

اثرات افزودن سطوح مختلف اوره آهسته‌رهش بر ارزش تغذیه‌ای، فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و تولید گاز سیلاژ علوفه سورگوم در چین دوم

رادمان بختیاری*

دانشجوی دکتری تغذیه دام، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

علیرضا بیات

دانشیار گروه علوم دامی، موسسه منابع طبیعی فنلاند

جیمز کی دراکلی

استاد گروه علوم دامی، دانشگاه صنعتی ایلینوی آمریکا

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر فرآوری سیلاژ سورگوم علوفه‌ای در چین دوم با سطوح مختلف اوره آهسته‌رهش بر ارزش تغذیه‌ای، فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری به‌روش *in situ* و فراسنجه‌های تولید گاز به‌روش *in vitro* انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل (۱) علوفه سورگوم بدون افزودنی (شاهد) (۲)، (۳) و (۴) به‌ترتیب علوفه سورگوم به‌علاوه ۱، ۲/۵ و ۵ درصد اوره آهسته‌رهش بر اساس ماده خشک علوفه بودند. نتایج نشان داد که رنگ، اسیدیته و پروتئین خام در بین تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری داشتند، به‌طوری که در تیمار حاوی ۵ درصد اوره بالاترین و در تیمار شاهد کمترین مقادیر مشاهده شد. خاکستر خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی در تمامی تیمارهای حاوی اوره نسبت به تیمار شاهد با افزایش سطح اوره به‌طور خطی کاهش یافت. بخش تند تجزیه، ثابت نرخ تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک سیلاژهای سورگوم، در تیمارهای حاوی ۲/۵ و ۵ درصد اوره نسبت به تیمار حاوی ۱ درصد اوره و گروه شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بخش بالقوه قابل تجزیه الیاف نامحلول در شوینده خنثی در تیمار حاوی ۵ درصد اوره نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. مقادیر بخش‌های بالقوه قابل تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام در تمامی تیمارهای حاوی سطوح مختلف اوره نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. مقادیر گاز تولیدی در ۹۶ ساعت، قابلیت هضم ماده آلی و انرژی قابل متابولیسم با افزایش سطح اوره به‌طور خطی افزایش یافت، به‌طوری که در تیمار حاوی ۵ درصد اوره بیشترین و در تیمار شاهد کمترین مقادیر را به خود اختصاص دادند. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که فرآوری سیلاژ سورگوم علوفه‌ای با اوره آهسته‌رهش سبب افزایش ارزش تغذیه‌ای آن شده و می‌تواند سبب بهبود فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی و قابلیت هضم ماده آلی شود.

واژگان کلیدی: اوره، تجزیه‌پذیری، تست گاز، سورگوم

مقدمه

در سیستم‌های تولید دام در کشورهای گرمسیری، دسترسی به علوفه از نظر کیفیت و کمیت در طول سال متغیر است (Zougmore et al, ۲۰۱۶). تولید کم علوفه در فصل خشک و کمبود زمین حاصل خیز در برخی مناطق از مهم‌ترین مشکلات برای تأمین علوفه در صنعت دامپروری است (Wahyono et al, ۲۰۱۹). به‌منظور تأمین پایدار خوراک برای دام‌ها، استفاده از روش‌های نگهداری علوفه یک راهکار مهم محسوب می‌شود؛ در میان روش‌های موجود، سیلو کردن به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (Sriagtula et al, ۲۰۱۷). سیلو کردن علوفه روشی است که از محصولات علوفه‌ای با رطوبت بالا برای حفظ مواد مغذی و ارزش غذایی علوفه برای نگهداری طولانی مدت استفاده می‌شود. در نتیجه، سیلو کردن علوفه راه‌حلی برای تغذیه دام در دوره‌های رشد نامناسب و کیفیت پایین مرتع فراهم می‌کند (Bernardes et al, ۲۰۱۸). امروزه از علوفه سورگوم (*Sorghum bicolor*) به‌طور گسترده‌ای در بسیاری از مناطق جهان جهت تغذیه دام استفاده می‌شود (Queiroz et al, ۲۰۲۱). سورگوم به‌دلیل خصوصیات فیزیولوژیکی مانند مقاومت به خشکی، شوری، کارایی مصرف آب بالاتر از سایر گیاهان علوفه‌ای، عملکرد نسبتاً زیاد، کیفیت مطلوب و قابلیت نگهداری آن به‌صورت علوفه خشک و سیلاژ، در مناطق خشک و نیمه‌خشک از ارزش خاصی برخوردار است (Yucel and Erkan, ۲۰۲۰). چندین مطالعه مربوط به سورگوم علوفه‌ای پیرامون موضوعات عملکرد تولیدی، محتوای مواد مغذی و قابلیت هضم انجام شده است (Sriagtula et al, ۲۰۱۷; Sajimin et al, ۲۰۱۸; Sugoro et al, ۲۰۱۵). ماده خشک (DM) و محتوای کربوهیدرات محلول به‌طور قابل توجهی بر کیفیت سیلو تأثیر می‌گذارد (Borreani et al, ۲۰۱۸). سورگوم سرشار از مواد مغذی به‌ویژه کربوهیدرات‌های محلول بوده و معمولاً در بسیاری از مناطق جهان برای تولید سیلو استفاده می‌شود (Yucel and Erkan, ۲۰۲۰). با این حال، مقادیر بالای کربوهیدرات‌های محلول ممکن است باعث تخمیر الکلی در طی فرآیند سیلو کردن شود (Mohd-Setapar et al, ۲۰۱۲). این امر منجر به کاهش ماده خشک و مواد مغذی، کاهش پایداری هوازی سیلو و همچنین افزایش احتمال رشد قارچ‌ها و مخمرها شده که در نهایت باعث تخمیر ثانویه می‌شود (Jobim et al, ۲۰۰۷). هنگامی که ویژگی‌های یک علوفه، کیفیت فرآیند تخمیر را محدود می‌کند، استفاده از افزودنی‌ها در طی فرآیند سیلو کردن توصیه می‌شود (Yitbarek and Tamir, ۲۰۱۴). افزودن اوره در فرآیند سیلو کردن علوفه‌های با محتوای بالای کربوهیدرات‌های محلول، راهکاری مؤثر برای کنترل بهتر pH محسوب می‌شود. اوره با جلوگیری از کاهش سریع pH، رشد میکروارگانیسم‌های نامطلوب مانند مخمرها و قارچ‌ها را که در سیلاژهای بسیار اسیدی حضور دارند، محدود کرده و باعث بهبود بازایی ماده خشک و افزایش پایداری هوازی سیلو می‌شود (Araki et al, ۲۰۱۷). بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثرات افزودن اوره آهسته‌رهش بر مشخصات مواد مغذی و خصوصیات تولید گاز در شرایط آزمایشگاهی و تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای سیلاژ سورگوم در چین دوم انجام شد.

روش تحقیق

این پژوهش در آزمایشگاه تغذیه دام گروه علوم دامی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. سورگوم علوفه‌ای در مزرعه شرکت بهدیس تجارت بهسر کشت شده و در مرحله دانه خمیری برداشت شد. ۴ تیمار آزمایشی شامل علوفه سورگوم (۱) بدون افزودنی (شاهد)، (۲) به‌علاوه ۱ درصد اوره آهسته‌رهش، (۳) به‌علاوه ۲/۵ درصد اوره آهسته‌رهش و (۴) به‌علاوه ۵ درصد اوره آهسته‌رهش بر اساس ماده خشک علوفه در کیسه‌های نایلونی دو لایه به ابعاد ۱۰۰×۵۰ سانتی‌متر به‌مقدار کافی سیلو شدند. پس از ۴۵ روز سیلوها بازگشایی شده و خصوصیات ظاهری و کیفی سیلاژها بررسی شدند. پس از بازگشایی سیلوهای آزمایشی، ترکیبات شیمیایی سیلاژها شامل ماده خشک، پروتئین خام، عصاره اتری و خاکستر (AOAC, ۲۰۰۵) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی (Van Soest et al, ۱۹۹۱) و کربوهیدرات غیرالیافی (NRC, ۲۰۰۱) اندازه‌گیری شد. بلافاصله پس از بازگشایی سیلوهای آزمایشی، تهیه عصاره برای اندازه‌گیری pH انجام شد و نمره فلینک

سیلوها محاسبه شد (Kilic, ۱۹۸۶). ویژگی‌های فیزیکی و ارزشیابی ظاهری مواد سیلویی از روی بو، ساختمان ظاهری و رنگ سیلاژ انجام گرفت (McDonald et al, ۱۹۹۱).

در این آزمایش تعداد ۳ رأس گوسفند نژاد افشاری دارای فیستوله شکمبه‌ای با میانگین وزن 55 ± 2 کیلوگرم به‌منظور تعیین فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری در جایگاهی مسقف و نیمه‌باز، در قفس‌های متابولیک با دسترسی آزاد به آب نگهداری شدند. در طول دوره عادت‌پذیری خوراک (۱۴ روز اول) در حد اشتها داده شده و در طی آزمایش، جیره به حد نگهداری تقلیل یافت. دام‌های آزمایشی دو بار در روز (۸ صبح و ۲۰ عصر) تغذیه شدند. نمونه‌ها پس از خشک‌شدن با آسیاب دارای الک ۲ میلی‌متری آسیاب شدند و مقدار ۴ گرم نمونه داخل کیسه‌های نایلونی (قطر منافذ ۴۸ میکرومتر و ابعاد 10×15 سانتی‌متر) از جنس الیاف پلی‌استر مصنوعی ریخته شد. کیسه‌ها به‌مدت صفر، ۲، ۴، ۶، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت داخل شکمبه قرار داده شد. پس از خروج از شکمبه بلافاصله با آب سرد شست‌وشو داده شده، سپس داخل آون قرار داده شدند. با استفاده از رابطه (۱) فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری محاسبه شدند (Ørskov and McDonald, ۱۹۷۹).

$$P = a + b(1 - e^{-ct}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، P: درصد تجزیه‌پذیری ماده مغذی در زمان t؛ a: بخش سریع تجزیه (درصد)؛ b: بخش کند تجزیه (درصد)؛ c: عدد نپری؛ t: زمان انکوباسیون (ساعت) هستند. محاسبه درصد تجزیه‌پذیری مؤثر نمونه‌ها بر اساس رابطه (۲) با نرخ عبور فرضی ۰/۰۲، ۰/۰۵ و ۰/۰۸ درصد در ساعت انجام شد:

$$ED = a + \{(b \times c)/(c + k)\} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه، ED: فراسنجه تجزیه‌پذیری مؤثر در شکمبه؛ a: بخش سریع تجزیه (درصد)؛ b: بخش کند تجزیه (درصد)؛ c: ثابت نرخ تجزیه؛ k: ثابت نرخ عبور فرضی هستند.

گاز تولیدی مطابق با روش منک و استینگس (Menke and Steingass, ۱۹۸۸) اندازه‌گیری شد. مایع شکمبه قبل از خوراک‌دهی صبح از ۳ رأس گوسفند دارای فیستولای شکمبه‌ای جمع‌آوری گردید. مقدار ۰/۲ گرم از ماده خشک نمونه‌های آزمایشی آسیاب‌شده در داخل سرنگ‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته و با مایع شکمبه و بزاق مصنوعی (با نسبت ۱ به ۲) در حمام آبی با دمای ثابت ۳۹ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. حجم گاز تولیدی در زمان‌های صفر، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت ثبت شده و داده‌ها با استفاده از رابطه (۳) برازش شدند:

$$P = b(1 - e^{-ct}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه، P: ظرفیت تولید گاز؛ b: گاز تولیدشده از بخش قابل تخمیر (میلی‌لیتر)؛ c: ثابت نرخ تولید گاز (میلی‌لیتر بر ساعت)؛ t: زمان انکوباسیون (ساعت) و e: عدد نپری است. میزان انرژی قابل متابولیسم از رابطه (۴) محاسبه شد:

$$ME \text{ (MJ/kg DM)} = 2,20 + 0,1307GP + 0,0057CP + 0,0002859000^2 \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه، ME: انرژی قابل متابولیسم (مگاژول در کیلوگرم ماده خشک)؛ GP: حجم گاز تولیدی تصحیح‌شده برای ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر به‌ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)؛ CP: پروتئین خام (گرم در کیلوگرم ماده خشک) و EE: چربی خام (گرم در کیلوگرم ماده خشک) است. همچنین قابلیت هضم ماده آلی^۱ با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد:

$$OMD = 14,88 + 0,889GP + 0,045CP + 0,06510000 \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه، OMD: قابلیت هضم ماده آلی (گرم در کیلوگرم ماده خشک)؛ GP: حجم گاز تولیدی تصحیح‌شده برای ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر به‌ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)؛ CP: پروتئین خام (گرم در کیلوگرم ماده خشک) و Ash: خاکستر (گرم در کیلوگرم ماده خشک) است. برای برآورد اسیدهای چرب کوتاه زنجیر^۲ از رابطه (۶) (Getachew et al, ۱۹۹۸) استفاده شد:

^۱ - Organic matter digestibility (OMD)

^۲ - Short chain fatty acid (SCFA)

رابطه (۶) $SCFA \text{ (mMol/200 mgDM)} = 0.0239GP - 0.0601$

در این رابطه، SCFA: اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (میلی مول به ازای ۲۰۰ میلی گرم ماده خشک) و GP: حجم گاز تولیدی تصحیح شده برای ۲۴ ساعت (میلی لیتر به ازای ۲۰۰ میلی گرم ماده خشک) است.

داده های حاصل از آزمایش با استفاده از رویه GLM نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ با مدل آماری زیر (رابطه ۷) آنالیز شدند:

رابطه (۷) $Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$

در این رابطه، Y_{ij} : مقدار هر مشاهده؛ μ : میانگین جامعه؛ T_i : اثر تیمارها؛ e_{ij} : خطای آزمایشی هستند. مقایسه میانگین ها با آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح معنی داری ۰/۰۵ انجام شد.

یافته ها

ارزیابی ظاهری و شیمیایی سیلاژهای سورگوم

ویژگی های کیفی و ترکیبات شیمیایی سیلاژ سورگوم علوفه ای در تیمارهای مختلف در جدول (۱) نشان داده شده است. تیمارهای آزمایشی از نظر بو و ساختمان با هم تفاوت معنی داری نداشتند ($P > 0.05$). رنگ ($P = 0.0358$) و pH ($P = 0.0153$) در بین تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی داری داشتند، به طوری که در تیمار حاوی ۵ درصد اوره بالاترین و در تیمار شاهد کمترین مقادیر مشاهده شد. جمع نمرات ارزیابی ظاهری ($P = 0.0626$) و نمره فلینگ ($P = 0.0670$) در بین تیمارهای آزمایشی تمایل به معنی داری داشتند. مطابق با انتظار، با افزایش سطح اوره در تیمارهای آزمایشی، درصد پروتئین خام به طور خطی افزایش یافت ($P < 0.0001$). خاکستر خام در تیمار حاوی ۵ درصد اوره نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی به طور معنی داری کمتر بود ($P = 0.0298$). الیاف نامحلول در شوینده خنثی در تمامی تیمارهای حاوی سطوح مختلف اوره نسبت به گروه شاهد به طور معنی داری کاهش یافت ($P = 0.0024$). اما الیاف نامحلول در شوینده اسیدی تنها در تیمارهای حاوی سطوح ۲/۵ و ۵ درصد نسبت به گروه شاهد کاهش معنی داری داشت ($P = 0.0067$). تیمارهای آزمایشی تأثیر معنی داری بر درصد ماده خشک، چربی خام و کربوهیدرات غیرالیافی نداشتند ($P > 0.05$).

جدول ۱- اثر تیمارهای آزمایشی بر ارزیابی ظاهری و ترکیبات شیمیایی سیلاژ سورگوم

Table 1 - Effect of experimental treatments on visual and chemical assessment of sorghum silage

Table 2. Effect of experimental treatments on feed and chemical composition of 20-grain rangeland							
موارد Items	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments					خطای استاندارد SEM	احتمال معنی داری P-value
	شاهد Control	۱ درصد اوره 1% Urea	۲/۵ درصد اوره ۲.۵% Urea	۵ درصد اوره ۵% Urea	میانگین		
ارزیابی ظاهری (Visual Assessment)							
بو (۱۴ نمره) (Odor, ۱۴ points)	۱۳.۶۸	۱۳.۶۷	۱۳.۷۵	۱۳.۸۲	۰.۰۳۸	۰.۴۷۶۹	
ساختمان (۴ نمره) (Structure, ۴ points)	۳.۵۲	۳.۵۹	۳.۶۲	۳.۶۸	۰.۰۲۱	۰.۱۵۴۲	
رنگ (۲ نمره) (Color, ۲ points)	۱.۶۹ ^b	۱.۷۳ ^b	۱.۷۶ ^{ab}	۱.۸۱ ^a	۰.۰۱۱	۰.۰۳۵۸	
جمع نمرات (۲۰ نمره) (Total, ۲۰ points)	۱۸.۹۰	۱۸.۹۸	۱۹.۱۴	۱۹.۳۲	۰.۰۴۸	۰.۰۶۲۶	
اسیدیته (pH)	۳.۹۰ ^b	۴.۰۸ ^{ab}	۴.۱۸ ^a	۴.۲۵ ^a	۰.۰۲۹	۰.۰۱۵۳	
نمره فلیت (Flight point)	۹۲.۹۵	۸۶.۷۰	۸۵.۴۴	۸۳.۱۹	۱.۱۰۷	۰.۰۶۷۰	
ترکیب شیمیایی (درصد) (Chemical Composition, %)							
ماده خشک (DM)	۲۲.۳۷	۲۲.۸۵	۲۳.۸۲	۲۴.۲۳	۰.۲۷۳	۰.۱۳۹۰	
پروتئین خام (CP)	۱۰.۳۵ ^d	۱۱.۸۷ ^c	۱۲.۷۵ ^b	۱۴.۷۵ ^a	۰.۰۸۵	<۰.۰۰۰۱	
چربی خام (EE)	۳.۲۴	۳.۳۷	۳.۴۳	۳.۴۷	۰.۰۶۴	۰.۶۲۷۸	
خاکستر خام (Ash)	۸.۴۶ ^a	۸.۳۸ ^a	۷.۹۴ ^{ab}	۷.۷۰ ^b	۰.۰۸۰	۰.۰۲۹۸	
الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF)	۵۸.۳۸ ^a	۵۶.۷۲ ^b	۵۶.۰۳ ^b	۵۴.۵۱ ^c	۰.۲۳۰	۰.۰۰۲۴	

۰.۰۰۶۷	۰.۲۴۲	۳۶.۹۷ ^c	۳۷.۸۱ ^{bc}	۳۹.۱۶ ^{ab}	۴۰.۲۰ ^a	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)
۰.۰۰۷۱	۰.۱۵۲	۱۹.۵۶	۱۹.۸۳	۱۹.۶۴	۱۹.۵۶	کربوهیدرات غیرالیافی (NFC)

*میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی‌دار هستند ($P < 0.05$).

*The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ($P < 0.05$).

تجزیه‌پذیری ماده خشک

آنالیز نتایج فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک در تیمارهای مختلف در جدول (۲) ارائه شده است. بخش تند تجزیه ($P = 0.0331$) و ثابت نرخ تجزیه ($P = 0.0452$) در تیمار حاوی ۵ درصد اوره نسبت به تیمار حاوی ۱ درصد اوره و گروه شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. مقادیر بخش‌های کند تجزیه، بالقوه قابل تجزیه و غیر قابل تجزیه در بین تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری نداشتند ($P > 0.05$). تجزیه‌پذیری مؤثر در نرخ عبور ۲ درصد ($P = 0.0089$)، ۵ درصد ($P = 0.0120$) و ۸ درصد ($P = 0.0145$) در تیمارهای حاوی سطوح ۲/۵ و ۵ درصد اوره نسبت به تیمار حاوی ۱ درصد اوره و گروه شاهد به‌طور معنی‌داری بالاتر بود.

جدول ۲- اثر تیمارهای آزمایشی بر تجزیه‌پذیری ماده خشک سیلاژ سورگوم
Table ۲ - Effect of experimental treatments on DM degradability of sorghum silage

احتمال معنی‌داری P-value	خطای استاندارد میانگین SEM	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments				موارد Items
		۵ درصد اوره ۵% Urea	۲/۵ درصد اوره ۲.۵% Urea	۱ درصد اوره ۱% Urea	شاهد Control	
۰.۰۳۳۱	۰.۲۱۹	۲۵.۹۴ ^a	۲۴.۵۲ ^{ab}	۲۳.۹۷ ^b	۲۳.۸۳ ^b	بخش تند تجزیه (درصد) Rapidly degraded fraction (%)
۰.۴۲۱۶	۰.۳۷۶	۵۷.۲۶	۵۷.۰۶	۵۷.۲۳	۵۵.۶۵	بخش کند تجزیه (درصد) Slowly degraded fraction (%)
۰.۲۰۳۱	۰.۵۵۰	۸۳.۲۱	۸۱.۵۸	۸۱.۲۰	۷۹.۴۸	بخش بالقوه قابل تجزیه (درصد) Potentially degradable fraction (%)
۰.۲۰۳۱	۰.۵۵۰	۱۶.۷۹	۱۸.۴۱	۱۸.۷۹	۲۰.۵۱	بخش غیر قابل تجزیه (درصد) Undegradable fraction (%)
۰.۰۴۵۲	۰.۰۰۱	۰.۰۵ ^a	۰.۰۵ ^{ab}	۰.۰۴ ^b	۰.۰۴ ^b	ثابت نرخ تجزیه (درصد در ساعت) Constant rate of degradation (%/h)
						تجزیه‌پذیری مؤثر در نرخ عبور (درصد در ساعت) Effective degradability with different passage rate (%/h)
۰.۰۰۸۹	۰.۳۵۷	۴۲.۲۷ ^a	۴۱.۴۲ ^a	۳۹.۰۴ ^b	۳۷.۹۷ ^b	۰.۰۲
۰.۰۱۲۰	۰.۴۲۰	۳۳.۵۲ ^a	۳۲.۵۳ ^a	۲۹.۶۵ ^b	۲۸.۸۴ ^b	۰.۰۵
۰.۰۱۴۵	۰.۴۲۳	۲۷.۷۷ ^a	۲۶.۷۸ ^a	۲۳.۹۰ ^b	۲۳.۲۶ ^b	۰.۰۸

*میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی‌دار هستند ($P < 0.05$).

*The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ($P < 0.05$).

تجزیه‌پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی

مقایسه میانگین‌های فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی تیمارهای آزمایشی در جدول (۳) آورده شده است. بخش تند تجزیه در تیمارهای حاوی ۲/۵ و ۵ درصد اوره نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P = 0.0005$). بخش کند تجزیه تنها در تیمار حاوی ۵ درصد اوره نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی افزایش معنی‌داری نشان داد ($P = 0.0067$). بخش بالقوه قابل تجزیه در تیمار حاوی ۵ درصد اوره بیشترین و در گروه شاهد کمترین مقادیر مشاهده شد ($P = 0.0008$). همچنین مقادیر فراسنجه‌های ثابت نرخ تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر در نرخ عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت الیاف نامحلول در شوینده خنثی در بین تیمارهای آزمایشی اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند ($P > 0.05$).

جدول ۳- اثر تیمارهای آزمایشی بر تجزیه پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی سیلاژ سورگوم
Table ۳ - Effect of experimental treatments on NDF degradability of sorghum silage

احتمال معنی داری P-value	خطای استاندارد میانگین SEM	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments				موارد Items
		۵ درصد اوره ۵% Urea	۲/۵ درصد اوره ۲.۵% Urea	۱ درصد اوره ۱% Urea	شاهد Control	
۰.۰۰۰۵	۰.۲۵۴	۲۶.۳۰ ^a	۲۴.۸۹ ^a	۲۲.۵۸ ^b	۲۱.۴۰ ^b	بخش تند تجزیه (درصد) Rapidly degraded fraction (%)
۰.۰۰۶۷	۰.۲۶۶	۵۸.۵۱ ^a	۵۶.۰۵ ^b	۵۵.۳۸ ^b	۵۵.۰۳ ^b	بخش کند تجزیه (درصد) Slowly degraded fraction (%)
۰.۰۰۰۸	۰.۴۵۱	۸۴.۸۲ ^a	۸۰.۲۷ ^b	۷۷.۹۷ ^c	۷۶.۴۳ ^c	بخش بالقوه قابل تجزیه (درصد) Potentially degradable fraction (%)
۰.۰۰۰۸	۰.۴۵۱	۱۵.۱۷ ^c	۱۹.۰۵ ^b	۲۲.۰۳ ^a	۲۳.۵۷ ^a	بخش غیر قابل تجزیه (درصد) Undegradable fraction (%)
۰.۱۱۸۹	۰.۰۰۱	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۲	ثابت نرخ تجزیه (درصد در ساعت) Constant rate of degradation (%/h)
						تجزیه پذیری مؤثر در نرخ عبور (درصد در ساعت) Effective degradability with different passage rate (%/h)
۰.۰۵۸۷	۰.۹۰۶	۳۹.۰۱	۳۶.۱۱	۳۲.۶۶	۳۱.۱۶	۰.۰۲
۰.۰۶۸۸	۰.۸۹۲	۲۹.۲۵	۲۶.۶۸	۲۳.۳۴	۲۱.۸۱	۰.۰۵
۰.۰۷۱۰	۰.۷۹۸	۲۳.۴۰	۲۱.۱۷	۱۸.۱۹	۱۶.۷۹	۰.۰۸

* میانگین هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی دار هستند ($P < 0.05$).

*The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ($P < 0.05$).

تجزیه پذیری پروتئین خام

نتایج مربوط به فراسنجه های تجزیه پذیری پروتئین خام سیلاژهای سورگوم در جدول (۴) نشان داده شده است. بخش تند تجزیه در تیمارهای حاوی ۲/۵ و ۵ درصد اوره نسبت به گروه شاهد به طور معنی داری افزایش یافت ($P = 0.0158$). مقادیر بخش های کند تجزیه ($P = 0.0270$)، بالقوه قابل تجزیه ($P = 0.0132$) در تمامی تیمارهای حاوی سطوح مختلف اوره نسبت به تیمار شاهد به طور معنی داری بالاتر بود. تیمارهای آزمایشی تأثیر معنی داری بر مقدار ثابت نرخ تجزیه نداشتند ($P > 0.05$). تجزیه پذیری مؤثر در نرخ عبور ۲ درصد ($P = 0.0032$)، ۵ درصد ($P = 0.0106$) و ۸ درصد ($P = 0.0213$) در تمامی تیمارهای حاوی اوره نسبت به گروه شاهد بیشتر بود.

تولید گاز

نتایج حاصل از مقایسه میانگین های فراسنجه های تولید گاز در تیمارهای آزمایشی در جدول (۵) گزارش شده است. پتانسیل تولید گاز در تیمار حاوی ۵ درصد اوره نسبت به تیمار حاوی ۱ درصد اوره و گروه شاهد به طور معنی داری افزایش یافت ($P = 0.0225$). ثابت نرخ تولید گاز در بین تیمارهای آزمایشی اختلاف آماری معنی داری نداشت ($P > 0.05$). مقادیر گاز تولیدی در ۹۶ ساعت ($P = 0.0171$)، قابلیت هضم ماده آلی ($P = 0.0044$) و انرژی قابل متابولیسم ($P = 0.0041$) تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند. به صورتی که تیمار حاوی ۵ درصد اوره بیشترین و تیمار شاهد کمترین مقادیر را به خود اختصاص دادند.

غلظت اسیدهای چرب کوتاه زنجیر در تیمار حاوی ۵ درصد اوره نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی به طور معنی داری بالاتر بود ($P=0/0139$).

جدول ۴- اثر تیمارهای آزمایشی بر تجزیه پذیری پروتئین خام سیلاژ سورگوم

Table 4 - Effect of experimental treatments on CP degradability of sorghum silage

احتمال معنی داری P-value	خطای استاندارد میانگین SEM	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments				موارد Items
		۵ درصد اوره ۵% Urea	۲/۵ درصد اوره ۲.۵% Urea	۱ درصد اوره ۱% Urea	شاهد Control	
۰.۰۱۵۸	۰.۲۲۷	۲۴.۸۳ ^a	۲۴.۰۰ ^a	۲۳.۳۸ ^{ab}	۲۲.۰۹ ^b	بخش تند تجزیه (درصد) Rapidly degraded fraction (%)
۰.۰۲۷۰	۰.۶۸۹	۵۱.۶۹ ^a	۵۱.۳۵ ^a	۵۱.۰۹ ^a	۴۵.۰۷ ^b	بخش کند تجزیه (درصد) Slowly degraded fraction (%)
۰.۰۱۳۲	۰.۸۰۶	۷۶.۵۳ ^a	۷۵.۳۵ ^a	۷۴.۴۷ ^a	۶۷.۱۶ ^b	بخش بالقوه قابل تجزیه (درصد) Potentially degradable fraction (%)
۰.۰۱۳۲	۰.۸۰۶	۲۳.۴۷ ^b	۲۴.۶۵ ^b	۲۵.۵۳ ^b	۳۲.۸۴ ^a	بخش غیر قابل تجزیه (درصد) Undegradable fraction (%)
۰.۵۳۱۹	۰.۰۰۲	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۰۴	ثابت نرخ تجزیه (درصد در ساعت) Constant rate of degradation (%/h)
						تجزیه پذیری مؤثر در نرخ عبور (درصد در ساعت) Effective degradability with different passage rate (%/h)
۰.۰۰۳۲	۰.۴۲۸	۳۸.۱۵ ^a	۳۶.۴۳ ^a	۳۶.۱۹ ^a	۳۱.۴۹ ^b	۰.۰۲
۰.۰۱۰۶	۰.۴۶۲	۳۰.۳۴ ^a	۲۸.۲۷ ^a	۲۸.۰۸ ^a	۲۴.۲۳ ^b	۰.۰۵
۰.۰۲۱۳	۰.۴۶۴	۲۵.۰۶ ^a	۲۳.۱۳ ^a	۲۲.۹۵ ^a	۱۹.۶۸ ^b	۰.۰۸

* میانگین هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی دار هستند ($P<0/05$).

*The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ($P<0/05$).

جدول ۵- اثر تیمارهای آزمایشی بر فراسنجه های تولید گاز سیلاژ سورگوم

Table 5 - Effect of experimental treatments on the gas production parameters of sorghum silage

احتمال معنی داری P-value	خطای استاندارد میانگین SEM	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments				موارد Items
		۵ درصد اوره ۵% Urea	۲/۵ درصد اوره ۲.۵% Urea	۱ درصد اوره ۱% Urea	شاهد Control	
۰.۰۲۲۵	۰.۴۵۶	۴۰.۶۸ ^a	۳۸.۲۸ ^{ab}	۳۶.۹۳ ^b	۳۵.۶۰ ^b	پتانسیل تولید گاز (میلی لیتر) Gas production potential (mL)
۰.۲۲۹۰	۰.۰۰۲	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۰۷	ثابت نرخ تولید گاز (میلی لیتر/ساعت) Gas production rate (mL/hour)
۰.۰۱۷۱	۰.۴۵۶	۳۴.۰۰ ^a	۳۲.۳۳ ^{ab}	۳۰.۶۶ ^{bc}	۲۸.۶۶ ^c	گاز تولیدی در ۹۶ ساعت (میلی لیتر) Gas production at 96 hours (mL)
۰.۰۰۴۴	۰.۳۴۴	۴۶.۹۰ ^a	۴۴.۵۵ ^b	۴۲.۹۸ ^{bc}	۴۱.۸۸ ^c	قابلیت هضم ماده آلی (درصد) Organic matter digestibility (%)
۰.۰۰۴۱	۰.۰۵۰	۶۸۷ ^a	۶۵۰ ^b	۶۲۸ ^{bc}	۶۱۳ ^c	انرژی قابل متابولیسم (مگاژول/کیلوگرم) Metabolizable energy (MJ/kg DM)
۰.۰۱۳۹	۰.۰۰۸	۰.۶۳ ^a	۰.۵۷ ^b	۰.۵۵ ^b	۰.۵۳ ^b	غلظت اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (میلی مول) Short chain fatty acids (mMol)

* میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی‌دار هستند ($P < 0.05$).

*The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ($P < 0.05$).

بحث و نتیجه‌گیری

به‌طور کلی عواملی مانند رقم گیاه، نوع افزودنی، مرحله بلوغ، نحوه آماده کردن سیلاژ، عملکرد و کیفیت علوفه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Rabbani, ۲۰۱۲). در پژوهشی مشاهده شد که مرحله برداشت اثر معنی‌داری بر تمامی ترکیبات شیمیایی گیاه و همچنین اثر معنی‌داری بر گوارش‌پذیری مواد مغذی دارد (Ehsani et al, ۲۰۱۹). گزارش شده است که سورگوم شیرین به‌دلیل محتوای کربوهیدرات محلول بالا، ظرفیت بافر کم و قابلیت هضم ماده خشک بالا، کیفیت بهتری را برای تولید سیلو فراهم می‌کند (Yucel and Erkan, ۲۰۲۰). ماده خشک و محتوای کربوهیدرات محلول به‌طور قابل توجهی بر کیفیت سیلو تأثیر می‌گذارد (Perazzo et al, ۲۰۱۷). تنوع مقادیر pH در سیلاژ سورگوم تحت تأثیر سطوح کربوهیدرات محلول است که در توسعه باکتری‌های تولیدکننده اسیدلاکتیک تأثیر می‌گذارد و افزایش pH علوفه‌های سیلو شده با اوره را می‌توان به افزایش تولید آمونیاک در این مواد سیلویی و همچنین افزایش قدرت بافري حاصل از تولید آن نسبت داد (Fernandes et al, ۲۰۲۰). در پژوهشی که بر روی سیلاژ سورگوم به همراه افزودنی اوره انجام شد، نتایج ارزیابی بصری، رنگ و بو نشان‌دهنده کیفیت خوب بود و بدیهی است که اوره به‌عنوان یک افزودنی شیمیایی می‌تواند فرآیند تخمیر را تسهیل کند (Taddess et al, ۲۰۱۶). در پژوهشی مشاهده کردند که سیلاژهای سورگوم حاوی افزودنی اوره ظاهر بصری، بو و رنگ خوبی داشتند، pH نهایی پایین (یعنی ۳/۷ الی ۳/۹) و عدم وجود اسیدهای بوتیریک و پروپیونیک نشان‌دهنده تخمیر خوب بودند (Naeini et al, ۲۰۱۶). با بررسی سطوح مختلف اوره بر ارزش تغذیه‌ای سیلاژ سورگوم علوفه‌ای نشان داده شد که افزودن اوره سبب افزایش معنی‌داری در درصد ماده خشک، پروتئین خام، چربی خام و pH نسبت به تیمار شاهد شد، درحالی که درصد الیاف نامحلول در شونده خنثی و اسیدی کاهش یافت، اما بین دو سطح اوره (۵ و ۱۰ درصد) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (Taghavi, ۲۰۱۳). تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای علوفه نیز یک شاخص مهم برای ارزیابی ارزش تغذیه‌ای آن است (Wang et al, ۲۰۲۲). همچنین مرحله رشد گیاه به‌شدت بر تجزیه‌پذیری و مصرف علوفه توسط دام مؤثر است (Hatew et al, ۲۰۱۶). در پژوهشی با بررسی ارزش تغذیه‌ای سورگوم علوفه‌ای، گزارش کردند که تجزیه‌پذیری ماده خشک سورگوم در ساعت‌های ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ به ترتیب ۲۴/۸۶، ۲۷/۶۹، ۳۰/۵۰ و ۵۱/۳۷ درصد بود (Li et al, ۲۰۱۷). در مطالعه‌ای ضریب بخش تند تجزیه در سیلاژ چین اول سورگوم علوفه‌ای بیشتر از چین دوم بود؛ علت آن بیشتر بودن بخش کربوهیدرات محلول باقیمانده در سیلاژ چین اول است که سبب افزایش ناپدید شدن شکمبه‌ای و بخش سریع تجزیه شده است (Newman et al, ۲۰۱۰). هرچه بخش سریع تجزیه ماده خشک سیلاژ بیشتر باشد، سرعت تجزیه شدن بیشتر و ماندگاری خوراک در شکمبه دام کمتر و سرعت عبور خوراک زیاد شده و در نتیجه مصرف خوراک افزایش می‌یابد (Hedaiatipoor et al, ۲۰۱۲). در پژوهشی با افزودن سطوح مختلف اوره (۰/۵، ۱، ۲ و ۴ درصد) به سیلاژ سورگوم، گزارش کردند که سطح متوسط ۲ درصد اوره می‌تواند برای بهبود فرآیند تخمیر و تجزیه‌پذیری استفاده شود (Santos et al, ۲۰۱۸). در پژوهشی گزارش کردند که فرآوری علوفه سورگوم با ۵ و ۱۰ درصد اوره میزان تجزیه‌پذیری (بخش‌های تند تجزیه، کند تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر) را در تمام زمان‌های انکوباسیون به‌طور معنی‌دار افزایش داد و اثر ۱۰ درصد اوره در افزایش تجزیه‌پذیری بهتر بود (Taghavi, ۲۰۱۳). در پژوهشی گزارش شد که تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شونده خنثی سیلاژ ذرت و سیلاژ سورگوم تقریباً مشابه بود (Samari, ۲۰۱۸) که نشان‌دهنده ارزش تغذیه‌ای بالای سیلاژ سورگوم می‌باشد. در پژوهشی گزارش کردند که میزان بخش کند تجزیه در چین دوم سورگوم علوفه‌ای بیشتر از چین اول بود، اما در چین‌های بعدی تغییر معنی‌داری را در میزان بخش کند تجزیه مشاهده نکردند (Hedaiatipoor et al, ۲۰۱۲). اوره موجب سست شدن پیوندهای لیگنوسلولزی گیاه شده و سوسترای قابل تخمیر بیشتری را برای لاکتوباسیلوس‌ها فراهم و در نتیجه با مصرف کربوهیدرات غیرالیافی سبب افزایش قابلیت هضم و تجزیه‌پذیری مواد خشبی می‌شود (Ribeiro et al, ۲۰۱۸).

(۲۰۱۱). تجزیه پذیری ماده خشک و الیاف نامحلول در شوینده خنثی به غلظت نیتروژن آمونیاکی شکمبه و همچنین به قابلیت تخمیر جیره و ساختارهای فیزیکی و شیمیایی جیره وابسته است (Benchaar et al, ۲۰۰۸). در آزمایشی گزارش شد که زمان تأخیر برای ناپدید شدن ماده خشک و الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه برای هر دو تیمار (اوره و اوره آهسته رهش) در ۳ و ۶ ساعت پس از انکوباسیون وجود ندارد و تفاوتی در قابلیت هضم الیاف نامحلول در شوینده خنثی با استفاده از اوره آهسته رهش در مقایسه با اوره معمولی برای گاوهای شیری وجود نداشت (Santos et al, ۲۰۱۱). قابلیت هضم ظاهری الیاف نامحلول در شوینده خنثی مشابهی را با عرضه اوره آهسته رهش یا اوره به دو گروه گاو شیری گزارش کردند (Highstreet et al, ۲۰۱۰). عمل آوری کاه با اوره باعث افزایش حساسیت و آسیب پذیری دیواره سلولی و همچنین، کاهش میزان اسیدهای فنولیک این ماده خوراکی می شود که این تغییرات باعث بهبود و تسهیل اتصال باکتری ها به دیواره سلولی گیاه می شوند (Selim et al, ۲۰۰۴). در مطالعه آزمایشگاهی گزارش شد که افزودن اوره به سیلاژ سورگوم سبب افزایش قابلیت هضم ماده خشک (۵۴/۳۷ درصد) و در نتیجه افزایش تجزیه پذیری بخش الیافی آن نسبت به گروه شاهد شد (Taddess et al, ۲۰۱۶). تجزیه پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی سیلاژ چین اول سورگوم در مقایسه با سیلاژ حاصل از چین دوم بیشتر می باشد (Nowak et al, ۲۰۰۴). علت آن را می توان به همبستگی منفی بین میزان الیاف نامحلول در شوینده خنثی و تجزیه پذیری مؤثر نسبت داد، بدین صورت که با کاهش این بخش تجزیه پذیری افزایش می یابد (Aini et al, ۲۰۱۵).

گزارش شده است که سیلاژ سورگوم با داشتن انرژی بالا در تأمین بخش انرژی جیره نقش زیادی دارد و کمبود بخش پروتئینی آن را می توان با افزودن افزودنی هایی مانند نیتروژن غیر پروتئینی مانند اوره جبران کرد (Lyimo et al, ۲۰۱۶). در پژوهشی گزارش شد که با سیلو کردن سورگوم علوفه ای، تجزیه پذیری مؤثر شکمبه ای پروتئین خام و نشاسته افزایش یافت، بدون این که تفاوتی در تجزیه پذیری مؤثر شکمبه ای ماده خشک مشاهده شود (Robison, ۲۰۱۹). در پژوهشی دیگر، تجزیه پذیری ماده خشک، پروتئین خام و دیواره سلولی سیلاژ سورگوم با استفاده از روش کیسه های نایلونی به ترتیب ۵۴/۹۹، ۴۶/۱۱ و ۴۴/۴۹ درصد گزارش شد (Hedaiatipoor et al, ۲۰۱۲). تجزیه پذیری بالای بخش سریع تجزیه پروتئین خام در سیلاژ سورگوم احتمالاً ناشی از بیشتر بودن مقدار نیتروژن آمونیاکی در این سیلاژ است که سبب افزایش تجزیه پذیری و در نتیجه افزایش میزان ناپدید شدن شکمبه ای پروتئین خام سیلاژ می شود (Aini et al, ۲۰۱۵). همچنین pH سیلاژ تأثیر قابل توجهی بر روی تجزیه پذیری پروتئین دارد، زیرا کاهش pH سیلاژ باعث جلوگیری از رشد باکتری های کلستریومی و انتروباکترها می شود که تجزیه کنندگان اصلی پروتئین سیلاژ به آمونیاک می باشند (Robison, ۲۰۱۹). در پژوهشی با بررسی ارزش تغذیه ای سورگوم علوفه ای، گزارش کردند که تجزیه پذیری پروتئین در ساعت های ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ به ترتیب ۳۶/۹۵، ۴۵/۲۷، ۵۹/۲۳ و ۷۵/۰۹ درصد بود (Li et al, ۲۰۱۷).

به طور کلی تفاوت در میزان تولید گاز بین علوفه ها در زمان های مختلف انکوباسیون، می تواند به دلیل تفاوت در گونه گیاه، زمان برداشت، بلوغ گیاه، روش های عمل آوری و ترکیبات ثانویه گیاه باشد. میزان گاز تولیدی به محتوای الیافی گیاه، کربوهیدرات های محلول و همچنین تجزیه آن بستگی دارد و همین طور بین تولید گاز و محتوای الیاف نامحلول در شوینده خنثی سیلاژ همبستگی منفی وجود دارد (Wahyono et al, ۲۰۲۱). به نظر می رسد تأثیر آمونیاک حاصل از تجزیه ی اوره به اندازه کافی انرژی لازم را از راه شکستن پیوندهای لیگنوسلولزی برای میکروارگانیسم ها فراهم آورده و با تأمین نیتروژن می تواند بیشترین مقدار تجزیه پذیری را به خود اختصاص دهد (Murray et al, ۲۰۰۹). در پژوهشی گزارش شد که اوره میزان گاز تولیدی را تقریباً در تمام زمان های انکوباسیون به طور معنی داری نسبت به تیمار شاهد افزایش داد که از این نظر تفاوت چندانی بین ۲ سطح اوره (۵ و ۱۰ درصد) مشاهده نشد (Taghavi, ۲۰۱۳). در پژوهشی با مقایسه اثرات تغذیه سیلاژ ذرت علوفه ای، تریتی کاله و سورگوم بر تولید گاز، نشان دادند که مقدار تولید گاز در ۹۶ ساعت، نرخ تولید گاز، قابلیت هضم ماده آلی، انرژی متابولیسمی و غلظت اسیدهای چرب کوتاه زنجیر نیز در سیلاژ ذرت و سیلاژ سورگوم مشابه بود و پتانسیل و نرخ تولید گاز برای سیلاژ سورگوم بدون افزودنی به ترتیب برابر ۳۱/۱۵ و ۰/۰۲ گزارش شد (Samari, ۲۰۱۸). در مطالعه ای گزارش شد که تولید گاز در چین دوم سورگوم کمتر از چین اول در همه زمان های انکوباسیون بود، آن ها همبستگی بالایی را بین میزان

الیاف گیاه طی چین دوم و کاهش گاز تولیدی گزارش کردند (Newman et al, ۲۰۱۰). همچنین مشاهده شد که قابلیت هضم ماده آلی و میزان انرژی متابولیسمی سورگوم در چین دوم نسبت به چین اول کمتر بود (Roy and Khandaker, ۲۰۱۰). به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که فرآوری سیلاژ سورگوم علوفه‌ای با سطوح ۱، ۲/۵ و ۵ درصد اوره آهسته‌رهش بر اساس ماده خشک علوفه سبب افزایش ارزش تغذیه‌ای آن شده و می‌تواند سبب بهبود مقادیر بخش‌های بالقوه قابل تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی شود. همچنین افزودن سطوح مختلف اوره آهسته‌رهش به سیلاژهای سورگوم به‌طور خطی سبب بهبود فراسنجه‌های تولید گاز شد.

منابع

- Amini, B., Bashtani, M., Arab, A. B., Arab, A. (۲۰۱۰). Effect of harvesting stage and acidity and microbial processing on degradability characteristics of sorghum silage using gas production method, *Journal of Livestock Research*, Volume: ۳ Issue: ۴.
- AOAC. (۲۰۰۵). Association of Official Analytical Chemist, Official Methods of Analysis. Article ۱۸th Edition.
- Araki, H. M. C., De Oliveira, E. R., Gandra, J. R., De Goes, R. H. T. B., Takiya, C. S., Jacaúna, A. G., ... & Duan Orbach, N. (۲۰۱۷). Association of biological and chemical additives on nutrient composition, total losses, microbiological and fermentative profile of sugarcane silage. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 7(۴), ۵۷۷-۵۸۴.
- Benchaar, C., Calsamiglia, S., Chaves, A. V., Fraser, G. R., Colombatto, D., McAllister, T. A., & Beauchemin, K. A. (۲۰۰۸). A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Animal feed science and technology*, 145(۱-۴), ۲۰۹-۲۲۸. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.anifeedsci.۲۰۰۷.۰۴.۰۱۴>
- Bernardes, T. F., Daniel, J. L. P., Adesogan, A. T., McAllister, T. A., Drouin, P., Nussio, L. G., ... & Cai, Y. (۲۰۱۸). Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. *Journal of dairy science*, 101(۵), ۴۰۰۱-۴۰۱۹. <https://doi.org/۱۰.۳۱۶۸/jds.۲۰۱۷-۱۳۷۰۳>
- Borreani, G. I. O. R. G. I. O., Tabacco, E. R. N. E. S. T. O., Schmidt, R. J., Holmes, B. J., & Muck, R. A. (۲۰۱۸). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of dairy science*, 101(۵), ۳۹۵۲-۳۹۷۹. <https://doi.org/۱۰.۳۱۶۸/jds.۲۰۱۷-۱۳۸۳۷>
- Ehsani, P., Teymuriyasari, A., Chanshidl, Y., & Ghorbani, G. (۲۰۱۹). Effect of particle size and harvest stage of forage corn on silage properties, digestibility and discretionary nutrient intake of Holstein dairy cows. *Journal of Animal Environment*, 11(۲).
- Fernandes, T., Paula, E. M., Sultana, H., & Ferraretto, L. F. (۲۰۲۰). Influence of sorghum cultivar, ensiling storage length, and microbial inoculation on fermentation profile, N fractions, ruminal in situ starch disappearance and aerobic stability of whole-plant sorghum silage. *Animal Feed Science and Technology*, 266, ۱۱۴۵۳۵. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.anifeedsci.۲۰۲۰.۱۱۴۵۳۵>
- Getachew, G., Blümmel, M., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (۱۹۹۸). In vitro gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 72(۳-۴), ۲۶۱-۲۸۱. [https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/S.۰۳۷۷-۸۴.۰۱\(۹۷\).۰۰۱۸۹-۲](https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/S.۰۳۷۷-۸۴.۰۱(۹۷).۰۰۱۸۹-۲)
- Hatew, B., Bannink, A., Van Laar, H., De Jonge, L. H., & Dijkstra, J. (۲۰۱۶). Increasing harvest maturity of whole-plant corn silage reduces methane emission of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99(۱), ۳۵۴-۳۶۸. <https://doi.org/۱۰.۳۱۶۸/jds.۲۰۱۵-۱۰۰۴۷>
- Hedayati Pour, A., Khorvash, M., Ghorbani Kharage, G., Almodares, A., & Ebadi, M. R. (۲۰۱۲). Comparison of chemical and degradability characteristics of green forage and silage of sorghums varieties with corn using in vitro. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 4(۳). <https://doi.org/۱۰.۲۲۰۶۷/ijasr.v۴i۳.۱۶۲۲۸>
- Highstreet, A., Robinson, P. H., Robison, J., & Garrett, J. G. (۲۰۱۰). Response of Holstein cows to replacing urea with a slowly rumen released urea in a diet high in soluble crude protein. *Livestock Science*, 129(۱-۳), ۱۷۹-۱۸۵. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.livsci.۲۰۱۰.۰۱.۰۲۲>
- Jobim, C. C., Nussio, L. G., Reis, R. A., & Schmidt, P. (۲۰۰۷). Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, ۱۰۱-۱۱۹. <https://doi.org/۱۰.۱۵۹۰/S۱۵۱۶-۳۵۹۸۲.۰۷.۰۱.۰۰۰۰۰۱۳>
- Kilic, A. ۱۹۸۶. Silo feed (instruction, education and application proposals). Bilgehan Pres, ۳۲۷.
- Li HongGuang, L. H., Diao XiaoGao, D. X., Zhao JunXing, Z. J., Ren YouShe, R. Y., Zhang ChunXiang, Z. C., Zhang WenJia, Z. W., & Zhang JianXin, Z. J. (۲۰۱۷). Ruminal degradability characteristics of four unconventional roughages in mutton sheep.
- Lyimo, B. J., Mtengeti, E. J., Urio, N. A., & Ndemanisho, E. E. (۲۰۱۶). Effect of fodder grass species, wilting and ensiled amount in shopping plastic bags on silage quality. *Livestock Research for Rural Development*, 28(۸).

- McDonald, P., Henderson, A.R. and Heron, S.J.E. (۱۹۹۱). The Biochemistry of Silage. Chalcombe, Marlow, UK.
- Menke, K., & Steingass, H. (۱۹۸۸). Estimation of the energy feeding value from gas formation estimated in vitro with rumen fluid and from chemical analysis. ۲. Regression equations.
- Mohd-Setapar, S. H., Mohamad-Aziz, S. N., Harun, N. H., & Mohd-Azizi, C. Y. (۲۰۱۲). Review on the extraction of biomolecules by biosurfactant reverse micelles. *Apchbe Procedia*, 3, ۷۸-۸۳. <https://doi.org/10.1016/j.apchbe.2012.06.005>
- Murray, K., Rodwell, V., Bender, D., Botham, K. M., Weil, P. A., & Kennelly, P. J. (۲۰۰۹). Harper's illustrated biochemistry. ۲۸. Citeseer, New York, United States.
- Naeini, S. Z., Rowghani, E., Emami, N. K., Bayat, A. R., & Abolfathi, E. (۲۰۱۶). Sweet sorghum and its bagasse ensiled with urea and molasses can be used as alternatives for maize silage in semi-arid areas from in situ and gas production evaluations. <http://dx.doi.org/10.2429/ROAVS/16-042>
- Newman, Y., Erickson, J., Vermerris, W., & Wright, D. (۲۰۱۰). Forage Sorghum (Sorghum bicolor): Overview and Management: SS-AGR-۲۳۳/AG۳۴۳, ۷/۲۰۱۰. *EDIS*, 2010(۴).
- Nowak, W., Potkański, A., & Wylegała, S. (۲۰۰۴). The effect of additives on quality and nutrient degradability and digestibility of round bale silage. *South African Journal of Animal Science*, 34(۲), ۱۲۳-۱۲۹.
- NRC (۲۰۰۱). Nutrient requirements of dairy cattle. National Academies Press.
- Ørskov, E. R., & McDonald, I. (۱۹۷۹). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92(۲), ۴۹۹-۵۰۳. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>
- Perazzo, A. F., Carvalho, G. G., Santos, E. M., Bezerra, H. F., Silva, T. C., Pereira, G. A., ... & Rodrigues, J. A. (۲۰۱۷). Agronomic evaluation of sorghum hybrids for silage production cultivated in semiarid conditions. *Frontiers in Plant Science*, 8, ۱۰۸۸. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.01088>
- Queiroz, F. E. D., Rocha, V. R., Monção, F. P., Rigueira, J. P. S., Parrella, R. A. D. C., Rufino, L. D. D. A., ... & Cordeiro, M. W. S. (۲۰۲۱). Effect of row spacing and maturity at harvest on the fermentative profile, aerobic stability, and nutritional characteristics of biomass sorghum (BRS ۷۱۶) silage in the semiarid region of Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 50, e۲۰۲۰۰۲۵۴. <https://doi.org/10.37461/rbz.2020.204>
- Rabbani, H. R. ۲۰۱۲. Study on silage characteristics of two varieties of amaranth forage (amaranthus hypochondriacus) and its comparison with corn silage. Thesis submitted for Master of Science in field of animal science, Department of Animal Science, Bu-Ali Sina University. (In Persian)
- Ribeiro, S. S., Vasconcelos, J. T., Morais, M. G., Ítavo, C. B. C. F., & Franco, G. L. (۲۰۱۱). Effects of ruminal infusion of a slow-release polymer-coated urea or conventional urea on apparent nutrient digestibility, in situ degradability, and rumen parameters in cattle fed low-quality hay. *Animal Feed Science and Technology*, 164(۱-۲), ۵۳-۶۱. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.12.003>
- Robison, C. A. (۲۰۱۹). *Management Impacts On Sorghum Silage Ruminant Digestibility* (Doctoral dissertation).
- Roy, P. R. S., & Khandaker, Z. H. (۲۰۱۰). Effects of phosphorus fertilizer on yield and nutritional value of sorghum (Sorghum bicolor) fodder at three cuttings. *Bangladesh Journal of Animal Science*, 39(۱-۲), ۱۰۶-۱۱۵.
- Sajimin, S., Purwantari, N. D., Sarjiman, S., & Sihono, S. (۲۰۱۸). Evaluation on performance of some Sorghum bicolor cultivars as forage resources in the dry land with dry climate. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*, 22(۳), ۱۳۵-۱۴۳. <https://doi.org/10.14334/jitv.v22i3.1611>
- Samari, R. ۲۰۱۸. Comparing the effects of feeding corn silage, sorghum and triticale on performance, degradability, rumen parameters and gas production test in fattening male lambs. Master's thesis, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, *Faculty of Animal Sciences and Fisheries*.
- Santos, A. P. M. D., Santos, E. M., Oliveira, J. S. D., Ribeiro, O. L., Perazzo, A. F., Martins Araújo Pinho, R., ... & Pereira, G. A. (۲۰۱۸). Effects of urea addition on the fermentation of sorghum (Sorghum bicolor) silage. *African Journal of Range & Forage Science*, 35(۱), ۵۵-۶۲. <http://dx.doi.org/10.2989/10.22.119.2018.1458751>
- Santos, J. F., Dias Júnior, G. S., Bitencourt, L. L., Lopes, N. M., Siécola Júnior, S., Silva, J. R. M., ... & Pereira, M. N. (۲۰۱۱). Response of lactating cows to the partial replacement of soybean meal by encapsulated urea. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 63, ۴۲۳-۴۳۲. <https://doi.org/10.1590/S01-9352.11100021>
- Selim, A. S. M., Pan, J., Takano, T., Suzuki, T., Koike, S., Kobayashi, Y., & Tanaka, K. (۲۰۰۴). Effect of ammonia treatment on physical strength of rice straw, distribution of straw particles and particle-associated bacteria in sheep rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 115(۱-۲), ۱۱۷-۱۲۸. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.01.011>

- Sriagtula, R., Karti, P. D. M. H., Abdullah, L., Supriyanto, S., & Astuti, D. A. (۲۰۱۷). Nutrient changes and in vitro digestibility in generative stage of M۱۰-BMR sorghum mutant lines. *Media Peternakan*, 40(۲), ۱۱۱-۱۱۷. <http://dx.doi.org/10.5۳۹۸/medpet.۲۰۱۷,۴۰,۲,۱۱۱>
- Sugoro, I., Wiryawan, K. G., Astuti, D. A., & Wahyono, T. (۲۰۱۵). Gas production and rumen fermentation characteristics of buffalo diets containing by-product from some sorghum varieties. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*, 20(۴), ۲۴۲-۲۴۹. <http://dx.doi.org/10.۱۴۳۳/jitv.v۲۰i۴.۱۲۴۱>
- Taddess, D., Urge, M., Goshu, G., & Goraga, Z. (۲۰۱۶). Evaluation of chemical composition and in vitro dry matter digestibility of sorghum stover ensiled with urea and effective microorganisms (EM) in West Hararghe Zone, Eastern Ethiopia. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 16(۸), ۱۴۷۳-۱۴۸۳. <http://dx.doi.org/10.5۸۲۹/idosi.aejas.۲۰۱۶,۱۶,۸,۱۰۵۱۰۲>
- Taghavi, M. ۲۰۱۲. Effects of different levels of enzyme and urea combination on the nutritional value of forage sorghum silage. Master's thesis, Ministry of Science, Research and Technology, University of Zabol, Faculty of Agriculture.
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (۱۹۹۱). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74(۱۰), ۳۵۸۳-۳۵۹۷. [https://doi.org/10.۳۱۶۸/jds.S۰۰۲۲-۰۳۰۲\(۹۱\)۷۸۵۵۱-۲](https://doi.org/10.۳۱۶۸/jds.S۰۰۲۲-۰۳۰۲(۹۱)۷۸۵۵۱-۲)
- Wahyono, T., Sasongko, W. T., & Sugoro, I. Firsoni (۲۰۲۱). Short Term Iron Overload Injection Alters Reproduction Organ and Sperm Quality in Male Mice. *Adv. Anim. Vet. Sci*, 9(۱), ۷۳-۸۱.
- Wahyono, T., Sugoro, I., Jayanegara, A., Wiryawan, K. G., & Astuti, D. A. (۲۰۱۹). Nutrient profile and in vitro degradability of new promising mutant lines sorghum as forage in Indonesia. *Adv. Anim. Vet. Sci*, 7(۹), ۸۱۰-۸۱۸. <http://dx.doi.org/10.۱۷۵۸۲/journal.aavs/۲۰۱۹/۷,۹,۸۱۰,۸۱۸>
- Yitbarek, M. B., & Tamir, B. (۲۰۱۴). Silage additives. *Open Journal of Applied Sciences*, 2014.
- Yucel, C., & Erkan, M. E. (۲۰۲۰). Evaluation of forage yield and silage quality of sweet sorghum in the eastern Mediterranean region. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 30(۴). <https://doi.org/10.۳۶۸۹۹/JAPS.۲۰۲۰,۴,۰۱۰۸>
- Zougmore, R., Partey, S., Ouédraogo, M., Omitoyin, B., Thomas, T., Ayantunde, A., ... & Jalloh, A. (۲۰۱۶). Toward climate-smart agriculture in West Africa: a review of climate change impacts, adaptation strategies and policy developments for the livestock, fishery and crop production sectors. *Agriculture & Food Security*, 5, ۱-۱۶. <https://doi.org/10.۱۱۸۶/s۴۰۰۶۶-۰۱۶-۰۰۷۵-۳>

Effects of Adding Different Levels of Slow-Release Urea on Nutritional Value, Rumen Degradability and Gas Production Parameters of Second-Cut Sorghum Forage Silage

Radman Bakhtiari*

Ph.D. student in Animal Nutrition, Sari Agricultural
Sciences and Natural Resources University

Alireza Bayat

Associate Professor, Department of Animal Sciences,
Natural Resources Institute Finland

James K Drackley

Professor, Department of Animal Sciences, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA

Abstract

This study evaluated the effect of processing second-cut forage sorghum silage with different levels of slow-release urea on nutritional value, degradability, and gas production parameters. The treatments included: (۱) control (no additive), (۲), (۳), and (۴) supplementation with ۱%, ۲.۵%, and ۵% slow-release urea (on a dry matter (DM) basis), respectively. The results showed that color, pH, and crude protein (CP) were highest in the treatment containing ۵% urea and lowest in the control. Ash, neutral detergent fiber (NDF), and acid detergent fiber (ADF) decreased linearly as urea levels increased. The rapidly degradable fraction, degradation rate constant, and effective DM degradability of the sorghum silages significantly increased in the treatments with ۲.۵% and ۵% urea compared to the other treatments. The potentially degradable fraction of NDF was significantly higher in the ۵% urea treatment than in the other treatments. The potentially degradable fraction and effective degradability of CP were significantly higher in all urea-containing treatments compared to the control. Organic matter digestibility and metabolizable energy were highest in the ۵% urea treatment and lowest in the control treatment. Overall, processing forage sorghum silage with slow-release urea enhances its nutritional value and improves degradability parameters as well as organic matter digestibility.

Keywords: Degradability, Gas Test, Sorghum, Urea