Effects of Replacing Corn Silage with Sorghum Silage on Milk Yield and Composition, Nutrient Digestibility, Ruminal pH, and Rumination Activity in Brown Swiss Dairy Cows

Moslem Bashtani[1], Hamid Eskandari[1], Alireza Foroughi[2], Tiyam Radin[1], Mojtaba Afshin[3]*

1. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
2. Department of Animal Science, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Mashhad, Iran
3. Department of Animal Science, North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Bojnurd, Iran

Corresponding author's Email: m.afshin@areeo.ac.ir
https://doi.org/10.22067/ijasr.2026.98174.1304

Introduction: Corn silage constitutes a cornerstone forage source in dairy production systems worldwide because of its high energy density, favorable fermentation characteristics Ruminal pH, and consistent effects on milk yield and composition. However, increasing water scarcity, climatic variability, and rising production costs have stimulated interest in more drought-tolerant forage crops such as sorghum. Sorghum silage is characterized by greater adaptability to arid and semi-arid environments and lower input requirements, but its higher fiber and lignin concentrations may influence ruminal fermentation, nutrient digestibility, and ultimately animal performance. Although previous studies have reported variable responses in feed intake and milk production when sorghum silage replaces corn silage, inconsistencies remain regarding its effects on nutrient utilization and feeding behavior in dairy cattle. Therefore, a comprehensive evaluation under controlled experimental conditions is warranted. The present study aimed to evaluate the effects of partial or complete replacement of corn silage with sorghum silage on milk yield and composition, apparent nutrient digestibility, ruminal pH, and selected feeding behaviors in lactating Brown Swiss cows.

Materials and Methods: The experiment was conducted at the Animal Husbandry Research Station of the Khorasan Razavi Agricultural Research and Education Center. Twelve multiparous Brown Swiss dairy cows in mid to late lactation (200 ± 20 days in milk), with an average milk yield of 19.2 ± 3.0 kg/day, were assigned to a completely randomized design with three dietary treatments and four replicates per treatment. The 75-day experimental period consisted of 15 days of adaptation followed by 60 days of data collection. Experimental diets were formulated with a forage-to-concentrate ratio of 45:55 (on a dry matter basis), with approximately 66% of the forage portion supplied as silage. The forage components of the experimental diets were as follows: (1) 15% alfalfa hay and 30% corn silage; (2) 15% alfalfa hay, 15% corn silage, and 15% sorghum silage; and (3) 15% alfalfa hay and 30% sorghum silage. All diets contained 55% concentrate. Diets were offered ad libitum three times daily (08:00, 16:00, and 24:00 h), and cows were milked three times daily. Weekly composite milk samples, prepared by combining samples from all three daily milkings, were analyzed for fat, protein, lactose, solids-not-fat, and total solids. Apparent nutrient digestibility was estimated at the end of the trial using the acid-insoluble ash marker method. Ruminal fluid samples were collected approximately 2 h after morning feeding via a stomach tube, and ruminal pH was measured immediately using a digital pH meter. Feeding behavior (eating time, rumination time, total chewing time, standing time, and lying time) was assessed at the end of the experimental period by direct visual observation at 5-min intervals over a 24-h period. Data on dry matter intake, milk production, and milk composition were analyzed using the MIXED procedure, whereas all other data were analyzed using the GLM procedure of SAS software (SAS Institute, 2003). Treatment means were compared using the Tukey–Kramer test, and differences were considered statistically significant at $P \leq 0.05$.

Results and Discussion: Chemical analysis showed that sorghum silage had higher dry matter and neutral detergent fiber concentrations than corn silage, whereas corn silage contained higher crude protein and ether

extract concentrations and had a slightly higher pH. The pH values of both silages ranged from 3.5 to 4.5, indicating satisfactory fermentation quality.
Replacement of corn silage with sorghum silage, either partially or completely, did not significantly affect dry matter intake, crude protein intake, or neutral detergent fiber intake ($P > 0.05$). Similarly, dietary treatment had no significant effect on milk yield or milk protein, lactose, solids-not-fat, and total solids concentrations ($P > 0.05$). However, milk fat percentage was significantly affected by dietary treatment ($P \leq 0.05$). Cows fed the corn silage diet had a higher milk fat percentage (3.64%) than those fed the sorghum silage diet (3.31%), whereas the mixed-silage treatment showed an intermediate value and did not differ significantly from either treatment. Apparent digestibility of dry matter, crude protein, and neutral detergent fiber was significantly lower in cows fed diets containing sorghum silage than in those fed the corn silage diet ($P < 0.05$). These reductions may be partly associated with differences in the chemical composition and fiber characteristics of the two silages. Ruminal pH was not significantly affected by dietary treatment (6.37–6.70). Furthermore, no significant differences were observed among treatments in eating time, rumination time, total chewing time, standing time, or lying time.
Conclusion: Overall, the results of this study indicate that sorghum silage can be used as an alternative forage source in diets of Brown Swiss dairy cows without significantly affecting dry matter intake, milk yield, ruminal pH, or feeding behavior under the experimental conditions. However, total replacement of corn silage with sorghum silage significantly reduced the apparent digestibility of dry matter, crude protein, and neutral detergent fiber. Moreover, milk fat percentage was significantly lower in cows fed the diet containing 100% sorghum silage as the forage silage source than in those fed the diet containing corn silage, whereas partial replacement (50%) did not result in a significant difference compared with the corn silage diet. Considering the conditions of this study, partial replacement of corn silage with sorghum silage may be a suitable option for diversifying forage resources, particularly in regions with limited water availability and unfavorable conditions for corn silage production. Nevertheless, further studies involving larger numbers of animals and longer experimental periods are needed to determine the optimal replacement level and evaluate the long-term productive and economic implications of sorghum silage inclusion. In addition, the effects of silage quality and dietary nutrient balancing on nutrient digestibility and milk composition warrant further investigation. Given the limited number of animals used in the present study (12 cows, with four replicates per treatment), the findings should be extrapolated to other production systems and dairy cow populations with caution.

Keywords: Apparent digestibility, ruminal fermentation, milk composition, feed intake, Brown Swiss cattle.

اثر جایگزینی سیلاژ ذرت با سورگوم در جیره گاوهای شیری براون سوئیس بر عملکرد تولیدی، ترکیبات شیر، رفتارهای تغذیه‌ای و قابلیت هضم مواد مغذی

مسلم باشتنی[۱]، حمید اسکندری[۱]، علیرضا فروغی[۲]، تیام رادین[۱]، مجتبی افشین[۳*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۲۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۸/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۹/۰۳

۱. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲. گروه علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، مشهد، ایران
۳. گروه علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی، بجنورد، ایران
Corresponding author's Email: m.afshin@areeo.ac.ir
https://doi.org/10.22067/ijasr.2026.98174.1304

چکیده

هدف از این پژوهش مقایسه جایگزینی سیلاژ ذرت علوفه‌ای با سورگوم بر تولید و ترکیبات شیر، قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی و برخی رفتارهای تغذیه‌ای در گاوهای شیرده نژاد براون سوئیس بود. بدین منظور، تعداد ۱۲ رأس گاو شیرده کم‌تولید با میانگین تولید شیر ۳±۱۹/۲ کیلوگرم در روز و میانگین ۲۰±۲۰۰ روز شیردهی، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار و چهار تکرار استفاده شدند. بخش علوفه‌ای در جیره‌های آزمایشی شامل: ۱) ۱۵ درصد یونجه و ۳۰ درصد سیلاژ ذرت؛ ۲) ۱۵ درصد یونجه، ۱۵ درصد سیلاژ ذرت و ۱۵ درصد سیلاژ سورگوم و ۳) ۱۵ درصد یونجه و ۳۰ درصد سیلاژ سورگوم بودند. دوره آزمایش ۷۵ روز بود. تغذیه و شیردوشی سه بار در روز انجام شد. نمونه‌برداری شیر به‌صورت هفتگی و ارزیابی قابلیت هضم ظاهری و رفتارهای تغذیه‌ای در پایان دوره انجام گرفت. نتایج نشان داد جایگزینی بخشی یا تمام سیلاژ ذرت با سیلاژ سورگوم تأثیر معنی‌داری بر مصرف ماده خشک، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی نداشت. تولید شیر و غلظت پروتئین، لاکتوز، مواد جامد بدون چربی و کل مواد جامد شیر تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت، بااین‌حال، درصد چربی شیر در تیمار حاوی سیلاژ ذرت بیشتر از تیمار حاوی سیلاژ سورگوم بود (P<۰/۰۵). قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین خام و الیاف نامحلوب در شوینده خنثی با جایگزینی کامل سیلاژ ذرت با سورگوم به طور معنی‌داری کاهش یافت (P<۰/۰۵). pH شکمبه در دامنه ۶/۳۷ تا ۶/۷۰ ثابت ماند و رفتارهای تغذیه‌ای تحت تأثیر جیره‌ها قرار نگرفتند. به نظر می رسد با توجه به نتایج این آزمایش، جایگزینی بخشی از سیلاژ ذرت با سیلاژ سورگوم در جیره گاوهای براون سوئیس در اواسط شیردهی، بدون اثر معناداری بر تولید و ترکیبات شیر امکان پذیر باشد. اگرچه با توجه به کاهش قابلیت هضم ظاهری ماده خشک و پروتئین خام انجام مطالعات تکمیلی ضروری است.

واژه‌های کلیدی: قابلیت هضم ظاهری، تخمیر شکمبه‌ای، ترکیبات شیر، مصرف خوراک، نژاد براون سوئیس

مقدمه

خشکسالی و محدودیت منابع آب در سال‌های اخیر، ضرورت اصلاح الگوی کشت و استفاده از محصولات علوفه‌ای مقاوم به تنش خشکی را افزایش داده است. در ایران، بخش عمده علوفه مورد استفاده در تغذیه گاوهای شیری از سیلاژ ذرت تأمین می‌شود؛ درحالی‌که ذرت به دلیل نیاز آبی بالا و حساسیت به کمبود آب، گزینه‌ای چالش‌برانگیز برای کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Kalantari Nistanki *et al*., 2025; Pino and Heinrichs, 2017; Khosravi *et al*., 2018). در این شرایط، سورگوم به‌عنوان گیاهی مقاوم به خشکی و دارای پتانسیل تولید زیست‌توده مناسب، می‌تواند جایگزینی مطلوب برای ذرت در تأمین علوفه دام باشد (Khazaei *et al*., 2019; Alix *et al*., 2019; Duhatschek *et al*., 2026).

با وجود مزایای زراعی سورگوم، تفاوت در ترکیبات شیمیایی و ارزش غذایی آن نسبت به ذرت، از عوامل مهم تعیین‌کننده قابلیت استفاده از سیلاژ آن در جیره گاوهای شیری است. به‌طور معمول، سیلاژ سورگوم در مقایسه با سیلاژ ذرت دارای مقادیر بیشتری از الیاف شوینده خنثی، لیگنین و خاکستر و غلظت کمتری از نشاسته است که می‌تواند بر قابلیت هضم مواد مغذی و ارزش انرژی آن تأثیر بگذارد (Samarappuli and Berti, 2018; McCary *et al*., 2020). ازاین‌رو، ارزیابی اثر جایگزینی سیلاژ ذرت با سورگوم بر عملکرد تولیدی و ویژگی‌های تخمیر شکمبه‌ای گاوهای شیری اهمیت دارد.

نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داده است که جایگزینی بخشی یا تمام سیلاژ ذرت با سیلاژ سورگوم، در صورت تنظیم مناسب ترکیب جیره، لزوماً موجب کاهش عملکرد گاوهای شیری نمی‌شود. برای مثال، جایگزینی تا ۵۰ درصد سیلاژ ذرت با سورگوم در گاوهای شیری نژاد هلشتاین در اواسط دوره شیردهی، تأثیر منفی بر تولید شیر نداشت (Ran *et al*., 2021; Hou *et al*.,

2025). همچنین، Cattani و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای روی ۱۸ رأس گاو شیری نژاد هلشتاین–فریزن، با میانگین تولید شیر ۶/۳ ± ۲۸/۴ کیلوگرم در روز و میانگین ۹۶ ± ۱۴۶ روز شیردهی، گزارش کردند که جایگزینی کامل سیلاژ ذرت با سیلاژ سورگوم، مصرف ماده خشک و بهره‌وری خوراک را تحت تأثیر قرار نداد. بااین‌حال، تولید شیر روزانه کاهش یافت، درحالی‌که تولید شیر تصحیح‌شده بر اساس چربی تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین، ترکیب شیر و بیشتر ویژگی‌های انعقاد آن تحت تأثیر تیمار قرار نگرفتند. به‌علاوه، Zhang و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای روی ۲۴ رأس گاو شیری چندبار زایش‌یافته نژاد هلشتاین چینی، با میانگین تولید شیر ۰/۶۲ ± ۲۱/۴۱ کیلوگرم در روز و ۶/۵ ± ۱۵۰ روز شیردهی، گزارش کردند که جایگزینی سیلاژ ذرت با سیلاژ سورگوم شیرین با قند بالا، بدون مکمل غلات اضافی، تأثیر نامطلوبی بر مصرف ماده خشک، تولید شیر، قابلیت هضم مواد مغذی و فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای نداشت. بر اساس گزارش Fazaeli و همکاران (۲۰۲۲)، سیلاژ سورگوم با در نظر گرفتن محدودیت نشاسته و انرژی جیره، قابلیت استفاده در تغذیه گاوهای شیری با تولید شیر تا حدود ۳۵ کیلوگرم را دارد.

با توجه به اهمیت استفاده از منابع علوفه‌ای سازگار با شرایط کم‌آبی و ضرورت بررسی پاسخ دام به منابع مختلف علوفه‌ای، ارزیابی اثرات جایگزینی سیلاژ ذرت با سورگوم بر عملکرد گاوهای شیری اهمیت دارد. همچنین، با توجه به محدود بودن اطلاعات در خصوص پاسخ گاوهای نژاد براون سوئیس به این جایگزینی، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات تغذیه جیره‌های حاوی نسبت‌های مختلف سیلاژ سورگوم و ذرت بر تولید و ترکیبات شیر و قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی در گاوهای شیرده نژاد براون سوئیس انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در ایستگاه دامپروری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی انجام شد. ترکیب شیمیایی نمونه‌های سیلاژ ذرت و سورگوم در آزمایشگاه تغذیه دام دانشگاه بیرجند بر اساس روش‌های پیشنهادی AOAC (1997) و Van Soest و همکاران (۱۹۹۱) آنالیز گردید. برای تعیین pH سیلاژ ذرت و سورگوم، از هر سیلو نمونه‌های ۵۰ گرمی تهیه و به آن‌ها ۴۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. نمونه‌ها با استفاده از مخلوط‌کن کاملاً خرد شده و از طریق پارچه متقال صاف شدند. سپس pH عصاره حاصله بلافاصله با pH متر دیجیتال تعیین و ثبت گردید.

در این مطالعه، از ۱۲ رأس گاو شیرده نژاد براون سوئیس چند شکم زایش با تولید شیر کم (میانگین ۳±۱۹/۲ کیلوگرم در روز) و میانگین روزهای شیردهی ۲۰ ±۲۰۰ استفاده شد. گاوها در سه تیمار و چهار تکرار، در قالب طرح کاملاً تصادفی قرار گرفتند. طول دوره آزمایش حدود ۷۵ روز بود که ۱۵ روز اول به عادت‌پذیری اختصاص داشت. در ابتدای آزمایش، میزان تولید شیر ثبت گردید و گاوها به‌طور تصادفی در جایگاه‌های انفرادی قرار گرفتند. نسبت علوفه به کنسانتره در جیره‌های آزمایشی بر اساس ماده خشک برابر با ۴۵ به ۵۵ بود. حدود ۶۶ درصد از بخش علوفه‌ای جیره نیز به سیلاژ ذرت، سیلاژ سورگوم یا مخلوط آن‌ها اختصاص داشت. بخش علوفه‌ای در جیره‌های آزمایشی شامل: ۱) ۱۵ درصد یونجه و ۳۰ درصد سیلاژ ذرت؛ ۲) ۱۵ درصد یونجه، ۱۵ درصد سیلاژ ذرت و ۱۵ درصد سیلاژ سورگوم و ۳) ۱۵ درصد یونجه و ۳۰ درصد سیلاژ سورگوم بودند. مواد خوراکی تشکیل‌دهنده و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی در جدول ۱ ارائه شده است. در طول دوره، خوراک به صورت آزاد و در سه وعده روزانه (ساعات ۸، ۱۶ و ۲۴) در اختیار گاوها قرار گرفت. باقیمانده خوراک هر روز جمع‌آوری و وزن شد.

جدول ۱- نسبت مواد خوراکی و ترکیب مواد مغذی مورد استفاده

Table 1- Feed ingredients and nutrient composition

اجزای خوراک (درصد بر اساس ماده خشک) Ingredients (percent of dry matter)	تیمارهای آزمایشی[1] Experimental treatments[1]		
	تیمار ۱ Treatment 1	تیمار ۲ Treatment 2	تیمار ۳ Treatment 3
سیلاژ ذرت (Corn silage)	30	15	0
سیلاژ سورگوم (Sorghum silage)	0	15	30
یونجه خشک (Dried alfalfa)	15	15	15
جو (Barley)	15	15	15
ذرت (Corn)	10	10	10
سبوس گندم (Wheat Bran)	5	5	5
کنجاله سویا (Soybean meal)	5.5	5.5	5.5
کنجاله پنبه دانه (Cotton meal)	5.5	5.5	5.5
تفاله چغندرقند (Sugar beet pulp)	3	3	3
کنجاله کلزا (Rapeseed meal)	4	4	4
ملاس چغندرقند (Sugar beet molasses)	3	3	3
پودر ماهی (Fish powder)	0.5	0.5	0.5
پودر چربی (Fat powder)	1	1	1
اوره (Urea)	0.15	0.15	0.15
کربنات کلسیم (Calcium Carbonate)	0.5	0.5	0.5
اکسید منیزیم (Magnesium oxide)	0.3	0.3	0.3
مکمل مواد ویتامینه و مواد معدنی Vitamin and mineral supplement	0.75	0.75	0.75
نمک (Salt)	0.5	0.5	0.5
سدیم بی کربنات (Sodium bicarbonate)	0.3	0.3	0.3
انرژی خالص شیردهی (مگا کالری/ کیلوگرم) ME (Mcal/kg)	3.35	3.28	3.27
ماده خشک (٪) Dry matter (%)	58.04	58.62	59.9
پروتئین خام (٪) Crude protein (%)	13.42	13.35	12.77
چربی خام (٪) Ether extract (%)	2.17	2.06	2.07
الیاف نامحلول در شوینده خنثی (٪) Neutral detergent fiber (%)	39.05	39.66	40.40
کربوهیدرات غیر فیبری Non-fiber carbohydrates (%)	36.63	36.13	34.66

[1] تیمار ۱: جیرهٔ حاوی سیلاژ ذرت ، تیمار ۲: جیرهٔ حاوی سیلاژ ذرت و سورگوم به نسبت ۵۰:۵۰؛ تیمار ۳: جیره حاوی سیلاژ سورگوم

[1] Treatment 1: Diet containing corn silage, Treatment 2: Diet containing corn silage and sorghum in a ratio of 50:50; Treatment 3: Diet containing sorghum silage

ثبت و کنترل شیر در کل دوره به طور روزانه انجام می‌شد. هفته‌ای یک بار از شیر سه وعده هر گاو نمونه‌برداری به عمل آمد. نمونه‌های سه وعده پس از ترکیب، به‌صورت یک نمونه مرکب روزانه برای تعیین ترکیبات شیر به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های گرفته شده در این روزها جهت تعیین چربی، پروتئین، لاکتوز، مواد جامد بدون چربی و کل مواد جامد شیر توسط دستگاه میلکواسکن مورد استفاده قرار گرفت. قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی جیره‌ها در پایان دوره آزمایش با استفاده از روش خاکستر نامحلول در اسید تعیین شد. در پایان دوره آزمایش، نمونه مایع شکمبه دو ساعت پس از مصرف جیره وعده صبح با سوند معده و دستگاه مکنده جمع آوری و pH نمونه‌ها بلافاصله با pH متر دیجیتال تعیین گردید. رفتارهای تغذیه‌ای

گاوها نیز در پایان دوره آزمایش، طی یک دوره ۲۴ ساعته، با روش مشاهده مستقیم و ثبت رفتارها در فواصل زمانی پنج دقیقه‌ای ارزیابی شد (Beauchemin *et al*, 2003).

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (2003) تجزیه‌وتحلیل شدند. داده‌های مصرف ماده خشک، تولید شیر و ترکیبات آن که در چند زمان اندازه‌گیری شدند، با استفاده از رویه MIXED و با در نظر گرفتن اثر تیمار، زمان و اثر متقابل تیمار × زمان تحلیل شدند. با توجه به اینکه اثر زمان و اثر متقابل تیمار × زمان در صفات تکرارشده در زمان معنی‌دار نبودند؛ ازاین‌رو، این اثرها در جداول نتایج ارائه نشدند. سایر صفات که یک‌بار در طول آزمایش اندازه‌گیری شدند، با استفاده از رویه GLM تحلیل شدند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی و pH سیلاژهای ذرت و سورگوم در جدول ۲ ارائه شده است. میزان ماده خشک و الیاف نامحلول در شوینده خنثی در سیلاژ سورگوم بیشتر از سیلاژ ذرت بود که با نتایج برخی پژوهش‌ها همخوانی دارد (Dan *et al*, 2008؛ Gholami *et al*, 2025؛ Hedayatipour *et al*, 2012؛ Khosravi *et al*, 2018). با این حال، این یافته با نتایج گزارش‌شده توسط برخی محققین مغایرت دارد (Miron *et al*, 2007؛ Oliver *et al*, 2004). بر اساس جداول NRC (2001)، غلظت الیاف نامحلول در شوینده خنثی، همی‌سلولز و لیگنین شوینده اسیدی در سیلاژ سورگوم معمولاً بیشتر از سیلاژ ذرت گزارش شده است. همچنین Harper و همکاران (۲۰۱۷) مقادیر بالاتری از الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی را در سیلاژ سورگوم در مقایسه با ذرت گزارش کردند. در این مطالعه مقادیر پروتئین خام، چربی خام و pH در سیلاژ ذرت بیشتر از سیلاژ سورگوم بود. Gholami و همکاران (۲۰۲۵) نیز مقدار پروتئین خام را برای سیلاژ ذرت ۱۰/۷۶ درصد و برای سیلاژ سورگوم ۸/۱۷ درصد گزارش کردند و pH هر دو سیلاژ را حدود ۴ بیان نمودند. در پژوهش حاضر، مقادیر pH هر دو سیلاژ در محدوده ۳/۵ تا ۴/۵ قرار داشت، که نشان‌دهنده کیفیت مناسب تخمیر است (Paviz *et al*, 2011). محتوای پروتئین خام هر دو سیلاژ بیش از حداقل مقدار موردنیاز (۸ درصد) برای تأمین آمونیاک شکمبه‌ای و رشد میکروارگانیسم‌های شکمبه بود (Zhao *et al*, 2009). در مقابل نتایج این پژوهش، Colombini و همکاران (۲۰۱۲) و Khosravi و همکاران (۲۰۱۸) میزان پروتئین خام سیلاژ سورگوم را بالاتر از سیلاژ ذرت گزارش کردند. همچنین در برخی گزارش‌ها، سیلاژ ذرت دارای پروتئین خام بیشتر، اما مقادیر کمتر الیاف نامحلول در شوینده خنثی، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و لیگنین نامحلول در شوینده اسیدی و نیز pH پایین‌تر نسبت به سیلاژ سورگوم بوده است (Zhang *et al*, 2024). این اختلاف در ترکیب شیمیایی احتمالاً ناشی از تفاوت در عواملی نظیر رقم یا گونه گیاه (به‌ویژه سورگوم)، مرحله بلوغ در زمان برداشت، شرایط اقلیمی، ویژگی‌های خاک و مدیریت کوددهی است که می‌توانند بر ترکیب شیمیایی و کیفیت تخمیر سیلاژ تأثیرگذار باشند (McDonald *et al*, 2011).

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی سیلاژهای ذرت و سورگوم

Table 2- Chemical composition of corn and sorghum silages

ترکیب شیمیایی Chemical composition	سیلاژ ذرت Corn silage	سیلاژ سورگوم Sorghum silage
ماده خشک (٪) Dry matter (%)	24.65	26.15
پروتئین خام (٪) Crude protein (%)	9.08	8.25
چربی خام (٪) Ether extract (%)	2.28	2.11

الیاف نامحلول در شوینده خنثی (٪) Neutral detergent fiber (%)	53.71	55.45
pH سیلاژ Silage pH	4.15	3.65

مقایسه مصرف خوراک و مواد مغذی دام‌ها در بین جیره‌های مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که مصرف ماده خشک، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی تحت تأثیر جیره‌های آزمایشی قرار نگرفتند. این یافته‌ها با نتایج گزارش‌شده توسط Hedayatipour و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی دارد؛ به‌طوری‌که جایگزینی سیلاژ سورگوم با سیلاژ ذرت تأثیری بر مصرف ماده خشک، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و پروتئین خام نداشته است. Fazaeli و همکاران (۲۰۲۲) نیز گزارش کردند که جایگزینی سورگوم در جیره گاوهای شیری اثر معنی‌داری بر مصرف روزانه ماده خشک نداشت. همچنین Gholami و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که سیلاژ سورگوم می‌تواند به‌عنوان جایگزین کامل در جیره گاوهای هلشتاین شیرده مورد استفاده قرار گیرد، بدون آنکه تفاوت معنی‌داری در مصرف ماده خشک بین تیمارها ایجاد شود. Oliver و همکاران (۲۰۰۴) و Colombini و همکاران (۲۰۱۲) تفاوت معنی‌داری در مصرف خوراک بین گاوهای تغذیه‌شده با سیلاژ سورگوم و سیلاژ ذرت مشاهده نکردند. هنگامی که جیره‌ها از نظر انرژی قابل متابولیسم، نشاسته قابل تخمیر، الیاف نامحلول در شوینده خنثی مؤثر و پروتئین قابل استفاده برای میکروارگانیسم‌های شکمبه به‌طور متعادل تنظیم شوند، انتظار می‌رود مصرف ماده خشک و نیز دریافت پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی تفاوت چشمگیری نشان ندهد (Khosravi *et al*, 2018). در مقابل، Duhatschek و همکاران (۲۰۲۶) گزارش کردند که جایگزینی ۲۵ و ۵۰ درصد سیلاژ ذرت با سورگوم (Brown midrib male-sterile) موجب افزایش مصرف ماده خشک شد. از سوی دیگر، Ran و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که با افزایش درصد سیلاژ سورگوم شیرین در جیره، مصرف خوراک به‌طور نسبی کاهش یافت، که احتمالاً ناشی از خوش‌خوراکی کمتر سورگوم شیرین در مقایسه با سیلاژ ذرت بوده است. Harper و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که گاوهای دریافت‌کننده سیلاژ ذرت در مقایسه با سیلاژ سورگوم مصرف خوراک بیشتری داشتند. به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که استفاده از سیلاژ سورگوم در صورتی که جیره به‌درستی متعادل شده و انرژی کافی از سایر اجزا (مانند غلات) تأمین شود، اثر منفی بر اشتهای گاوهای شیری نخواهد داشت.

جدول ۳- اثر تغذیه سیلاژ ذرت و سورگوم و مخلوط آنها بر میانگین مصرف خوراک و مواد مغذی گاوهای شیرده براون سوئیس (کیلوگرم در روز)

Table 3- Effect of feeding corn and sorghum silage and their mixtures on feed and nutrient intake of Brown Swiss dairy cows (kg/day)

مقدار مصرف (کیلوگرم در روز) Intake (kg/day)	تیمارهای آزمایشی[1] Experimental treatments[1]			خطای استاندارد میانگین SEM	سطح معنی‌داری P-value
	تیمار ۱ Treatment 1	تیمار ۲ Treatment 2	تیمار ۳ Treatment 3		
مادهٔ خشک	21.04	22.51	21.98	0.309	0.200
پروتئین خام	4.81	4.92	4.73	0.056	0.874
الیاف نامحلول در شوینده خنثی	17.85	17.87	17.97	0.223	0.515

[1] تیمار ۱: جیرهٔ حاوی سیلاژ ذرت ، تیمار ۲: جیرهٔ حاوی سیلاژ ذرت و سورگوم به نسبت ۵۰:۵۰؛ تیمار ۳: جیره حاوی سیلاژ سورگوم

[1] Treatment 1: Diet containing corn silage, Treatment 2: Diet containing corn silage and sorghum in a ratio of 50:50; Treatment 3: Diet containing sorghum silage

مقدار تولید و ترکیبات شیر گاوهای تغذیه‌شده با جیره‌های آزمایشی در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد جایگزینی سیلاژ سورگوم به‌جای سیلاژ ذرت، تأثیر معنی‌داری بر تولید شیر و غلظت پروتئین، لاکتوز، مواد جامد بدون چربی و کل مواد جامد شیر نداشت. بااین‌حال، درصد چربی شیر تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (P≤۰/۰۵). به‌طوری‌که این صفت در گاوهای تغذیه‌شده با جیره حاوی سیلاژ ذرت (۳/۶۴ درصد) بیشتر از گاوهای دریافت‌کننده جیره حاوی سیلاژ سورگوم (۳/۳۱ درصد) بود؛ تیمار حاوی مخلوط سیلاژ ذرت و سورگوم از نظر آماری در حد واسط قرار گرفت.

Ran و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که افزایش سهم سیلاژ سورگوم شیرین تا ۵۰ درصد علوفه، تأثیر منفی معنی‌داری بر تولید شیر نداشت و غلظت چربی، لاکتوز و سایر ترکیبات اصلی شیر نیز بین جیره‌ها تفاوت معنی‌داری نشان نداد. همچنین Khosravi و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که جایگزینی کامل سیلاژ ذرت با سیلاژ سورگوم، در صورتی‌که انرژی جیره در مرحله فرمولاسیون به‌درستی تأمین شود، اثری بر تولید شیر نخواهد داشت. در مطالعه‌ای که توسط Colombini و همکاران (۲۰۱۲) انجام شد، مقایسه سیلاژ ذرت و سیلاژ سورگوم در جیره گاوهای شیرده نشان داد که تفاوت معنی‌داری در مصرف ماده خشک و تولید شیر تصحیح‌شده بر اساس چهار درصد چربی بین جیره‌ها وجود نداشت. در مقابل Duhatschek و همکاران (۲۰۲۵) گزارش کردند که جایگزینی ۲۵ و ۵۰ درصد سیلاژ ذرت با سورگوم (Brown midrib male-sterile) موجب افزایش تولید شیر نسبت به گروه شاهد شد که این افزایش را به مصرف ماده خشک بیشتر در این تیمارها نسبت دادند. همچنین برخی ارقام سورگوم حاوی ترکیبات فنلی با خاصیت ضدتغذیه‌ای هستند که می‌توانند موجب کاهش مصرف ماده خشک، کاهش تولید شیر و افت قابلیت هضم پروتئین شوند (Oliveira *et al*, 2007). بنابراین، نوع رقم سورگوم و ویژگی‌های تغذیه‌ای آن، در کنار نژاد و مرحله شیردهی گاوها، از عوامل مهم مؤثر بر پاسخ تولیدی دام به جایگزینی سیلاژ ذرت با سیلاژ سورگوم هستند.

جدول ٤- اثر تغذیه سیلاژ ذرت و سورگوم و مخلوط آنها بر میانگین تولید و ترکیبات شیر گاوهای شیرده براون سوئیس

Table 4- Effect of feeding corn and sorghum silage and their mixtures on milk production and composition of Brown Swiss dairy cows

صفت Parameter		تیمارهای آزمایشی[1] Experimental treatments[1]			خطای استاندارد میانگین SEM	سطح معنی‌داری P-value
		تیمار ۱ Treatment 1	تیمار ۲ Treatment 2	تیمار ۳ Treatment 3		
تولید شیر Milk production	کیلوگرم در روز	19.18	20.76	17.85	2.344	0.691
چربی شیر Milk fat	درصد	3.64[a]	3.55[ab]	3.31[b]	0.083	0.050
	کیلوگرم در روز	0.69	0.73	0.59	0.056	0.0598
پروتئین شیر Milk protein	درصد	3.10	3.11	3.26	0.078	0.336
	کیلوگرم در روز	0.59	0.64	0.58	0.023	0.261
لاکتوز شیر Milk lactose	درصد	4.53	4.63	4.41	0.140	0.568
	کیلوگرم در روز	0.86	0.96	0.78	0.102	0.117
مواد جامد بدون چربی شیر Milk non-fat solids	درصد	9.07	9.21	9.18	0.162	0.817
	کیلوگرم در روز	1.73	1.91	1.63	1.187	0.250
کل مواد جامد شیر Total milk solids	درصد	12.04	12.18	11.98	0.177	0.727
	کیلوگرم در روز	2.30	2.52	2.13	0.099	0.306

[1] تیمار ۱: جیرهٔ حاوی سیلاژ ذرت ، تیمار ۲: جیرهٔ حاوی سیلاژ ذرت و سورگوم به نسبت ۵۰:۵۰؛ تیمار ۳: جیره حاوی سیلاژ سورگوم

[1] Treatment 1: Diet containing corn silage, Treatment 2: Diet containing corn silage and sorghum in a ratio of 50:50; Treatment 3: Diet containing sorghum silage

قابلیت هضم ظاهری ماده خشک، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی جیره‌های آزمایشی در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان داد جایگزینی سیلاژ ذرت با سیلاژ سورگوم، قابلیت هضم ظاهری ماده خشک، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($P\leq ۰/۰۵$). یکی از دلایل احتمالی این نتایج، تفاوت در ترکیب شیمیایی دو نوع سیلاژ است. مطابق جدول ۲، محتوای الیاف نامحلول در شوینده خنثی سیلاژ سورگوم بیشتر از سیلاژ ذرت بود (۵۵/۴۵ در مقابل ۵۳/۷۱ درصد)، درحالی‌که پروتئین خام آن کمتر بود (۸/۲۵ در مقابل ۹/۰۸ درصد). افزایش سهم دیواره سلولی در جیره می‌تواند، بسته به قابلیت هضم اجزای الیافی، دسترسی میکروارگانیسم‌های شکمبه به کربوهیدرات‌های ساختاری را محدود کند و در کاهش قابلیت هضم ماده خشک نقش داشته باشد. همچنین، کمتر بودن غلظت پروتئین خام سیلاژ سورگوم ممکن است بخشی از تفاوت ترکیب مواد مغذی جیره‌ها را توضیح دهد. قابلیت هضم الیاف نامحلول در شوینده خنثی نیز با جایگزینی سیلاژ ذرت با سیلاژ سورگوم کاهش یافت. این پاسخ ممکن است با تفاوت در ویژگی‌های ساختاری دیواره سلولی، نسبت اجزای قابل‌هضم به غیرقابل‌هضم و میزان لیگنینی‌شدن الیاف مرتبط باشد. بااین‌حال، چون مقادیر الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و لیگنین نامحلول در شوینده اسیدی اندازه‌گیری نشده است، نمی‌توان نقش لیگنین را به‌طور مستقیم به تفاوت مشاهده‌شده نسبت داد.

در راستای نتایج این پژوهش، Gholami و همکاران (۲۰۲۵) کاهش قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی را در پی جایگزینی کامل سیلاژ ذرت با سیلاژ سورگوم گزارش کردند. Harper و همکاران (۲۰۱۷) نیز قابلیت هضم بیشتر ماده خشک و پروتئین خام را در گاوهای تغذیه‌شده با سیلاژ ذرت نسبت به سیلاژ سورگوم مشاهده کردند. در مقابل، Khosravi و همکاران (۲۰۱۸) و Yang و همکاران (۲۰۱۹) تفاوت معنی‌داری در قابلیت هضم جیره‌های حاوی این دو نوع سیلاژ گزارش نکردند. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت در رقم سورگوم، مرحله برداشت، نسبت دانه به اندام‌های رویشی، شرایط سیلو کردن و ترکیب شیمیایی جیره‌ها باشد.

جدول ۵- اثر تغذیه سیلاژ ذرت و سورگوم و مخلوط آنها بر قابلیت هضم ظاهری گاوهای شیرده براون سوئیس (درصد)

Table 5- Effect of feeding corn and sorghum silage and their mixtures on apparent digestibility of Brown Swiss dairy cows (percentage)

قابلیت هضم ظاهری (درصد) Apparent digestibility (percentage)	تیمارهای آزمایشی[1] Experimental treatments[1]			خطای استاندارد میانگین SEM	سطح معنی‌داری P-value
	تیمار ۱ Treatment 1	تیمار ۲ Treatment 2	تیمار ۳ Treatment 3		
مادهٔ خشک	59.62[a]	52.31[b]	51.83[b]	1.100	0.0012
پروتئین خام	58.79[a]	53.69[b]	47.11[c]	1.022	0.0001
الیاف نامحلول در شوینده خنثی	56.13[a]	54.21[a]	47.25[b]	0.902	0.0002

[1] تیمار ۱: جیرهٔ حاوی سیلاژ ذرت ، تیمار ۲: جیرهٔ حاوی سیلاژ ذرت و سورگوم به نسبت ۵۰:۵۰؛ تیمار ۳: جیره حاوی سیلاژ سورگوم

[2] هر ردیف که دارای حروف غیرمشابه است در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.

[1] Treatment 1: Diet containing corn silage, Treatment 2: Diet containing corn silage and sorghum in a ratio of 50:50; Treatment 3: Diet containing sorghum silage

[2] Different letters in the columns indicate significance at the 5% level

نتایج جدول ۶ نشان داد که pH شکمبه گاوهای شیرده نژاد براون سوئیس در تیمارهای در دامنه ۶/۳۷ تا ۶/۷۰ قرار داشت و اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. این دامنه در محدوده بهینه pH شکمبه (حدود ۶–۷) قرار گرفت (Van Soest

et al, 1994). عدم مشاهده تفاوت معنی‌دار نشان می‌دهد که جایگزینی کامل یا نسبی سیلاژ ذرت با سیلاژ سورگوم تأثیر منفی بر هموستاز محیط شکمبه نداشته است. در این راستا، Peka-Kielb و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که pH مایع شکمبه در جیره‌های حاوی سورگوم نسبت به سیلاژ ذرت بالاتر بوده است، که احتمالاً ناشی از تولید کمتر اسیدهای چرب فرار و کاهش شدت تخمیر می‌باشد. کاهش سرعت تخمیر می‌تواند از افت شدید pH جلوگیری کرده و خطر بروز ناهنجاری‌های متابولیکی مانند اسیدوز تحت‌حاد را کاهش دهد (Baran *et al*, 2002). همچنین نتایج حاضر با یافته‌های Hedayatipour و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی دارد که نشان دادند استفاده از سیلاژ سورگوم در جیره نشخوارکنندگان تغییر نامطلوبی در pH شکمبه ایجاد نمی‌کند.

جدول ٦- اثر تغذیه سیلاژ ذرت و سورگوم و مخلوط آنها بر pH شکمبه گاوهای شیرده براون سوئیس

Table 6- Effect of feeding corn and sorghum silage and their mixtures on rumen pH of Brown Swiss dairy cows

صفت Parameter	تیمارهای آزمایشی[1] Experimental treatments[1]			خطای استاندارد میانگین SEM	سطح معنی‌داری P-value
	تیمار ۱ Treatment 1	تیمار ۲ Treatment 2	تیمار ۳ Treatment 3		
pH شکمبه Ruminal pH	6.48	6.37	6.70	0.168	0.408

[1] تیمار ۱: جیرهٔ حاوی سیلاژ ذرت ، تیمار ۲: جیرهٔ حاوی سیلاژ ذرت و سورگوم به نسبت ۵۰:۵۰؛ تیمار ۳: جیره حاوی سیلاژ سورگوم

[1] Treatment 1: Diet containing corn silage, Treatment 2: Diet containing corn silage and sorghum in a ratio of 50:50; Treatment 3: Diet containing sorghum silage

نتایج جدول ۷ نشان داد جایگزینی بخشی یا تمام سیلاژ ذرت با سیلاژ سورگوم تأثیر معنی‌داری بر رفتارهای تغذیه‌ای گاوهای شیرده نژاد براون سوئیس نداشت.رفتارهای مختلف بررسی شده شامل زمان صرف شده برای خوردن، نشخوار کردن، کل فعالیت جویدن، ایستادن، دراز کشیدن و استراحت در بین تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری نشان ندادند. این یافته بیانگر آن است که تغییر منبع سیلاژ در جیره، بر الگوی رفتاری مرتبط با مصرف و پردازش خوراک اثر منفی نگذاشته و از نظر فیزیکی و ساختاری، جیره‌های آزمایشی توانسته‌اند نیاز نشخوار و تحریک فیزیکی شکمبه را به‌طور مشابه تأمین کنند. رفتارهای خوردن و نشخوار شاخص مهمی از کفایت الیاف مؤثر فیزیکی، ساختار ذرات خوراک و تعادل تخمیر شکمبه هستند. عدم تفاوت در کل فعالیت جویدن نشان می‌دهد که جایگزینی سیلاژ سورگوم به جای سیلاژ ذرت احتمالاً تغییری اساسی در ویژگی‌های فیزیکی جیره ایجاد نکرده است. همچنین ثبات زمان استراحت و وضعیت‌های ایستاده و درازکشیده بیانگر عدم بروز تنش تغذیه‌ای یا اختلال متابولیکی در تیمارهای مختلف است. نتایج حاضر با گزارش Hedayatipour و همکاران (۲۰۱۲) همسو است که نشان دادند جایگزینی سیلاژ سورگوم اثری بر زمان مصرف خوراک نداشت، هرچند در جایگزینی کامل، زمان نشخوار افزایش یافت. در مقابل، Gholami و همکاران (۲۰۲۵) بیشترین زمان خوردن و نشخوار را در گروه شاهد (۱۰۰ درصد سیلاژ ذرت) و کمترین زمان را در تیمار ۱۰۰ درصد سورگوم گزارش کردند. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از اختلاف در ترکیب شیمیایی سیلاژها، اندازه ذرات، در صد ماده خشک، سطح تولید شیر، یا نسبت کنسانتره به علوفه در جیره‌ها باشد.

جدول ۷- اثر تغذیه سیلاژ ذرت و سورگوم و مخلوط آنها بر نوع رفتار تغذیه‌ای گاوهای شیرده براون سوئیس (دقیقه در روز)

Table 7- Effect of feeding corn and sorghum silage and their mixture on the feeding behavior of Brown Swiss dairy cows (minutes per day)

صفت Parameter	تیمارهای آزمایشی[1] Experimental treatments[1]			خطای استاندارد میانگین SEM	سطح معنی‌داری P-value
	تیمار ۱ Treatment 1	تیمار ۲ Treatment 2	تیمار ۳ Treatment 3		
فعالیت خوردن Eating activity	176.25	181.25	170.00	8.228	0.445
فعالیت نشخوارکردن Ruminating activity	358.75	362.50	338.75	9.947	0.347
کل فعالیت جویدن Total chewing activity	535.00	543.75	508.75	1.624	0.382
ایستاده Standing	595.00	566.25	607.50	13.222	0.279
دراز کشیده Lying down	506.25	512.50	485.00	16.577	0.349
استراحت Resting	635.00	633.75	651.25	15.623	0.357

[1] تیمار ۱: جیرهٔ حاوی سیلاژ ذرت ، تیمار ۲: جیرهٔ حاوی سیلاژ ذرت و سورگوم به نسبت ۵۰:۵۰؛ تیمار ۳: جیره حاوی سیلاژ سورگوم

[1] Treatment 1: Diet containing corn silage, Treatment 2: Diet containing corn silage and sorghum in a ratio of 50:50; Treatment 3: Diet containing sorghum silage

نتیجه گیری کلی

به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشـان داد که سـیلاژ سـورگوم می‌تواند به‌عنوان بخشـی از علوفه جیره گاوهای شـیرده مورد استفاده قرار گیرد، بدون آنکه مصرف خوراک، pH شکمبه، رفتارهای تغذیه‌ای و تولید شیر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گیرند. بااین‌حال، جایگزینی کامل سیلاژ ذرت با سیلاژ سورگوم موجب کاهش معنی‌دار قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی شد. همچنین، جایگزینی کامل سیلاژ ذرت با سیلاژ سورگوم در صد چربی شیر را به‌طور معنی‌داری کاهش داد، درحالی‌که جایگزینی ۵۰ درصد سیلاژ ذرت با سیلاژ سورگوم تفاوت معنی‌داری در درصد چربی شـیر نسـبت به جیره حاوی سـیلاژ ذرت ایجاد نکرد. بنابراین، با توجه به نتایج این آزمایش، جایگزینی جزئی سـیلاژ ذرت با سیلاژ سورگوم می‌تواند گزینه‌ای مناسب برای تنوع‌بخشی به منابع علوفه‌ای جیره گاوهای شیری باشد. بااین‌حال، ارزیابی کیفیت سیلاژ، ترکیب مواد مغذی جیره و پیامدهای اقتصادی سطوح مختلف جایگزینی، به‌ویژه در شرایط محدودیت منابع آب، ضروری است. تعیین سطح بهینه جایگزینی نیز به مطالعات تکمیلی با تعداد دام بیشتر و دوره‌های آزمایشی طولانی‌تر نیاز دارد.

Refrences

Alix, H., Tremblay, G. F., Chantigny, M. H., Bélanger, G., Seguin, P., Fuller, K. D., Bittman, S., Hunt, D., Larney, F. J., Acharya, S. N., & Vanasse, A. (2019). Forage yield, nutritive value, and ensilability of sweet pearl millet and sweet sorghum in five Canadian ecozones. *Canadian Journal of Plant Science* , 99, 701–714. https://doi.org/10.1139/cjps-2019-0031

Association of Official Analytical Chemists. (1997). Official methods of analysis (16th ed.). AOAC International.

Baran, M., & Žitňan, R. (2002). Effect of monensin sodium on fermentation efficiency in sheep rumen (Short communication). *Archiv Tierzucht*, 45, 181–185. https://doi.org/10.5194/aab-45-181-2002

Beauchemin, K. A., Yang, W. Z., & Rode, L. M. (2003). Effect of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on chewing activity, ruminal fermentation and milk production. *Journal of Dairy Science*, 86, 630–643. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73641-8

Cattani, M., Guzzo, N., Mantovani, R., & Bailoni, L. (2017). Effects of total replacement of corn silage with sorghum silage on milk yield, composition, and quality. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8, Article 15. https://doi.org/10.1186/s40104-017-0146-8

Colombini, S., Galassi, G., Crovetto, G. M., & Rapetti, L. (2012). Milk production, nitrogen balance, and fiber digestibility prediction of corn, whole-plant grain sorghum, and forage sorghum silages in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95, 4457–4467. https://doi.org/10.3168/jds.2011-4444

Dan, Y., Zhang, S., Zhong, H., Yi, H., & Sainz, M. B. (2008). Novel compounds that enhance Agrobacterium-mediated plant transformation by mitigating oxidative stress. *Plant Cell Reports*, 27, 291–309. https://doi.org/10.1007/s00299-014-1707-3

Duhatschek, D., Pilati, A. G., Mittelstadt, J. P., Lee, A. M., Wellmann, K. B., Conner, M., Schuenemann, G. M., Paudyal, S., Smith, J. K., Bell, J. M., Ferraretto, L. F., Gouvêa, V. N., & Piñeiro, J. M. (2026). Effects of partially replacing corn silage with brown midrib male-sterile sorghum silage on intake, digestibility, and milk production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 109(3), 2610–2620. https://doi.org/10.3168/jds.2025-27271

Dulan Samarappuli, & Berti, M. T. (2018). Intercropping forage sorghum with maize is a promising alternative to maize silage for biogas production. Journal of Cleaner Production, 194, 515–524. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.083

FAO. (2023). FAOSTAT statistical database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (https://www.fao.org/faostat/)

Fazaeli, H., Sharifimehr, F., Pirmohammadi, R., Nikbakhti, M., & Ahangari, M. (2021). Effect of different levels of Speed Feed sorghum silage on productive performance, milk composition and milk fatty acids in lactating cows. *Research on Animal Production*, 12(34), 60–69. (In Persian) https://doi.org/10.52547/rap.12.34.60

Gholami, H., Qorchi, T., & Toghderi, A. (2025). Effects of replacing corn silage with sorghum silage on production performance, digestibility, feeding behavior, and selected blood parameters in lactating dairy cows. *Journal of Animal Production*, 27(4), 407-421. (In Persian) https://doi.org/10.22059/jap.2025.389479.623834

Habibi, M., Abdi, M., & Mehrpouyan, M. (2013). Study of forage quality traits in two forage sorghum cultivars, Speedfeed and Pegah, under water deficit conditions. In Proceedings of the Second National Conference on Modern Agricultural Issues, Saveh, Iran.

Harper, M. T., Oh, J., Giallongo, F., Lopes, J. C., Roth, G. W., & Hristov, A. N. (2017). Using brown midrib-6 dwarf forage sorghum silage and fall-grown oat silage in lactating dairy cow rations. *Journal of Dairy Science*, 100, 5250–5265. https://doi.org/10.3168/jds.2017-12552

Hedayatipour, A., Khoroush, M., Ghorbani, G., & Modarres, A. (2012). The effect of replacing corn silage with sweet sorghum silage on digestibility and performance of dairy cows. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 4(1), 54–64. (In Persian) https://doi.org/10.22067/ijasr.v4i1.13911

Hou, Z., Yu, X., & Wu, D. (2025). Effects of different ratios of sweet sorghum silage to corn silage diets on serum metabolome of lactating dairy cows. *Tropical Animal Health and Production*, 57, 29. https://doi.org/10.1007/s11250-025-04483-8

Kalantari Nistanki, M., Yeganeh Parast, M., & Khojasteh, K. M. (2025). Comparative evaluation of the physical and qualitative characteristics of sorghum and corn silage. *Forage and Livestock Feed Extension Journal*, 5(2), 11–19. (In Persian) https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.01.011

Khazaei, A., Fooman, A., Rahjoo, V., & Golzardi, V. (2019). Cultivation and characteristics of released sorghum cultivars. *Agricultural Education Publications*, Page 136. (In Persian)

Khosravi, M., Rouzbehan, Y., Rezaei, M., & Rezaei, J. (2018). Total replacement of corn silage with sorghum silage improves milk fatty acid profile and antioxidant capacity of Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(12), 10953–10961. https://doi.org/10.3168/jds.2017-14350

McCary, C. L., Vyas, D., Faciola, A. P., & Ferraretto, L. F. (2020). Graduate student literature review: Current perspectives on whole-plant sorghum silage production and utilization by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103, 5783–5790. https://doi.org/10.3168/jds.2019-18122

McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2011). Animal nutrition (7th ed.). Prentice Hall.

Miron, J., Zuckerman, E., Adin, G., Solomon, R., Shoshani, E., Nikbachat, M., & Ben-Ghedalia, D. (2007). Comparison of two forage sorghum varieties with corn and the effect of feeding their silages on eating behavior and lactation performance of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 139, 23–39. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.01.011

National Research Council. (2001). Nutrient requirements of dairy cattle (7th rev. ed.). National Academy Press.

Oliveira, L. B. D., Pires, A. J. V., Carvalho, G. G. P. D., Ribeiro, L. S. O., Almeida, V. V. D., & Peixoto, C. A. D. M. (2007). Losses and nutritional value of corn, Sudan sorghum, forage sorghum and sunflower silages. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 61–67. https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000100008

Oliver, A. L., Grant, R. J., Pedersen, J. F., & O'Rear, J. (2004). Comparison of brown midrib-6 and -18 forage sorghum with conventional sorghum and corn silage in diets of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87, 637–644. https://doi.org/10.15232/aas.2019-01950

Paviz, M. M., Ghoorchi, T., & Ghanbari, F. (2011). Effects of molasses and bacterial inoculants on chemical composition and aerobic stability of sorghum silage. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 6(4), 385–390.

Pecka-Kiełb, E., Miśta, D., Króliczewska, B., Zachwieja, A., Słupczyńska, M., Król, B., & Sowiński, J. (2021). Changes in the in vitro ruminal fermentation of diets for dairy cows based on selected sorghum cultivars compared to maize, rye, and grass silage. *Agriculture*, 11(6), 492.

Pino, F., & Heinrichs, A. J. (2017). Sorghum forage in precision-fed dairy heifer diets. Journal of Dairy Science, 100, 224–235.

Ran, T., Tang, S. X., Yu, X., Hou, Z. P., Hou, F. J., Beauchemin, K. A., Yang, W. Z., & Wu, D. Q. (2021). Diets varying in ratio of sweet sorghum silage to corn silage for lactating dairy cows: Feed intake, milk production, blood biochemistry, ruminal fermentation, and ruminal microbial community. *Journal of Dairy Science*, 104(12), 12600–12615.

Van Soest, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant (2nd ed.). Cornell University Press.

Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597.

Yang, C., Ferket, P. R., Hong, Q., Zhou, J., Cao, G., Zhou, L., Chen, A., & Luo, J. (2019). Effect of dietary fiber source on rumen fermentation characteristics and microbial populations in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102(2), 1515–1526.

Zhang, X., Wang, Y., Li, S., Cao, Z., & Yang, H. (2024). Comparison of corn silage and sorghum silage in diets of lactating dairy cows: Effects on rumen fermentation, nutrient digestibility, and milk performance. *Animals*, 14(11), 1702.

Zhao, Y. L., Dolat, A., Steinberger, Y., Wang, X., Osman, A., & Xie, G. H. (2009). Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. *Field Crops Research*, 111, 55–64.