email: f.golzardi@areeo.ac.ir

Received: 2023/12/05 Accepted: 2024/03/09

Abstract

In recent years, attention to sorghum has increased due to its high forage production potential and drought tolerance in many regions of the world. Since the yield and quality of this plant's forage are influenced by the growth stage, this study was conducted to examine the effect of harvest time on the quantitative and qualitative traits of sorghum forage. The experiment was carried out in a factorial arrangement within a randomized complete block design with three replications in Karaj. The experimental factors included harvest time at four levels (milk stage, soft dough stage, hard dough stage, and grain physiological maturity) and promising sorghum lines at seven levels. The maximum protein and digestible organic matter yields (22.64 and 17.98 ton.ha^{-1}, respectively) and the highest production of metabolizable energy (65.44 Gcal.ha^{-1}) were obtained at the grain physiological maturity stage, whereas the highest protein content and organic matter digestibility (9.2% and 62.9%, respectively) and the maximum metabolizable energy content (2.35 Mcal.kg^{-1}) were recorded at the grain milk stage. Furthermore, with increasing plant age, the amount of prussic acid, water-soluble carbohydrates, ash, and ether extract decreased, while the contents of fiber and organic matter increased. Among the genotypes studied, the highest quantitative and qualitative yield and the minimum prussic acid content were observed in the promising line MDFGS1. As maturity progressed from the milk stage to physiological maturity, the quantitative yield increased while forage quality decreased. Overall, to achieve suitable quantitative and qualitative yields, it is recommended to harvest sorghum forage at the soft dough stage. Furthermore, the promising line MDFGS1 is recommended as the superior genotype.

Keywords: Digestibility, Energy, Forage quality, Protein yield, Prussic acid.

Introduction

In recent years, attention to sorghum has increased in many regions of the world due to its high potential for forage production and drought tolerance. In the domain of forage production, the significance of forage quality extends beyond dry matter considerations. The quality of forage holds paramount importance, as it serves as an indicator of its nutritional value and energy content, directly influencing the quantity of nutrients that animals can efficiently acquire from the forage within the most efficient timeframe. Since the forage yield and quality of this crop is affected by the growth stage, this study was conducted to evaluate the effect of harvesting time on quantitative and qualitative traits of sorghum forage.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a factorial design based on a randomized complete block design with three replications at the Research Field of Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran (35°47'N, 50°54'E; 1248 m a.m.s.l.) with a semi-arid environment. The experimental factors included the harvesting time at four levels (milk, soft dough, hard dough, and grain physiological maturity) and the sorghum promising lines at seven levels (KDFGS4, KDFGS6, KDFGS9, KDFGS16, KDFGS26, MDFGS1, and MDFGS2. Data were analyzed using PROC GLM (general linear model) of SAS 9.1 software. The means comparison was conducted utilizing Tukey's test at a significance level of 5%.

Results and Discussion

The maximum protein and digestible organic matter yields (2.64 and 17.98 ton.ha^{-1}, respectively) and the highest production of metabolizable energy (65.44 Gcal.ha^{-1}) were obtained at the grain physiological maturity, whereas the highest protein content and organic matter digestibility (9.2 and 62.9%, respectively) and the maximum metabolizable energy content (2.35 Mcal.kg^{-1}) were recorded at the grain milk stage. Furthermore, with increasing plant age, the amount of prussic acid, water-soluble carbohydrates, ash, and ether extract decreased, and the contents of fiber and organic matter increased. Among the studied genotypes, the highest quantitative and qualitative yield and the lowest

prussic acid content were observed in the promising line MDFGS1. With progress toward maturity from the milk stage to physiological maturity, quantitative yield increased and forage quality decreased.

Conclusions

Overall, it is recommended to harvest sorghum forage at the soft dough stage to achieve a suitable quantitative and qualitative yield. Furthermore, the promising line MDFGS1 could be introduced as the superior genotype.

Acknowledgement

This research was supported by the Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran [Project number 03-03-0313-043-960461]. The authors are thankful for providing laboratory facilities and all technical support in the experimental field.

Citations: Golzardi, F., Aghashahi, A., Yousef Elahi, M. & Dahmarde Ghaem Abad, O. (2024). Evaluating the Forage Production Potential of Sorghum Promising Lines (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) at Different Reproductive Growth Stages. *Plant Production Technology*, *23*(2), 53-68. https://doi.org/10.22084/PPT.2024.28640.2116

© 2022 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Online ISSN: 2476-5651 **Print ISSN:** 2476-6321

فنآوری تولیدات گیاهی/ جلد بیست و سوم/ شمارهٔ دوم/ صفحات ۵۳- ۶۸/ پاییز و زمستان ۱۴۰۲
https://doi.org/10.22084/PPT.2024.28640.2116

بررسی پتانسیل تولید علوفه لاین‌های امیدبخش سورگوم (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) در مراحل مختلف رشد زایشی

Evaluating the Forage Production Potential of Sorghum Promising Lines (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) at Different Reproductive Growth Stages

فرید گل‌زردی[1*]، علیرضا آقاشاهی[2]، مصطفی یوسف‌الهی[3] و ام‌البنین دهمرده قائم‌آباد[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱۲/۱۹
(مقاله پژوهشی)

چکیده

در سال‌های اخیر توجه به سورگوم به دلیل پتانسیل بالای تولید علوفه و تحمل به خشکی در بسیاری از مناطق دنیا افزایش یافته است. از آن‌جا که عملکرد و کیفیت علوفه این گیاه تحت تأثیر مرحله رشد قرار می‌گیرد، این مطالعه به‌منظور بررسی تأثیر زمان برداشت بر صفات کمی و کیفی علوفه سورگوم انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در کرج اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل زمان برداشت در چهار سطح (مراحل شیری، خمیری نرم، خمیری سفت و رسیدگی فیزیولوژیکی دانه) و لاین‌های امیدبخش سورگوم در هفت سطح بودند. حداکثر عملکرد پروتئین و ماده آلی قابل‌هضم (به‌ترتیب ۲/۶۴ و ۱۷/۹۸ تن در هکتار) و بیش‌ترین تولید انرژی قابل‌متابولیسم (۶۵/۴۴ گیگاکالری در هکتار) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی دانه حاصل شد درحالی‌که بالاترین محتوی پروتئین و قابلیت هضم ماده آلی (به‌ترتیب ۹/۲ و ۶۲/۹ درصد) و حداکثر محتوی انرژی قابل‌متابولیسم (۲/۳۵ مگاکالری در کیلوگرم) در مرحله شیری دانه ثبت گردید. علاوه‌بر این با افزایش سن گیاه میزان اسید پروسیک، کربوهیدرات‌های محلول در آب، خاکستر و عصاره اتری کاهش و محتوی فیبر و مواد آلی افزایش یافت. در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی نیز بیشترین عملکرد کمی و کیفی و حداقل محتوی اسید پروسیک در لاین امیدبخش MDFGS1 مشاهده شد. با پیشرفت بلوغ از مرحله شیری تا رسیدگی فیزیولوژیکی، عملکرد کمی افزایش و کیفیت علوفه کاهش یافت. به‌طورکلی، برای دستیابی به عملکرد کمی و کیفی مناسب توصیه می‌شود علوفه سورگوم در مرحله خمیری نرم برداشت شود. علاوه‌بر این لاین امیدبخش MDFGS1 به عنوان ژنوتیپ برتر معرفی شود.

واژه‌های کلیدی: اسید پروسیک، انرژی، عملکرد پروتئین، قابلیت هضم، کیفیت علوفه

ارجاع به مقاله: گل‌زردی، ف.، آقاشاهی، ع. ر.، یوسف‌الهی، م. و دهمرده قائم‌آباد، ا. (۱۴۰۲). بررسی پتانسیل تولید علوفه لاین‌های امیدبخش سورگوم (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) در مراحل مختلف رشد زایشی، مجله فنآوری تولیدات گیاهی، ۲۳(۲)، ۵۳-۶۸.
https://doi.org/10.22084//PPT.2024.28640.2116

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Commons Creative License Attribution (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) به مجله اجازه می‌دهد مقاله‌ی چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

شاپا الکترونیکی: ۲۴۷۶-۵۶۵۱ **شاپا چاپی:** ۲۴۷۶-۶۳۲۱

۱. استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲. دانشیار، مؤسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳ و ۴. به‌ترتیب دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
*: نویسنده مسئول Email: f.golzardi@areeo.ac.ir

مقدمه

در سال‌های اخیر امنیت غذایی به دلیل کاهش بارندگی‌ها، گسترش خشکسالی‌ها و کمبود منابع آب آبیاری در کشور با تهدید مواجه شده است (*بختیاری*[1] و همکاران، 2020)؛ بنابراین باتوجه به کمبود علوفه و محدودیت منابع آبی در کشور، ضروری است ژنوتیپ‌های گیاهان علوفه‌ای متحمل به خشکی که دارای عملکرد و کیفیت علوفه مطلوبی باشند، شناسایی و به عنوان ارقام جدید معرفی شوند (*بالازاده*[2] و همکاران، 2021). سورگوم ازجمله گیاهان علوفه‌ای است که به‌دلیل سازگاری به شرایط گرم و خشک، مقاومت به کم‌آبی و گرما، سرعت رشد بالا، عملکرد مطلوب، فصل رشد نسبتاً کوتاه و امکان قرارگیری در تناوب‌های زراعی مختلف به‌عنوان یک محصول دانه‌ای و علوفه‌ای در سال‌های اخیر موردتوجه قرارگرفته است (*بغدادی*[3] و همکاران، 2023). سورگوم می‌تواند تحت‌شرایط آب و هوائی گرم و خشک و در خاک‌های فقیر عملکرد قابل‌قبولی تولید نماید درحالی‌که ذرت در این شرایط قادر به رشد و تولید مناسب نخواهد بود (*میرکی*[4] و همکاران، 2023). در ژنوتیپ‌های دومنظوره سورگوم پتانسیل تولید دانه و علوفه به‌طور هم‌زمان وجود دارد و حتی پس از مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی، برگ‌ها و ساقه‌ها سبز و دارای کیفیت علوفه مطلوبی هستند (*خلیلیان*[5] و همکاران، 2022).

در تولید علوفه، علاوه بر عملکرد ماده خشک، خصوصیات کیفی نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند، زیرا کیفیت علوفه بیانگر ارزش غذایی و انرژی قابل‌استحصال از آن است (*عاشوری*[6] و همکاران، 2021). عوامل مختلفی بر کیفیت علوفه تأثیر می‌گذارند که ازجمله آن‌ها می‌توان به آبیاری، کوددهی، ژنوتیپ و زمان برداشت اشاره کرد (جباری و همکاران، ۱۴۰۲؛ *فرهادی*[7] و همکاران، 2022). زمان برداشت ازجمله مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر کمیت و کیفیت علوفه می‌باشد که تأثیر به‌سزایی بر خوشخوراکی، قابلیت هضم و ارزش غذایی علوفه دارد (*رونگا*[8] و همکاران، 2020؛ جباری و همکاران، ۱۴۰۲). به‌طورکلی مرحله برداشت علوفه بر اساس هدف تولید و نوع مصرف (سیلویی، علوفه تر، علوفه خشک و چرای مستقیم) تعیین می‌شود (*خلیلیان* و همکاران، 2022). برای تولید علوفه تازه و علوفه خشک توصیه شده است که سورگوم در اواخر مرحله رشد رویشی (و با آغاز گل‌دهی) برداشت شود درحالی‌که برای تولید سیلاژ، برداشت علوفه در مرحله شیری- خمیری دانه انجام می‌شود (گل‌زردی و همکاران، ۱۳۹۸). تأثیر زمان برداشت بر عملکرد و ارزش غذایی محصولات علوفه‌ای توسط محققان مختلفی موردمطالعه قرار گرفته است (*اسلیوق*[9] و همکاران، 2001؛ *رونگا* و همکاران، 2020). اکثر پژوهشگران گزارش کرده‌اند که با پیشرفت بلوغ گیاه به سمت رسیدگی فیزیولوژیکی، ارزش غذایی علوفه کاهش می‌یابد (*کارمی*[10] و همکاران، 2006؛ *گلاموکلیا*[11] و همکاران، 2011؛ رونگا و همکاران، 2020) اما جباری و همکاران (۱۴۰۲) نشان دادند که کیفیت علوفه گلرنگ در مرحله شاخه‌دهی بیش‌تر از مرحله ساقه‌دهی بود.

مرحله رشد گیاه بر قابلیت هضم علوفه و میزان ماده خشک مصرفی توسط دام هم تأثیرگذار است (*میرون*[12] و همکاران، 2006؛ *آتیس*[13] و همکاران، 2012). در بررسی خصوصیات کیفی ارقام مختلف سورگوم مشخص شد که بیش‌ترین عملکرد ماده خشک در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی دانه و بیش‌ترین میزان پروتئین خام و حداکثر قابلیت هضم علوفه و انرژی قابل‌متابولیسم در مرحله شیری دانه حاصل شد (*خلیلیان* و همکاران، 2022). در گیاه ذرت نیز با افزایش سن گیاه میزان پروتئین علوفه کاهش و عملکرد علوفه سیلویی افزایش می‌یابد (*فیلیا*[14]، 2004؛ *فروزمند*[15] و همکاران، 2005) با پیشرفت بلوغ، تعداد برگ‌ها در قسمت پایینی بوته کاسته می‌شود و چون برگ‌ها محل تجمع خاکستر و مواد مغذی هستند، لذا با افزایش سن گیاه، درصد خاکستر و ارزش غذایی علوفه کاهش می‌یابد (*فروزمند* و همکاران، 2005). *مارینا*ز[16] و همکاران (2013) نیز بیان کردند با افزایش سن گیاه علاوه بر کاهشِ نسبت برگ به ساقه، محتوی دیواره سلولی و لیگنینی شدن آن افزایش یافته و این فرایند کیفیت علوفه را کاهش می‌دهد. به‌طورکلی با افزایش سن گیاه و پیشروی به سمت رسیدگی فیزیولوژیکی محتوی فیبر شوینده اسیدی، فیبر شوینده خنثی افزایش و ارزش نسبی غذایی و قابلیت هضم علوفه کاهش می‌یابد (*تکسیرا*[17] و همکاران، 2017). باتوجه به روند متفاوت تغییرات عملکرد کمی و کیفی علوفه با پیشرفت بلوغ، این مطالعه با هدف شناسایی زمان مناسب برداشت علوفه سورگوم انجام شد. هدف دیگر این

1. Bakhtiyari
2. Balazadeh
3. Baghdadi
4. Mirahki
5. Khalilian
6. Ashoori
7. Farhadi
8. Ronga
9. Sleugh
10. Carmi
11. Glamoclija
12. Miron
13. Atis
14. Filya
15. Forouzmand
16. Marinas
17. Teixeira

آزمایش مقایسه عملکرد و کیفیت علوفه لاین‌های امیدبخش سورگوم بود تا برترین ژنوتیپ با پتانسیل مناسب تولید علوفه شناسایی شود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه ۴۰۰ هکتاری مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل زمان برداشت در چهار سطح (مراحل شیری، خمیری نرم، خمیری سفت و رسیدگی فیزیولوژیکی دانه) و لاین‌های امیدبخش سورگوم در هفت سطح (KDFGS4، KDFGS6، KDFGS9، KDFGS16، KDFGS26، MDFGS1 و MDFGS2) بودند. این لاین‌های امیدبخش، حاصل آزمایشات مقدماتی و نیمه‌نهایی هستند که در شرایط آب و هوایی کشور توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر اصلاح و تولید شده‌اند. محل اجرای آزمایش از نظر اقلیمی دارای آب‌وهوای 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، میانگین دمای هوا ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای خاک ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد بود.

پیش از کاشت نسبت به تهیه زمین (شخم، دیسک و لولر) اقدام و براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و نیاز کودی سورگوم، مقدار کود موردنیاز به زمین اضافه گردید. طبق آنالیزهای انجام‌شده، پیش از کاشت کود فسفات آمونیوم به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار و در زمان کاشت کود اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به زمین اضافه شد. علاوه‌بر این ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌صورت سرک در مرحله ۴-۶ برگی بوته‌ها مصرف شد. این آزمایش شامل ۲۸ تیمار و ۸۴ کرت آزمایشی بود. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط کاشت به طول شش متر و با فاصله بین 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. عملیات کاشت در ۱۰ خردادماه و در زمینی تحت آیش انجام شد. آبیاری به‌صورت جوی و پشته‌ای (فارو) و با دور آبیاری ۱۰-۷ روز یک‌بار براساس نیاز آبی سورگوم انجام شد.

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در محل اجرای آزمایش

Table 1: Physical and chemical characteristics of the soil at the experimental site

بافت Texture	پی‌اچ pH	مواد آلی (درصد) Organic matter (%)	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	فسفر قابل‌جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) Available phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل‌جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) Available potassium ($mg.kg^{-1}$)
لوم-رسی Clay-loam	7.21	0.57	0.07	12.2	254

زمان برداشت در هر کرت براساس تیمارهای آزمایشی موردنظر تنظیم شد. جهت تعیین عملکرد علوفه، دو ردیف وسط هر کرت با حذف ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای کلیه ردیف‌ها، برداشت و بلافاصله توزین شد. از هر کرت سه بوته به‌طور تصادفی انتخاب و توزین گردید و در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت (تا ثابت شدن وزن نمونه) خشک شدند. در نهایت وزن نمونه‌های خشک‌شده اندازه‌گیری گردید و براساس میزان کاهش وزن نمونه‌ها و درصد ماده خشک آن‌ها، عملکرد علوفه خشک در هر کرت محاسبه گردید. صفات کیفی علوفه شامل محتوی ماده آلی، خاکستر، پروتئین خام، فیبر شوینده اسیدی، محتوی دیواره سلولی، عصاره اتری، کربوهیدارت، انرژی قابل‌متابولیسم، قابلیت هضم ماده آلی و محتوی اسید پروسیک توسط مؤسسه تحقیقات علوم دامی کشور اندازه‌گیری شدند. جهت تعیین صفات کیفی، نمونه‌های خشک‌شده آسیاب و سپس با استفاده از الک یک میلی‌متری غربال گردید و سپس براساس روش‌های استاندارد آنالیز شیمیایی *ای.او.ای.سی*[1]، 2002)، کیفیت علوفه اندازه‌گیری شد. محتوی دیواره سلولی (فیبر نامحلول در شوینده خنثی) و فیبر نامحلول در شوینده اسیدی طبق روش *ون‌سوست*[2] (1963) برآورد شدند. قابلیت هضم ماده آلی و محتوی انرژی قابل‌متابولیسم با استفاده از روش آزمون گاز تعیین شد. در این روش با استفاده از حجم گاز تولیدی حاصل از تخمیر ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک در طول ۲۴ ساعت و میزان پروتئین و خاکستر خام، قابلیت هضم ماده آلی براساس رابطه ۱ و محتوی انرژی قابل‌متابولیسم براساس رابطه ۲ برآورد می‌شود (*منکه و استینگاس*[3]، 1988؛ *بلومل*[4] و همکاران، 1997):

1. AOAC
2. Van Soest
3. Menke and Steingass
4. Blümmel

$$OMD = 14.88 + (0.889\times GP) + (0.45\times CP) + (0.0651\times CA) \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$ME = 2.2 + (0.1357\times GP) + (0.0057\times CP) + (0.0002859\times CP^2) \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در این روابط OMD قابلیت هضم ماده آلی، ME انرژی قابل‌متابولیسم، GP حجم گاز تولیدی، CP محتوی پروتئین خام و CA محتوی خاکستر خام می‌باشد. درصد پروتئین خام نیز با استفاده از روش کجلدال اندازه‌گیری شد (*کجلدال*[1]، 1883). به‌منظور محاسبه عملکرد پروتئین و عملکرد ماده آلی قابل‌هضم نیز به‌ترتیب درصد پروتئین و قابلیت هضم ماده آلی در عملکرد ماده خشک (برحسب تن در هکتار) ضرب شد (*یول‌الله*[2] و همکاران، 2014). محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS9.1 و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز از نرم‌افزار XLSTAT استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ژنوتیپ، زمان برداشت و برهم‌کنش آن‌ها بر محتوی ماده آلی، پروتئین خام، فیبر شوینده اسیدی، دیواره سلولی، خاکستر، کربوهیدارت محلول در آب، قابلیت هضم ماده آلی و انرژی قابل‌متابولیسم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). محتوی عصاره اتری نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر ژنوتیپ (در سطح احتمال ۵ درصد) و زمان برداشت و اثر متقابل آن‌ها (در سطح احتمال ۱ درصد) قرار گرفت (جدول ۲). میزان اسید پروسیک علوفه نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات اصلی ژنوتیپ و زمان برداشت (در سطح احتمال ۱ درصد) قرار گرفت ولی برهم‌کنش فاکتورهای مذکور بر اسید پروسیک معنی‌دار نشد (جدول ۲). اثر اصلی ژنوتیپ و زمان برداشت بر عملکرد ماده خشک، عملکرد پروتئین خام، عملکرد ماده آلی قابل‌هضم و عملکرد انرژی قابل‌متابولیسم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود ولی اثر متقابل ژنوتیپ × زمان برداشت بر این صفات معنی‌دار نشد (جدول ۲).

محتوی، قابلیت هضم و عملکرد ماده آلی

نتایج مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین محتوی ماده آلی (به‌ترتیب ۹۲/۲ و ۹۱/۲ درصد) به‌ترتیب در لاین‌های KDFGS6 و MDFGS2 ثبت شد، درحالی‌که بالاترین قابلیت هضم ماده آلی (۵۸/۷ درصد) در لاین KDFGS16 مشاهده شد، هر چند تفاوت معنی‌داری با لاین MDFGS1 (با قابلیت هضم ماده آلی ۵۸/۵ درصد) نداشت (جدول ۳). با این حال حداقل عملکرد ماده آلی قابل‌هضم (۱۳/۶۲ تن در هکتار) در لاین KDFGS16 و حداکثر آن (۱۸/۴۴ تن در هکتار) در لاین MDFGS1 ثبت گردید (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر زمان برداشت نیز نشان داد که با تأخیر در برداشت محتوی ماده آلی و عملکرد ماده آلی قابل‌هضم افزایش یافت به‌نحوی که بیش‌ترین مقدار این صفات (به‌ترتیب ۹۲/۸ درصد و ۱۷/۹۸ تن در هکتار) با برداشت علوفه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و کم‌ترین محتوی ماده آلی و عملکرد ماده آلی قابل‌هضم (به‌ترتیب ۹۰/۰ درصد و ۱۴/۴۶ تن در هکتار) با برداشت در مرحله شیری دانه حاصل شد، درحالی‌که بیش‌ترین قابلیت هضم ماده آلی (۶۲/۹ درصد) با برداشت در مرحله شیری دانه به دست آمد (جداول ۳ و ۴). بدون در نظر گرفتن مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی نیز بالاترین عملکرد ماده آلی قابل‌هضم (۱۵/۹۸ تن در هکتار) با برداشت علوفه در مرحله خمیری نرم دانه به‌دست آمد (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × زمان برداشت نیز نشان داد که بیش‌ترین محتوی ماده آلی (۹۳/۳ درصد) با برداشت لاین KDFGS6 در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی حاصل شد درحالی‌که حداکثر قابلیت هضم ماده آلی (۶۸/۴ درصد) با برداشت لاین KDFGS9 در مرحله شیری دانه حاصل گردید هرچند لاین KDFGS16 نیز با قابلیت هضم ماده آلی ۶۸/۲ درصد در مرحله شیری دانه در گروه آماری برتر قرار گرفت (جدول ۵). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تأخیر در برداشت باعث کاهش قابلیت هضم ماده آلی در همه ژنوتیپ‌ها شده است. *اسلیوق* و همکاران (2001) نیز گزارش نمودند که قابلیت هضم علوفه تاج‌خروس با افزایش سن گیاه کاهش یافت. دلیل افزایش عملکرد ماده آلی قابل‌هضم با پیشرفت مراحل رشد گیاه، افزایش تولید ماده خشک در واحد سطح می‌باشد (*خلیلیان* و همکاران، 2022).

1. Kjeldahl
2. Ul-Allah

جدول ۲: تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی علوفه سورگوم تحت تأثیر زمان برداشت و ژنوتیپ

Table 2: Variance analysis of quantitative and qualitative traits of sorghum forage as affected by harvest time and genotype

منابع تغییرات Sources of Variations	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square							
		OM†	Ash	CP	ADF	NDF	EE	WSC	DOMD
تکرار Replication	2	13^{ns}	26^{ns}	6^{ns}	7^{ns}	32^{ns}	4^{ns}	0.6^{ns}	201^{ns}
ژنوتیپ (G) Genotype (G)	6	142**	129**	245**	38279**	5790**	26*	116.1**	5093**
زمان برداشت (H) Harvest time (H)	3	3127**	3123**	1471**	40398**	53211**	1169**	628.7**	90717**
اثر متقابل G × H	18	173**	171**	104**	701**	1206**	59**	29.5**	3403**
خطای آزمایشی Error	54	20	18	3	31	111	11	0.9	25

منابع تغییرات Sources of Variations	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square					
		DMY	CPY	DOMY	ME	MEY	PA
تکرار Replication	2	5.9^{ns}	0.03^{ns}	0.9^{ns}	0.0019**	13^{ns}	8^{ns}
ژنوتیپ (G) Genotype (G)	6	81.4**	0.99**	26.0**	0.1010**	344**	24**
زمان برداشت (H) Harvest time (H)	3	418.2**	1.11**	55.6**	1.4890**	686**	204**
اثر متقابل G × H	18	3.1^{ns}	0.09^{ns}	2.4^{ns}	0.0505**	35^{ns}	8^{ns}
خطای آزمایشی Error	54	11.4	0.08	3.4	0.0002	46	5

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و می‌باشد

*, ** and ns: Significant at 5 and 1% probability level and non-significant, respectively

† OM: محتوی ماده آلی؛ Ash: خاکستر؛ CP: محتوی پروتئین خام؛ ADF: الیاف نامحلول در شوینده اسیدی؛ NDF: الیاف نامحلول در شوینده خنثی؛ EE: عصاره اتری؛ WSC: کربوهیدارت محلول در آب؛ PA: اسید پروسیک؛ ME: محتوای انرژی قابل‌متابولیسم؛ OMD : محتوای ماده آلی قابل‌هضم در ماده خشک؛ DMY: عملکرد ماده خشک؛ CPY: عملکرد پروتئین خام؛ DOMY: عملکرد ماده آلی قابل‌هضم؛ MEY: عملکرد انرژی قابل‌متابولیسم

† OM: organic matter content; CP: crude protein content; ADF: acid detergent fiber; NDF: neutral detergent fiber; EE: ethereal extract; WSC: water-soluble carbohydrate; PA: prussic acid; ME: metabolizable energy content; DOMD: digestible organic matter content in dry matter; DMY: dry matter yield; CPY: crude protein yield; DOMY: digestible organic matter yield; MEY: Metabolizable energy yield

جدول ۳: اثر اصلی ژنوتیپ و زمان برداشت بر کیفیت علوفه سورگوم

Table 3: Main effect of genotype and harvest time on sorghum forage quality

DOMD (%)	WSC (%)	EE (%)	NDF (%)	ADF (%)	CP (%)	Ash (%)	OM† (%)	تیمار آزمایشی Treatment	
58.5^{a}	9.3^{e}	5.6^{abc}	58.5^{b}	23.6^{d}	9.1^{a}	8.5^{ab}	91.5^{cd}	MDFGS1	ژنوتیپ Genotype
55.7^{c}	11.1^{c}	5.5^{bc}	55.2^{d}	24.9^{c}	7.8^{e}	8.8^{a}	91.2^{d}	MDFGS2	
53.3^{e}	6.5^{g}	5.7^{ab}	60.8^{a}	33.8^{b}	7.9^{de}	8.5^{ab}	91.5^{cd}	KDFGS4	
54.5^{d}	13.7^{b}	5.4^{c}	57.8^{b}	35.4^{a}	7.8^{e}	7.8^{d}	92.2^{a}	KDFGS6	
56.6^{b}	15.4^{a}	5.6^{abc}	56.6^{c}	35.0^{a}	8.0^{d}	8.1^{cd}	91.9^{ab}	KDFGS9	
58.7^{a}	8.2^{f}	5.6^{bc}	54.2^{e}	23.7^{d}	8.1^{c}	8.3^{bc}	91.9^{ab}	KDFGS16	
54.6^{d}	10.2^{d}	5.9^{a}	57.8^{b}	24.6^{c}	8.3^{b}	8.4^{b}	91.6^{bc}	KDFGS26	
62.9^{a}	17.7^{a}	6.4^{a}	51.8^{d}	24.3^{d}	9.2^{a}	10.0^{a}	90.0^{d}	شیری Milk stage	زمان برداشت Harvest time
59.3^{b}	11.6^{b}	5.8^{b}	54.9^{c}	26.7^{c}	8.3^{b}	8.4^{b}	91.7^{c}	خمیری نرم Soft dough	
47.8^{d}	8.2^{c}	5.5^{c}	59.0^{b}	29.4^{b}	7.2^{d}	7.8^{c}	92.2^{b}	خمیری سفت Hard dough	
54.0^{c}	5.0^{d}	4.6^{d}	63.4^{a}	34.5^{a}	7.9^{c}	7.2^{d}	92.8^{a}	رسیدگی Maturity	

در هر ستون و برای هر فاکتور میانگین‌های دارای حروف مشترک طبق آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

In each column and for each factor, the means with the same letters are not significantly different according to Tukey's test at 5% probability level

† OM: محتوی ماده آلی؛ Ash: خاکستر؛ CP: محتوی پروتئین خام؛ ADF: الیاف نامحلول در شوینده اسیدی؛ NDF: الیاف نامحلول در شوینده خنثی؛ EE: عصاره اتری؛ WSC: کربوهیدارت محلول در آب؛ DOMD: محتوای ماده آلی قابل‌هضم در ماده خشک

† OM: organic matter content; CP: crude protein content; ADF: acid detergent fiber; NDF: neutral detergent fiber; EE: ethereal extract; WSC: water-soluble carbohydrate; DOMD: digestible organic matter content in dry matter

جدول ۴: اثر اصلی ژنوتیپ و زمان برداشت بر عملکرد، انرژی و محتوی اسید پروسیک علوفه سورگوم

Table 4: Main effect of genotype and harvest time on yield, energy and prussic acid content of sorghum forage

PA ($mg.kg^{-1}$)	MEY ($Gcal.ha^{-1}$)	ME ($Mcal.kg^{-1}$)	DOMY	CPY ($mg.ha^{-1}$)	DMY†	تیمار آزمایشی Treatment	
8.9^{c}	68.01^{a}	2.16^{b}	18.44^{a}	2.85^{a}	31.92^{a}	MDFGS1	ژنوتیپ Genotype
10.9^{b}	57.07^{b}	2.08^{c}	15.35^{b}	2.15^{b}	27.77^{b}	MDFGS2	
9.2^{bc}	56.76^{b}	1.93^{f}	15.73^{b}	2.32^{b}	29.6^{ab}	KDFGS4	
10.0^{bc}	57.93^{b}	1.98^{e}	15.99^{b}	2.31^{b}	29.58^{ab}	KDFGS6	
13.0^{a}	59.38^{b}	2.06^{c}	16.31^{b}	2.34^{b}	29.47^{ab}	KDFGS9	
11.0^{b}	50.36^{c}	2.18^{a}	13.62^{c}	1.90^{c}	23.59^{c}	KDFGS16	
9.5^{bc}	54.95^{bc}	2.02^{d}	14.9^{bc}	2.26^{b}	27.47^{b}	KDFGS26	
14.2^{a}	53.86^{c}	2.35^{a}	14.46^{c}	2.13^{b}	23.03^{d}	شیری Milk stage	زمان برداشت Harvest time
11.3^{b}	58.83^{b}	2.18^{b}	15.98^{b}	2.25^{b}	27.01^{c}	خمیری نرم Soft dough	
8.8^{c}	52.99^{c}	1.73^{d}	14.63^{c}	2.20^{b}	30.56^{b}	خمیری سفت Hard dough	
7.0^{d}	65.44^{a}	1.97^{c}	17.98^{a}	2.64^{a}	33.33^{a}	رسیدگی Maturity	

در هر ستون و برای هر فاکتور میانگین‌های دارای حروف مشترک طبق آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

In each column and for each factor, the means with the same letters are not significantly different according to Tukey's test at 5% probability level

† DMY: عملکرد ماده خشک؛ CPY: عملکرد پروتئین خام؛ DOMY: عملکرد ماده آلی قابل‌هضم؛ ME: محتوای انرژی قابل‌متابولیسم؛ MEY: عملکرد انرژی قابل‌متابولیسم؛ PA : اسید پروسیک

† DMY: dry matter yield; CPY: crude protein yield; DOMY: digestible organic matter yield; ME: metabolizable energy content; MEY: Metabolizable energy yield; PA: prussic acid

محتوی و عملکرد پروتئین

بالاترین محتوی پروتئین خام و حداکثر عملکرد پروتئین (به‌ترتیب ۹/۱ درصد و ۲/۸۵ تن در هکتار) توسط لاین MDFGS1 حاصل شد، درحالی‌که لاین‌های MDFGS2 و KDFGS6 کم‌ترین محتوی پروتئین خام (۷/۸ درصد) و لاین KDFGS16 حداقل عملکرد پروتئین (۱/۹۰ تن در هکتار) را داشتند (جداول ۳ و ۴). بدون در نظر گرفتن لاین‌های MDFGS1 و KDFGS16 که حداکثر و حداقل تولید پروتئین در واحد سطح را نشان دادند، سایر ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری از نظر این صفت با یک‌دیگر نشان ندادند (جدول ۴).

در بین زمان‌های برداشت موردبررسی، حداکثر محتوی پروتئین خام (۹/۲ درصد) با برداشت در مرحله شیری دانه و بیش‌ترین عملکرد پروتئین (۲/۶۴ تن در هکتار) با برداشت در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی حاصل شد و با تأخیر در برداشت تا مرحله خمیری سفت، محتوی پروتئین به حداقل میزان خود (۷/۲ درصد) رسید ولی پس از این مرحله اندکی افزایش یافت و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی به ۷/۹ درصد افزایش یافت (جداول ۳ و ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل (جدول ۵) نیز نشان داد که این روند تغییرات (کاهش محتوی پروتئین از مرحله شیری تا خمیری سفت و سپس افزایش در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی) در همه لاین‌ها مشاهده شده است. بیش‌ترین محتوی پروتئین خام (۱۱/۸ درصد) نیز با برداشت لاین MDFGS1 در مرحله شیری دانه حاصل شد (جدول ۵).

حداقل عملکرد پروتئین (۲/۱۳ تن در هکتار) نیز در مرحله شیری دانه ثبت گردید هر چند تفاوت معنی‌داری با عملکرد پروتئین در مراحل خمیری نرم و خمیری سفت نداشت (جدول ۴). افزایش درصد پروتئین در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی می‌تواند با افزایش نسبت دانه به بیوماس مرتبط باشد (*خلیلیان* و همکاران، 2022). کاهش محتوی پروتئین خام طی مراحل شیری تا خمیری سفت دانه را می‌توان به پیری و ریزش برگ‌های پایین بوته و در نتیجه کاهش سهم برگ و افزایش سهم ساقه در ساختار کانوپی گیاه طی این دوره رشد نسبت داد (*فرهادی* و همکاران، 2022). مطالعات نشان داده است که با کاهش نسبت برگ به ساقه در سورگوم، محتوی پروتئین علوفه کاهش و میزان فیبر افزایش می‌یابد (*ماچیچک*[1] و همکاران، 2019). *سلطان*[2] و همکاران (2008) نیز گزارش کردند که محتوی پروتئین خام در مرحله بلوغ فیزیولوژیکی نسبت به مراحل اولیه رشد گیاه کاهش یافته است. *جانسون*[3] و همکاران، (2001) نیز نشان دادند که با پیشرفت بلوغ در گیاه ذرت، محتوی پروتئین خام کاهش و عملکرد پروتئین افزایش یافت. باتوجه به اهمیت پروتئین در خوراک دام و هزینه بالای آن، عملکرد پروتئین به‌عنوان یک صفت کیفی مهم در نظر گرفته می‌شود (*بغدادی* و همکاران، 2023؛ *بالازاده* و همکاران، 2021). با وجود کاهش محتوی پروتئین در مرحله بلوغ فیزیولوژیکی، به‌دلیل عملکرد بیش‌تر ماده خشک در واحد سطح، عملکرد پروتئین خام با تأخیر در برداشت افزایش یافت (*رونگا* و همکاران، 2020). پس می‌توان اذعان داشت برخلاف محتوی پروتئین خام، عملکرد پروتئین با پیشرفت بلوغ افزایش می‌یابد.

محتوی دیواره سلولی

کم‌ترین محتوی فیبر شوینده اسیدی (۲۳/۶ درصد) در لاین MDFGS1 ثبت شد، هر چند تفاوت معنی‌داری با لاین KDFGS16 (با محتوی فیبر شوینده اسیدی ۲۳/۷ درصد) نداشت (جدول ۳). علاوه بر این لاین KDFGS16 کم‌ترین محتوی دیواره سلولی (۵۴/۲ درصد) را نشان داد. میزان فیبر شوینده اسیدی و دیواره سلولی با افزایش سن گیاه و تأخیر در برداشت، افزایش یافت؛ به‌نحوی که کم‌ترین میزان این صفات (به‌ترتیب ۲۴/۳ و ۵۱/۸ درصد) با برداشت در مرحله شیری دانه و بیش‌ترین میزان آن‌ها (به‌ترتیب ۳۴/۵ و ۶۳/۴ درصد) با برداشت در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی دانه حاصل شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل زمان برداشت و ژنوتیپ نیز نشان داد که حداقل محتوی فیبر شوینده اسیدی (۱۸/۱ درصد) با برداشت لاین KDFGS26 در مرحله شیری دانه حاصل شد هرچند لاین MDFGS1 نیز در همین مرحله با ۱۸/۸ درصد فیبر شوینده اسیدی در گروه آماری برتر قرار گرفت (جدول ۵). کم‌ترین میزان دیواره سلولی (۴۷/۴ درصد) نیز با برداشت لاین KDFGS16 در مرحله شیری دانه حاصل شد هرچند که تفاوت معنی‌داری با محتوی دیواره سلولی لاین‌های MDFGS2 و KDFGS6 در مرحله شیری نداشت (جدول ۵). *جانسون* و همکاران، (2001) نیز بیان داشتند که با افزایش رشد و پیشرفت بلوغ در گیاهان علوفه‌ای، محتوی دیواره سلولی (سلولز، همی‌سلولز و لیگنین) و فیبر شوینده اسیدی (سلولز و لیگنین) افزایش پیدا می‌کند. سنتز لیگنین طی توسعه دیواره‌های سلولی ثانویه رخ می‌دهد، بنابراین رسیدگی فیزیولوژیکی که دیواره سلولی را ضخیم می‌کند می‌تواند بر سطح لیگنین گیاه تأثیر بگذارد و آن را افزایش دهد (*کارمی* و همکاران، 2006).

1. Machicek
2. Sultan
3. Johnson

جدول ۵: اثر متقابل ژنوتیپ و زمان برداشت بر کیفیت علوفه سورگوم

Table 5: Interaction effect of genotype and harvest time on sorghum forage quality

ME (Mcal.kg^{-1})	DOMD	WSC	EE	NDF	ADF	CP	Ash	OM†	زمان برداشت Harvest time	ژنوتیپ Genotype
				(%)						
2.48^{c}	67.0^{b}	17.1^{d}	5.9^{d-h}	55.1^{fgh}	18.8^{o}	11.8^{a}	9.2^{c-f}	90.8^{jkl}	شیری Milk stage	MDFGS1
2.31^{f}	61.8^{de}	8.9^{f-i}	5.7^{e-i}	56.3^{fg}	21.3^{m}	8.9^{c}	9.2^{c-f}	90.8^{i-l}	خمیری نرم Soft dough	
1.81^{p}	49.3^{l}	7.2^{jk}	5.5^{f-i}	59.5^{de}	24.7^{k}	7.5^{j}	8.3^{g-j}	91.7^{fgh}	خمیری سفت Hard dough	
2.04^{kl}	55.9^{hi}	3.8^{l}	5.4^{h-k}	63.0^{b}	29.7^{h}	8.3^{e}	7.3^{m-p}	92.7^{a-d}	رسیدگی Maturity	
2.37^{e}	61.2^{e}	23.6^{b}	6.4^{bcd}	48.9^{l}	19.9^{n}	9.3^{b}	12.6^{a}	87.4^{n}	شیری Milk stage	MDFGS2
2.13^{i}	57.6^{g}	9.0^{f-i}	6.1^{cde}	54.0^{hi}	23.8^{k}	8.0^{gh}	8.0^{h-l}	92.0^{d-g}	خمیری نرم Soft dough	
1.76^{q}	47.7^{m}	7.6^{ijk}	5.6^{f-i}	56.7^{f}	25.8^{j}	6.2^{l}	7.6^{k-n}	92.4^{b-f}	خمیری سفت Hard dough	
2.06^{jk}	56.4^{h}	4.2^{l}	3.9^{m}	61.3^{bc}	30.2^{h}	7.9^{h}	7.1^{nop}	92.9^{abc}	رسیدگی Maturity	
2.03^{lm}	55.7^{hi}	9.4^{fg}	6.5^{bc}	56.4^{fg}	30.4^{gh}	8.6^{d}	10.8^{b}	89.2^{m}	شیری Milk stage	KDFGS4
2.01^{m}	55.6^{hi}	7.9^{g-k}	5.4^{f-j}	58.5^{e}	32.1^{ef}	8.3^{ef}	8.7^{efg}	91.3^{hij}	خمیری نرم Soft dough	
1.71^{r}	48.0^{m}	6.5^{k}	6.0^{c-f}	62.9^{b}	34.3^{d}	7.1^{k}	7.7^{j-n}	92.3^{c-g}	خمیری سفت Hard dough	
1.95^{n}	54.0^{j}	2.0^{m}	4.9^{ijk}	65.6^{a}	38.3^{b}	7.6^{ij}	6.9^{op}	93.1^{ab}	رسیدگی Maturity	
2.19^{h}	59.8^{f}	25.5^{a}	5.9^{d-h}	49.1^{l}	32.3^{e}	8.0^{gh}	9.5^{cd}	90.5^{kl}	شیری Milk stage	KDFGS6
2.01^{m}	55.3^{i}	12.4^{e}	5.5^{f-j}	53.1^{ij}	34.2^{d}	8.0^{gh}	7.5^{l-o}	92.5^{b-e}	خمیری نرم Soft dough	
1.86^{o}	51.7^{k}	9.2^{fgh}	5.4^{g-j}	62.5^{b}	36.2^{c}	7.5^{j}	7.5^{k-o}	92.5^{b-e}	خمیری سفت Hard dough	
1.85^{o}	51.3^{k}	7.7^{h-k}	4.9^{kl}	66.5^{a}	38.9^{b}	7.8^{hi}	6.7^{p}	93.3^{a}	رسیدگی Maturity	
2.53^{b}	68.4^{a}	22.3^{bc}	6.2^{cde}	54.5^{hi}	30.5^{gh}	8.5^{de}	8.9^{d-g}	91.1^{h-k}	شیری Milk stage	KDFGS9
2.31^{f}	62.6^{d}	21.1^{c}	5.9^{d-g}	54.8^{ghi}	31.3^{fg}	8.2^{efg}	8.3^{g-j}	91.7^{fgh}	خمیری نرم Soft dough	
1.57^{t}	44.4^{o}	10.2^{f}	5.4^{f-j}	56.2^{fg}	36.6^{c}	7.4^{j}	7.9^{i-m}	92.1^{c-g}	خمیری سفت Hard dough	
1.85^{o}	51.1^{k}	8.1^{g-j}	4.9^{k}	60.8^{cd}	41.6^{a}	7.9^{hi}	7.3^{m-p}	92.7^{a-d}	رسیدگی Maturity	
2.58^{a}	68.2^{a}	10.1^{f}	6.8^{ab}	47.4^{l}	20.0^{n}	9.0^{bc}	9.8^{c}	90.2^{l}	شیری Milk stage	KDFGS16
2.43^{d}	65.7^{c}	9.4^{fg}	5.8^{e-i}	52.1^{jk}	22.4^{l}	8.5^{de}	8.6^{fgh}	92.4^{c-f}	خمیری نرم Soft dough	
1.74^{qr}	47.5^{m}	8.7^{f-i}	5.3^{ijk}	56.7^{f}	24.2^{k}	7.1^{k}	7.6^{j-n}	92.4^{c-f}	خمیری سفت Hard dough	
1.95^{n}	53.6^{j}	4.7^{l}	4.3^{lm}	60.5^{cd}	28.2^{i}	8.0^{gh}	7.3^{m-p}	92.7^{abc}	رسیدگی Maturity	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون طبق آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

In each column, the means with the same letters are not significantly different according to Tukey's test at 5% probability level

† OM: محتوی ماده آلی؛ Ash: خاکستر؛ CP: محتوی پروتئین خام؛ ADF: الیاف نامحلول در شوینده اسیدی؛ NDF: الیاف نامحلول در شوینده خنثی؛ EE: عصاره اتری؛ WSC: کربوهیدارت محلول در آب؛ DOMD: محتوای ماده آلی قابل هضم در ماده خشک، ME: محتوای انرژی قابل‌متابولیسم

† OM: organic matter content; CP: crude protein content; ADF: acid detergent fiber; NDF: neutral detergent fiber; EE: ethereal extract; WSC: water-soluble carbohydrate; DOMD: digestible organic matter content in dry matter; ME: metabolizable energy content

ادامه جدول ۵: اثر متقابل ژنوتیپ و زمان برداشت بر کیفیت علوفه سورگوم

Table 5: Interaction effect of genotype and harvest time on sorghum forage quality

ME (Mcal.kg^{-1})	DOMD	WSC	EE	NDF	ADF	CP	Ash	OM†	زمان برداشت Harvest time	ژنوتیپ Genotype
				(%)						
2.25^{g}	60.2^{f}	16.2^{d}	7.3^{a}	51.1^{k}	18.1^{o}	9.2^{b}	9.3^{cde}	90.7^{jkl}	شیری Milk stage	KDFGS26
2.08^{j}	56.4^{h}	12.6^{e}	6.4^{bcd}	55.4^{fgh}	21.7^{lm}	8.5^{de}	8.4^{ghi}	91.6^{ghi}	خمیری نرم Soft dough	
1.68^{s}	46.1^{n}	7.7^{h-k}	5.6^{f-i}	58.7^{e}	24.4^{k}	7.5^{j}	8.2^{g-k}	91.8^{e-h}	خمیری سفت Hard dough	
2.05^{kl}	55.8^{hi}	4.2^{l}	4.2^{m}	65.9^{a}	34.5^{d}	7.9^{h}	7.7^{j-n}	92.3^{c-g}	رسیدگی Maturity	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون طبق آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

In each column, the means with the same letters are not significantly different according to Tukey's test at 5% probability level

† OM: محتوی ماده آلی؛ Ash: خاکستر؛ CP: محتوی پروتئین خام؛ ADF: الیاف نامحلول در شوینده اسیدی؛ NDF: الیاف نامحلول در شوینده خنثی؛ EE: عصاره اتری؛ WSC: کربوهیدارت محلول در آب؛ DOMD: محتوای ماده آلی قابل هضم در ماده خشک، ME: محتوای انرژی قابل‌متابولیسم

† OM: organic matter content; CP: crude protein content; ADF: acid detergent fiber; NDF: neutral detergent fiber; EE: ethereal extract; WSC: water-soluble carbohydrate; DOMD: digestible organic matter content in dry matter; ME: metabolizable energy content

به‌طورکلی محتوی سلولز با افزایش سن گیاهان افزایش می‌یابد (*بختیاری* و همکاران، 2020). به دنبال افزایش محتوی فیبر شوینده اسیدی و دیواره سلولی، قابلیت هضم ماده آلی با افزایش سن گیاه کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده کیفیت پایین‌تر علوفه در مراحل انتهایی دوره رشد است (*گلاموکلیا* و همکاران، 2011). هم‌چنین ارزش نسبی غذایی علوفه با افزایش محتوی فیبر شوینده اسیدی و دیواره سلولی کاهش می‌یابد (*آتیس* و همکاران، 2012؛ *عاشوری* و همکاران، 2021). مطالعات پیشین نیز نشان داد که محتوی لیگنین بالاتر منجر به کاهش قابلیت هضم علوفه می‌شود (*میرون* و همکاران، 2006؛ *یوسف*[1] و همکاران، 2009).

محتوی خاکستر، چربی و کربوهیدرات

حداکثر محتوی خاکستر (۸/۸ درصد) در لاین MDFGS2 مشاهده شد هرچند لاین KDFGS4 نیز با محتوی خاکستر ۸/۵ درصدی در گروه آماری برتر رتبه‌بندی شد (جدول ۳). محتوی خاکستر علوفه نیز با تأخیر در برداشت کاهش یافت به‌نحوی‌که بالاترین و پایین‌ترین میزان آن (به‌ترتیب ۱۰ و ۷/۲ درصد) به‌ترتیب با برداشت در مراحل شیری و رسیدگی فیزیولوژیکی دانه حاصل شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × زمان برداشت نیز نشان داد که با تأخیر در برداشت، محتوی خاکستر تمام لاین‌های موردبررسی کاهش یافت به‌نحوی که حداکثر محتوی خاکستر علوفه (۱۲/۶ درصد) با برداشت لاین MDFGS2 در مرحله شیری دانه به‌دست آمد (جدول ۵). بیش‌ترین و کم‌ترین محتوی کربوهیدرات‌های محلول در آب (به‌ترتیب ۱۵/۴ و ۶/۵ درصد) به‌ترتیب در لاین‌های KDFGS9 و KDFGS4 حاصل شد. از نظر محتوی عصاره اتری تفاوت زیادی بین ژنوتیپ‌ها وجود نداشت و حداکثر و حداقل آن (۵/۹ و ۵/۴ درصد) به‌ترتیب در لاین‌های KDFGS26 و KDFGS6 ثبت گردید (جدول ۳). تاخیر در برداشت باعث کاهش محتوی عصاره اتری و کربوهیدرات‌های محلول در آب شد، به‌نحوی که بیش‌ترین میزان این صفات (به‌ترتیب ۶/۴ و ۱۷/۷ درصد) در مرحله شیری دانه و کم‌ترین آن‌ها (به‌ترتیب ۴/۶ و ۵/۰ درصد) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی حاصل شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نیز نشان داد که حداکثر محتوی عصاره اتری (۷/۳ درصد) با برداشت لاین KDFGS26 در مرحله شیری دانه به دست آمد هر چند تفاوت معنی‌داری با لاین KDFGS16 (با ۶/۸ درصد عصاره اتری) نداشت. هم‌چنین بیش‌ترین محتوی کربوهیدارت محلول در آب (۲۵/۵ درصد) با برداشت لاین KDFGS6 در مرحله شیری ثبت دانه شد (جدول ۵). ایزدی یزدان‌آبادی و همکاران (۱۳۹۲) نیز به تأثیر مراحل فنولوژیکی بر کیفیت ارزن دم روباهی در سه مرحله رشد پرداختند و گزارش کردند که مرحله رویشی بیش‌ترین میزان خاکستر را در مقایسه با مرحله گل‌دهی دارد. به‌طورکلی در اواخر فصل رشد، برگ‌های پایین بوته ریزش می‌کنند و چون برگ‌ها محل تجمع خاکستر و مواد مغذی هستند، لذا با پیشرفت بلوغ طی دوره رشد زایشی، درصد خاکستر کاهش می‌یابد (*فروزمند* و همکاران، 2005).

محتوی و عملکرد انرژی قابل‌متابولیسم

هرچند بالاترین محتوی انرژی قابل‌متابولیسم (۲/۱۸ مگاکالری در کیلوگرم ماده خشک) در لاین KDFGS16 ثبت شد اما این

1. Yosef

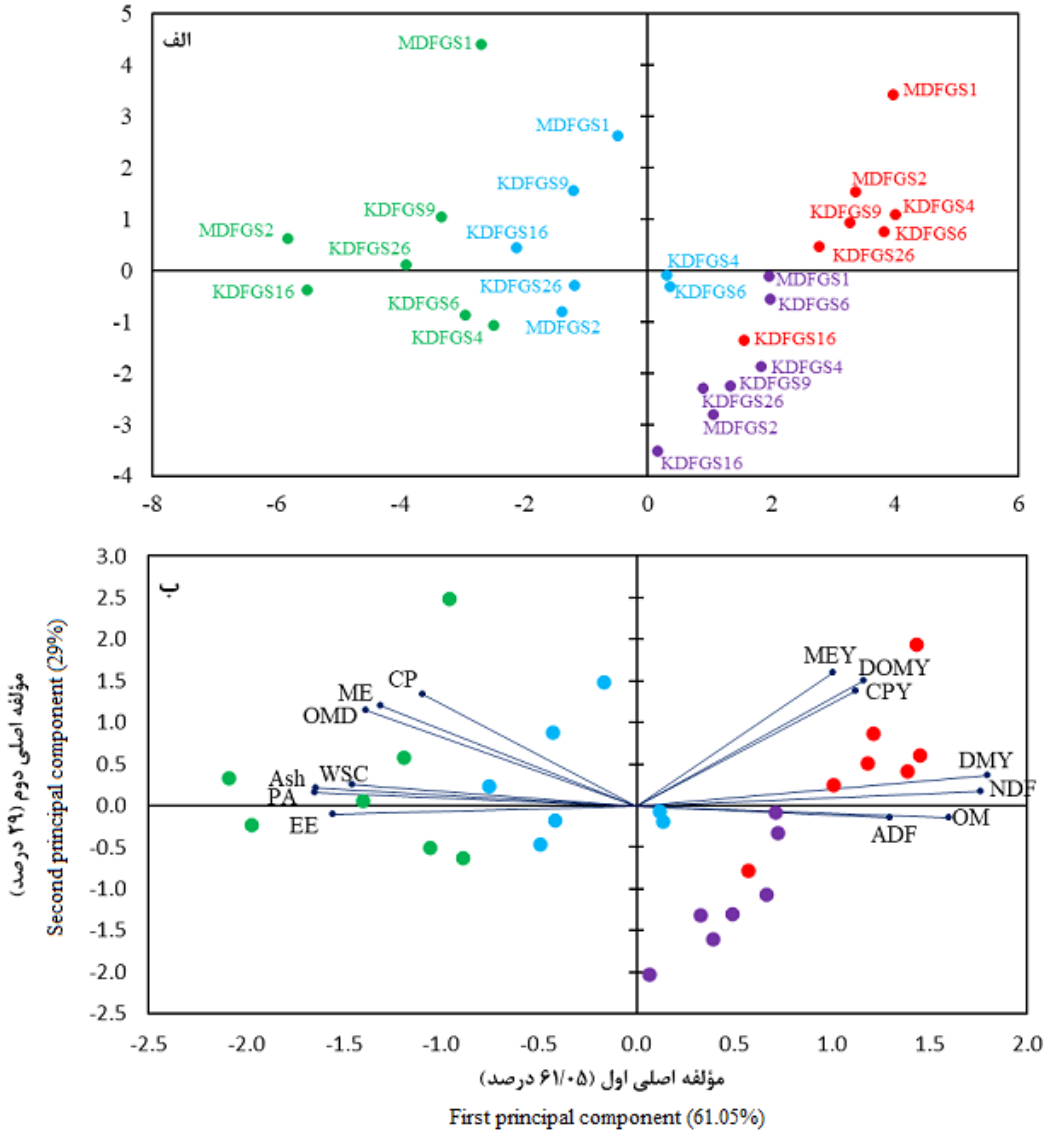
ژنوتیپ به‌علت عملکرد ماده خشک پایین، حداقل عملکرد انرژی قابل‌متابولیسم (۵۰/۳۶ گیگاکالری در هکتار) را داشت (جدول ۴). حداکثر عملکرد انرژی قابل‌متابولیسم (۶۸/۰۱ گیگاکالری در هکتار) نیز توسط لاین MDFGS1 حاصل گردید. بدون در نظر گرفتن دو لاین مذکور، سایر ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد انرژی قابل‌متابولیسم تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × زمان برداشت نیز نشان داد که در تمامی ژنوتیپ‌های موردبررسی بیش‌ترین محتوی انرژی قابل‌متابولیسم در مرحله شیری دانه ثبت گردید و حداکثر محتوی انرژی قابل‌متابولیسم (۲/۵۸ مگاکالری در کیلوگرم ماده خشک) با برداشت لاین KDFGS16 در مرحله شیری دانه حاصل شد (جدول ۵). در مورد محتوی انرژی قابل‌متابولیسم روند تغییرات با افزایش سن گیاه خطی نبود و بیش‌ترین میزان این صفت (۲/۳۵ مگاکالری در کیلوگرم ماده خشک) در مرحله شیری دانه و کم‌ترین میزان آن (۱/۷۳ مگاکالری در کیلوگرم ماده خشک) در مرحله خمیری سفت مشاهده شد؛ پس از این مرحله انرژی قابل‌متابولیسم افزایش یافت و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی به ۱/۹۷ مگاکالری در کیلوگرم رسید (جدول ۴). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت تأخیر در برداشت تا مرحله خمیری سفت باعث کاهش محتوی انرژی قابل‌متابولیسم شده است. افزایش محتوی انرژی قابل‌متابولیسم در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی را می‌توان به افزایش نسبت دانه به کل بیوماس نسبت داد. از آن‌جا که محتوی انرژی قابل‌متابولیسم دانه بیش‌تر از علوفه است، بنابراین با افزایش نسبت دانه در بوته، محتوی انرژی کل افزایش می‌یابد (*فرهادی* و همکاران، 2022). کاهش محتوی انرژی قابل‌متابولیسم از مرحله شیری تا خمیری سفت دانه نیز می‌تواند با افزایش محتوی دیواره سلولی و کاهش قابلیت هضم علوفه طی این دوره مرتبط باشد (*اسلیوق* و همکاران، 2001؛ *خلیلیان* و همکاران، 2022). یو[1] و همکاران (2003) نیز عنوان نمودند با افزایش سن گیاه، محتوی دیواره سلولی افزایش یافته و در نتیجه قابلیت هضم و محتوی انرژی علوفه کاهش می‌یابد. در واقع، در مرحله شیری دانه، اکثر قسمت‌های گیاه قابلیت هضم بالایی دارند، اما با رشد بیش‌تر گیاه، قابلیت هضم ساقه و برگ کاهش می‌یابد (*میرون* و همکاران، 2006؛ *یوسف* و همکاران، 2009).

محتوی اسید پروسیک و عملکرد ماده خشک

در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی، کم‌ترین میزان اسید پروسیک و بیش‌ترین عملکرد ماده خشک (به‌ترتیب ۸/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم و ۳۱/۹۲ تن در هکتار) در لاین MDFGS1 ثبت شد؛ درحالی‌که حداقل عملکرد ماده خشک (۲۳/۵۹ تن در هکتار) در لاین KDFGS16 و حداکثر محتوی اسید پروسیک (۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) در لاین KDFGS9 مشاهده شد (جدول ۴). بدون در نظر گرفتن دو لاین مذکور سایر ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد ماده خشک نشان ندادند. لازم به ذکر است که لاین‌های KDFGS4، KDFGS6 و KDFGS9 از نظر عملکرد ماده خشک تفاوت معنی‌داری با ژنوتیپ برتر (لاین MDFGS1) نداشتند و جزو گروه آماری برتر بودند ولی از نظر عملکرد پروتئین خام، عملکرد ماده آلی قابل هضم و عملکرد انرژی قابل‌متابولیسم در رتبه دوم قرار گرفتند (جدول ۴). علاوه‌بر این با پیشرفت بلوغ گیاه و تأخیر در برداشت، عملکرد ماده خشک افزایش و میزان اسید پروسیک کاهش یافت. به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد ماده خشک (۳۳/۳۳ تن در هکتار) و کم‌ترین محتوی اسید پروسیک (۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی ثبت شد درحالی‌که حداقل عملکرد ماده خشک (۲۳/۰۳ تن در هکتار) و حداکثر محتوی اسید پروسیک (۱۴/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) در مرحله شیری دانه ثبت گردید (جدول ۴). *مهاجر*[2] و همکاران (2012) نیز نشان دادند که با افزایش سن گیاه از مرحله گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی دانه، عملکرد ماده خشک به طور خطی افزایش می‌یابد. گل‌زردی و همکاران (۱۳۹۸) نیز بیان کردند که با افزایش سن گیاه سورگوم، محتوی اسید پروسیک آن کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که وجود اسید پروسیک تا سقف ۵۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم ماده خشک، برای دام ایجاد مسمومیت نخواهد کرد ولی به‌طورکلی مقادیر پایین‌تر این ماده شیمیایی مطلوب‌تر است (*خلیلیان* و همکاران، 2022).

1. Yu

2. Mohajer



شکل ۱: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی براساس صفات کمی و کیفی علوفه سورگوم تحت تأثیر زمان برداشت و ژنوتیپ

Fig: 1: Principal component analysis based on quantitative and qualitative traits of sorghum forage as affected by harvest time and genotype

رنگ‌های سبز، آبی، بنفش و قرمز به‌ترتیب نشان‌دهنده مراحل شیری، خمیری نرم، خمیری سفت و رسیدگی فیزیولوژیکی می‌باشد

Green, blue, purple and red colors indicate milk, soft dough, hard dough and physiological maturity stages, respectively.

OM: ماده آلی؛ Ash: خاکستر؛ CP: پروتئین خام؛ ADF: فیبر شوینده اسیدی؛ NDF: دیواره سلولی؛ EE: عصاره اتری؛ WSC: کربوهیدارت محلول در آب؛ PA: اسید پروسیک؛ ME: محتوی انرژی قابل‌متابولیسم در ماده خشک؛ OMD: قابلیت هضم ماده آلی؛ DMY: عملکرد ماده خشک؛ CPY: عملکرد پروتئین خام؛ DOMY: عملکرد ماده آلی قابل‌هضم؛ MEY: عملکرد انرژی قابل‌متابولیسم در هکتار

† OM: organic matter content; CP: crude protein content; ADF: acid detergent fiber; NDF: neutral detergent fiber; EE: ethereal extract; WSC: water-soluble carbohydrate; PA: prussic acid; ME: metabolizable energy content; DOMD: digestible organic matter content in dry matter; DMY: dry matter yield; CPY: crude protein yield; DOMY: digestible organic matter yield; MEY: Metabolizable energy yield

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)

بیش از ۹۰ درصد از کل تغییرات صفات کمی و کیفی علوفه در آزمایش حاضر توسط مؤلفه اصلی اول و دوم (به‌ترتیب ۶۱/۰۵ و ۲۹ درصد) توجیه شد (شکل ۱ الف و ب). مؤلفه اصلی اول به‌طور مثبت و معنی‌داری تحت تأثیر دیواره سلولی، فیبر شوینده اسیدی، محتوی ماده آلی و عملکرد ماده خشک و به‌طور منفی و معنی‌داری تحت تأثیر محتوی اسید پروسیک، عصاره اتری، خاکستر، کربوهیدرات محلول در آب، قابلیت هضم ماده آلی و محتوی انرژی قابل‌متابولیسم قرار گرفت (شکل ۱ ب). مؤلفه اصلی دوم نیز به طور مثبت و معنی‌داری تحت تأثیر محتوی و عملکرد پروتئین و هم‌چنین عملکرد ماده آلی قابل‌هضم و عملکرد انرژی قابل‌متابولیسم قرار گرفت (شکل ۱ ب). بنابراین، مقادیر مثبت مؤلفه اصلی اول نشان‌دهنده عملکرد علوفه بیش‌تر است در حالی مقادیر منفی آن کیفیت بالاتر

علوفه را نشان می‌دهد. مقادیر مثبت مؤلفه اصلی دوم نیز نشان‌دهنده برتری کمی و کیفی علوفه است. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که بین لاین‌های سورگوم موردبررسی از نظر کمیت و کیفیت علوفه تفاوت زیادی وجود دارد (شکل ۱ الف). مشابه با نتایج آزمایش حاضر، محققان مختلفی تأثیر ژنوتیپ بر عملکرد و کیفیت علوفه سورگوم را گزارش کرده‌اند (*یوسف* و همکاران، 2009؛ *قلخانی*[1] و همکاران، 2023). با افزایش سن گیاه از مرحله شیری تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی دانه، عملکرد لاین‌های مختلف سورگوم افزایش و کیفیت علوفه آن‌ها کاهش یافت. بنابراین بیش‌ترین عملکرد و کم‌ترین کیفیت علوفه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی دانه مشاهده شد، درحالی‌که بیش‌ترین کیفیت و کم‌ترین عملکرد علوفه در مرحله شیری دانه به‌دست آمد (شکل ۱ الف). در تمام مراحل برداشت موردبررسی، لاین MDFGS1 توانست بیش‌ترین انرژی قابل‌متابولیسم، پروتئین و ماده آلی قابل‌هضم در واحد سطح را تولید نماید (شکل ۱ الف) و از آن‌جا که این صفات شاخص‌های مناسبی از کمیت و کیفیت علوفه هستند (*یول‌الله* و همکاران، 2014)، می‌توان لاین MDFGS1 را به‌عنوان برترین ژنوتیپ آزمایش معرفی کرد. علاوه‌بر این از آن‌جا که در مرحله خمیری نرم دانه تعادل مناسبی بین صفات کمی و کیفی برقرار شده است، این مرحله به‌عنوان بهترین زمان برداشت معرفی می‌شود. *مهاجر* و همکاران (2012)، نیز نشان دادند که بیش‌ترین عملکرد ماده خشک ارزن در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و کم‌ترین آن در مراحل گل‌دهی و شیری دانه به‌دست آمد. *میلیچ*[2] و همکاران (2019)، نیز گزارش کردند که برداشت زودهنگام علوفه منجر به ارزش غذایی بالاتر آن می‌شود اما کاهش قابل‌توجه عملکرد علوفه را به دنبال خواهد داشت و لازم است در زمان برداشت بین صفات کمی و کیفی تعادل مناسبی برقرار باشد. *میرون* و همکاران (2006)، نیز نشان دادند که ارزش غذایی سورگوم تحت تأثیر مرحله برداشت قرار می‌گیرد و با وجود عملکرد بالاتر در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی، کیفیت علوفه کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری کلی

با افزایش سن گیاه سورگوم از مرحله شیری تا رسیدگی فیزیولوژیکی، عملکرد ماده خشک و تولید پروتئین، ماده آلی قابل‌هضم و انرژی قابل‌متابولیسم در واحد سطح به‌طور معنی‌داری افزایش یافت به‌نحوی که حداکثر مقادیر صفات کمی در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی دانه حاصل شد. درحالی‌که صفات کیفی واکنش متفاوتی نشان دادند و با پیشرفت بلوغ گیاه، کیفیت و ارزش غذایی علوفه کاهش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین قابلیت هضم ماده آلی و حداکثر محتوی پروتئین خام و انرژی قابل‌متابولیسم در ماده خشک در مرحله شیری دانه مشاهده شد. هم‌چنین با افزایش سن گیاه محتوی اسید پروسیک، کربوهیدرات‌های محلول در آب، خاکستر و عصاره اتری کاهش و محتوی دیواره سلولی و فیبر نامحلول در شوینده اسیدی افزایش یافت. در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی بیش‌ترین عملکرد کمی و کیفی و حداقل محتوی اسید پروسیک در لاین امیدبخش MDFGS1 مشاهده شد. هر چند با برداشت در مرحله شیری دانه بیش‌ترین قابلیت هضم و کیفیت علوفه وجود دارد ولی از آنجایی که میزان بیوماس تولیدی در این مرحله کم است، این زمان برداشت قابل‌توصیه نمی‌باشد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی دانه نیز با وجود تولید بیوماس بالا، به‌علت کیفیت پایین علوفه برداشت قابل‌توصیه نیست. به‌طورکلی، برای دستیابی به عملکرد و کیفیت علوفه مناسب برداشت در مرحله خمیری نرم دانه قابل توصیه خواهد بود.

سپاسگزاری

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

1. Ghalkhani
2. Milić

منابع

AOAC. 2002. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th edition. Association of Official Analytical Chemists, AOAC. Arlington. VA.

Ashoori, N., Abdi, M., Golzardi, F., Ajali, J. and Ilkaee, M. N. 2021. Forage potential of sorghum-clover intercropping systems in semi-arid conditions. Bragantia, 80: e1421.

Atis, I., Konuskan, O., Duru, M., Gozubenli, H. and Yilmaz, S. 2012. Effect of harvesting time on yield, composition and forage quality of some forage sorghum cultivars. International Journal of Agriculture and Biology, 14: 879-886.

Baghdadi, A., Golzardi, F. and Hashemi, M. 2023. The use of alternative irrigation and cropping systems in forage production may alleviate the water scarcity in semi-arid regions. Journal of the Science of Food and Agriculture, 103 (10): 5050-5060.

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: 49-66.

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.

Blümmel, M., Makkar, H. P. S., Chisanga, G., Mtimuni, J. and Becker, K. 1997. The prediction of dry matter intake of temperate and tropical roughages from in vitro digestibility/gas-production data, and the dry matter intake and in vitro digestibility of African roughages in relation to ruminant live weight gain. Animal Feed Science and Technology, 69: 131-141.

Carmi, A., Aharoni, Y., Edelstein, M., Umiel, N., Hagiladi, A., Yosef, E., Nikbachat, M., Zenou, A. and Miron, J. 2006. Effects of irrigation and plant density on yield, composition and *in vitro* digestibility of a new forage sorghum variety, Tal, at two maturity stages. Animal Feed Science and Technology, 131: 121-133.

Farhadi, A., Paknejad, F., Golzardi, F., Ilkaee, M. N. and Aghayari, F. 2022. Effects of limited irrigation and nitrogen rate on the herbage yield, water productivity, and nutritive value of sorghum silage. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 53 (5): 576-589.

Filya, I. 2004. Nutritive value and aerobic stability of whole crop maize silage harvested at four stages of maturity. Journal Animal Feed Science and Technology, 116: 141-150.

Forouzmand, M. A., Ghorbani, G. R. and Alikhani, M. 2005. Influence of hybrid and maturity on the nutritional value of corn silage for lactating dairy cows 1: Intake, milk production and component yield. Pakistan Journal of Nutrition, 4: 435-441.

Ghalkhani, A., Golzardi, F., Khazaei, A., Mahrokh, A., Illés, Á., Bojtor, C., Mousavi, S. M. N. and Széles, A. 2023. Irrigation management strategies to enhance forage yield, feed value, and water-use efficiency of sorghum cultivars. Plants, 12 (11): 2154.

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, S. and Rahjoo, V. 2019. Sorghum Cultivation. Tehran, Iran: ETKA Publication. ISBN: 978-622-6909-13-6. (In Persian).

Izadi Yazdanabadi, F., Esmailpor Akhlamad, U., Omidi, A. and Behdani, M. A. 2013. Evaluation of foxtail millet (*Setaria italica*) forage quality in different growth stages. Journal of Agroecology, 5 (3): 282-288. (In Persian).

Jabbari, H., Golzardi, F., Shariati, F. and Asadi, H. 2023. Effect of Harvesting time on quantitative and qualitative characteristics of safflower cultivars forage in autumn planting. Journal of Crops Improvement, 25 (1): 65-81. (In Persian).

Johnson, L., Harrison, J. H., Davidson, D., Mahanna, W. C., Shinners, K, and Linder, D. 2001. Comsilage management: effect of maturity, inoculation, and mechanical processing on pack density and aerobic stability. Journal of Dairy Science, 85: 434-444.

Khalilian, M. E., Habibi, D., Golzardi, F., Aghayari, F. and Khazaei, A. 2022. Effect of maturity stage on yield, morphological characteristics, and feed value of sorghum cultivars. Cereal Research Communications, 50 (4): 1095-1104.

Kjeldahl, J. G. C. T. 1883. Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen korpern. Fresenius' Journal of Analytical Chemistry, 22: 366-382.

Machicek, J. A., Blaser, B. C., Darapuneni, M. and Rhoades, M. B. 2019. Harvesting regimes affect brown midrib sorghum-sudangrass and brown midrib pearl millet forage production and quality. Agronomy, 9: 1-13.

Marinas, A, Garcia-Gonzalez, R. and Fondevila, M. 2013. The nutritive value of five pasture species occurring in the summer grazing ranges of the Pyrenees. Journal of Animal Science, 76: 461-469.

Menke, K. H. and Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas Production using rumen fluid. Animal Research and Development, 28: 7-55.

Milić, D., Katanski, S., Milošević, B. and Živanov, D. 2019. Variety selection in intensive alfalfa cutting management. Ratarstvo I Povrtarstvo, 56 (1): 20-25.

Mirahki, I., Ardakani, M. R., Golzardi, F., Paknejad, F., Mahrokh, A. and Faraji, S. 2023. Yield, water use efficiency and silage feeding value of sorghum cultivars as affected by planting date and planting method. Gesunde Pflanzen, 75 (5): 1963-1973.

Miron, J., Solomon, R., Adin, G., Nir, U., Nikbachat, M., Yosef, E., Carmi, A., Weinberg, Z. G., Kipnis, T., Zuckerman, E. and Ben-Ghedalia, D. 2006. Effects of harvest stage and re-growth on yield, composition, ensilage and in vitro digestibility of new forage sorghum varieties. Journal of the Science of Food and Agriculture, 86: 140-147.

Mohajer, S., Ghods, H., Taha, R. M. 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: 3020-3025.

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.

Sleugh, B. B., Moore, K. J., Brummer, E. C., Knapp, A. D., Russell, J. and Gibson, L. 2001. Forage nutritive value of various Amaranth species at different harvest dates. Crop Science, 41: 466-472.

Sultan, J. I., Rahim, I. U., Yaqoob, M., Nawaz, H. and Hameed, M. 2008. Nutritive value of free rangeland grasses of Northern grasslands of Pakistan. Pakistan Journal of Botany, 40 (1): 249-258.

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.

Ul-Allah, S., Khan, A. A., Fricke, T., Buerkert, A. and Wachendorf, M. 2014. Fertilizer and irrigation effects on forage protein and energy production under semi-arid conditions of Pakistan. Field Crops Research, 159: 62-69.

Van Soest, P. J. 1963. The use of detergents in the analysis of fiber feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. Association of Official Analytical Chemists, 46: 829-835.

Yosef, E., Carmi, A., Nikbachat, M., Zenou, A., Umiel, N. and Miron, J. 2009. Characteristics of tall versus short-type varieties of forage sorghum grown under two irrigation levels, for summer and subsequent fall harvests, and digestibility by sheep of their silages. Animal Feed Science and Technology, 152: 1-11.

Yu, P., Christensen, D. A., McKinnon, J. J. and Markert, J. D. 2003. Effect of variety and maturity stage on chemical composition, carbohydrate and protein subfractions, in vitro rumen degradability and energy values of timothy and alfalfa. Canadian Journal of Animal Science, 83: 279-290.