

Ruminal fermentation of diets containing sugarcane bagasse processed with urea and sodium hydroxide at different times under *in vitro* conditions in sheep

Kajal Malekshahi¹, Farshid Fatahnia², Seyed Reza Mousavi³,
Mohammad Shamsollahi^{4*}, Parisa Darat⁵

¹MSc student, ² Professor, ³ Graduated Ph.D student, ⁴ Assistant Prof. and ⁵ Ph.D student of Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ilam University.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

ABSTRACT

Background and Objective: Sugarcane (*Saccharum officinarum*) is one of the most important agricultural products of Khuzestan Province, which is produced in large quantities annually, and its waste can be used in animal nutrition. The present study aimed to investigate the effect of diets containing sugarcane bagasse (SB) treated with urea and sodium hydroxide at different times on *in vitro* rumen fermentation parameters and dry matter (DM) and organic matter (OM) digestibility in sheep.

Materials and Methods: This experiment was conducted as a 2×3 factorial in a completely randomized design with 6 treatments and 3 replicates for each treatment. The SB samples were mixed with solutions containing different levels of urea and sodium hydroxide and stored under anaerobic conditions for 30 or 45 days. Accordingly, the experimental treatments included 1- unprocessed SB stored for 30 days; 2- SB treated with 4% urea solution + 1% sodium hydroxide and stored for 30 days; 3- SB treated with 3% urea solution + 2% sodium hydroxide and stored for 30 days; 4- unprocessed SB stored for 45 days; 5- SB treated with 4% urea solution + 1% sodium hydroxide and stored for 45 days; and 6- SB treated with 3% urea solution + 2% sodium hydroxide and stored for 45 days. Then, using these SB samples, experimental diets were formulated and their fermentation processes and gas production parameters were measured.

Results: The results showed that sugarcane bagasse processed with 3% urea solution + 2% sodium hydroxide solution and stored for 30 days (treatment 3) or 45 days (treatment 6) had lower DM, OM (93.86, 92.91, 93.04, 94.52, 92.78 and 92.89% for treatments 1 to 6, respectively) and neutral detergent insoluble fiber (90.86, 89.07, 87.81, 90.62, 89.00 and 87.63% for treatments 1 to 6, respectively) percentage and higher DM and OM (51.04, 59.19, 64.43, 51.90, 60.60 and 65.50% for treatments 1 to 6, respectively) digestibility compared to other treatments ($P<0.05$). The lowest percentage of crude protein (2.67, 8.32, 8.27, 2.72, 8.27 and 8.47% for treatments 1 to 6, respectively) was observed in unprocessed SB stored for 30 or 45 days ($P<0.05$). The lowest gas production at 24-h (50.46, 60.73, 66.70, 52.63, 62.42, and 67.56 ml for diets 1 to 6, respectively) and 96-h (54.37, 65.95, 73.48, 55.92, 62.00, and 71.30 ml for diets 1 to 6, respectively) and the highest lag time (0.89, 0.24, 0, 0.65, 0.21, and 0 h) were observed in diets containing unprocessed SB stored for 30 (diet 1) or 45 (diet 4) days ($P<0.05$). Methane production, partitioning factor and efficiency of microbial mass production were not affected by the experimental treatments ($P<0.05$).

Conclusion: In general, according to the obtained results, the best

Article history:

Received:

Revised:

Accepted:

Keywords:

Sugarcane bagasse
Processing method and
time
Urea
Sodium hydroxide
Rumen fermentation
parameters

processing method for SB can be suggested with 3% urea solution + 2% sodium hydroxide solution stored for 30 days.

Cite this article: Malekshahi, K., Fatahnia, F., Mousavi, S.R., Shamsollahi, M., Darat, P. (2026). "Ruminal fermentation of diets containing sugarcane bagasse processed with urea and sodium hydroxide at different times under *in vitro* conditions in sheep. *Journal of Ruminant Research*, 13(4),



© The Author(s)



Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تخمیر شکمبه‌ای جیره‌های حاوی باگاس نیشکر فرآوری شده با اوره و هیدروکسید سدیم در زمان‌های مختلف در شرایط برون‌تنی در گوسفند

کزال ملک‌شاهی^۱، فرشید فتاح‌نیا^۲، سید رضاموسوی^۳، محمد شمس الهی^{۴*}، پریسا دارات^۵

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، ^۲ استاد، ^۳ دانش آموزخته دکتری، ^۴ استادیار و ^۵ دانشجوی دکتری گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: گیاه نیشکر (<i>Saccharum officinarum</i>) یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی استان خوزستان است که سالیانه در حجم بسیار انبوهی تولید می‌شود و می‌توان از ضایعات آن در تغذیه دام استفاده کرد. مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر جیره‌های حاوی باگاس نیشکر فرآوری شده با اوره و هیدروکسید سدیم در زمان‌های مختلف فرآوری بر فرآیندهای تخمیر شکمبه‌ای و قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی در شرایط برون‌تنی در گوسفند انجام شد.
تاریخ دریافت: تاریخ ویرایش: تاریخ پذیرش:	مواد و روش‌ها: این آزمایش به صورت فاکتوریل ۲×۳ در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار و ۳ تکرار برای هر تیمار انجام شد. نمونه‌های باگاس با محلول حاوی سطوح مختلف اوره و هیدروکسید سدیم، مخلوط و برای مدت ۳۰ یا ۴۵ روز در شرایط بی‌هوازی نگهداری شدند. بر این اساس، تیمارهای آزمایشی شامل ۱- باگاس نیشکر فرآوری نشده و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز؛ ۲- باگاس نیشکر فرآوری شده با محلول اوره ۴ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز؛ ۳- باگاس نیشکر فرآوری شده با محلول اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز؛ ۴- باگاس نیشکر فرآوری نشده و ذخیره شده به مدت ۴۵ روز؛ ۵- باگاس نیشکر فرآوری شده با محلول اوره ۴ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره شده به مدت ۴۵ روز و ۶- باگاس نیشکر فرآوری شده با محلول اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره شده به مدت ۴۵ روز بودند. سپس با استفاده از این نمونه‌ها، جیره‌های آزمایشی فرموله شدند و فراسنجه‌ها تخمیر و پارامترهای تولید گاز آنها بررسی شد.
واژه‌های کلیدی: باگاس نیشکر فرآوری اوره هیدروکسید سدیم فراسنجه‌های تخمیر شکمبه	یافته‌ها: نتایج نشان داد که باگاس نیشکر فرآوری شده با محلول اوره ۳ درصد + محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز (تیمار ۳) یا ۴۵ روز (تیمار ۶) در مقایسه با سایر تیمارها، درصد ماده خشک، ماده آلی (به ترتیب ۹۳/۸۶، ۹۲/۹۱، ۹۳/۰۴، ۹۴/۵۲، ۹۲/۷۸ و ۹۲/۸۹ درصد برای تیمارهای ۱ تا ۶) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی (به ترتیب ۸۹/۰۷، ۸۷/۸۱، ۹۰/۶۲، ۸۹/۰۰، ۸۷/۶۳ درصد برای تیمار ۱ تا ۶) کمتر و قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی (۵۱/۰۴، ۵۹/۱۹، ۶۴/۴۳، ۵۱/۹۰، ۶۰/۶۰ و ۶۵/۵۰ درصد برای

تیمار ۱ تا ۶) بیشتری داشتند ($P < 0/05$). کمترین درصد پروتئین خام (به ترتیب ۲/۶۷، ۸/۳۲، ۸/۲۷، ۲/۷۲، ۸/۲۷ و ۸/۴۷ درصد برای تیمار ۱ تا ۶) در باگاس نیشکر فرآوری نشده و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز و باگاس نیشکر فرآوری نشده و ذخیره شده به مدت ۴۵ روز مشاهده شد ($P < 0/05$). کمترین تولید گاز ۲۴ ساعت (به ترتیب ۵۰/۴۶، ۶۰/۷۳، ۶۶/۷۰، ۵۲/۶۳، ۶۲/۴۲ و ۶۷/۵۶ میلی لیتر برای جیره ۱ تا ۶) و ۹۶ ساعت (به ترتیب ۵۴/۳۷، ۶۵/۹۵، ۷۳/۴۸، ۵۵/۹۲، ۶۲/۰۰ و ۷۱/۳۰ میلی لیتر برای جیره ۱ تا ۶) و بیشترین زمان تاخیر به جیره های حاوی باگاس نیشکر فرآوری نشده و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز (جیره ۱) و باگاس نیشکر فرآوری نشده و ذخیره شده به مدت ۴۵ روز (جیره ۴) مربوط بود ($P < 0/05$). تولید متان، فاکتور تفکیک شوندگی و بازده تولید توده میکروبی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت ($P > 0/05$).

نتیجه گیری: به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده می توان بهترین فرآوری برای باگاس نیشکر را فرآوری با محلول اوره ۳ درصد + محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز پیشنهاد کرد.

استناد: ملکشاهی، کژال؛ فتاح نیا، فرشید؛ موسوی، سیدرضا؛ شمس الهی، محمد؛ دارات، پریسا. (۱۴۰۴). تخمیر شکمبه ای جیره های حاوی باگاس نیشکر فرآوری شده با اوره و هیدروکسید سدیم در زمان های مختلف در شرایط برون تنی در گوسفند. پژوهش در نشخوارکنندگان، ۱۳(۴).



ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان



مقدمه

بخش بزرگی از هزینه‌های پرورش دام مربوط به تغذیه دام است، به طوری که اگر مدیریت مناسب در مورد هزینه تهیه خوراک دام وجود نداشته باشد، سودآوری واحد تولیدی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. از طرفی، خشکسالی‌های اخیر در ایران نیز منجر به افزایش قیمت تمام‌شده تهیه خوراک شده است. استفاده از پسماندهای محصولات کشاورزی موجود در هر فصل به عنوان منابع خوراکی ارزان‌قیمت به جای مواد خوراکی گران‌قیمت، یکی از راه کارهای مناسب مدیریت تغذیه می‌باشد که باعث تعدیل قیمت تهیه خوراک می‌شود؛ اما به دلیل محدودیت‌هایی مانند فقر مواد مغذی، قابلیت هضم پایین و حجیم بودن این محصولات، کمتر مورد استفاده دامپروران قرار می‌گیرند یا اینکه برخی از دامپروران بدون انجام فرآوری یا استفاده از افزودنی، از آنها استفاده می‌کنند که بر عملکرد دام تأثیر منفی می‌گذارد (Van Kuijk و همکاران، ۲۰۱۶؛ Kraiprom و همکاران، ۲۰۲۲). گیاه نیشکر یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی استان خوزستان است که سالانه در حجم بسیار انبوهی تولید می‌شود و می‌توان از ضایعات آن در تغذیه دام استفاده کرد. بخش قابل توجهی از توده زیستی این گیاه را مخلوطی از الیاف گیاهی تشکیل می‌دهد که قسمت خشبی‌تر (دارای سلولز بیشتر) آن، باگاس و قسمت‌های نرم‌تر که از الیاف کمتری تشکیل شده‌اند را پیت می‌نامند (Aghashahi و همکاران، ۲۰۱۷؛ Pipitpukdee و همکاران، ۲۰۲۰). یکی از مزایای باگاس نیشکر، در دسترس بودن آن در زمان کمبود علوفه و هزینه پایین تهیه آن در مقایسه با سایر منابع معمولی علوفه می‌باشد (De Almeida و همکاران، ۲۰۱۸). متأسفانه باگاس به دلیل داشتن محتوای پروتئین پایین و لیگنین بالا، دارای قابلیت هضم و ارزش تغذیه‌ای پایینی

است. محتوای لیگنین بالای باگاس انرژی قابل‌هضم آن را کاهش می‌دهد زیرا لیگنین، دیواره سلولی را پوشانده و پیوندهای کووالانسی استری را با همی‌سلولز ایجاد می‌کند و مانع از دسترسی میکروارگانیسم‌های شکمبه به لایه‌های زیرین لیگنین می‌شود (Kraiprom و همکاران، ۲۰۲۲؛ Zadrazil و Puniya، ۱۹۹۵). بنابراین باگاس به دلیل ارزش غذایی پایین، به تنهایی در تغذیه دام قابل استفاده نمی‌باشد؛ اما می‌توان با فرآوری، ارزش تغذیه‌ای آن را بهبود داد (So و همکاران، ۲۰۲۲). روش‌های مختلفی برای فرآوری پسماندهای کشاورزی به منظور افزایش قابلیت هضم آن‌ها استفاده می‌شود. از این روش‌ها می‌توان به روش‌های فیزیکی، شیمیایی، فیزیکوشیمیایی، بیولوژیکی و غیره اشاره کرد (Chaudhry، ۲۰۰۰؛ Rezaii و همکاران، ۲۰۲۳). مواد شیمیایی مانند اوره و هیدروکسید سدیم به طور وسیعی برای فرآوری خوراک‌های خشبی استفاده می‌شود، اما در ارتباط با باگاس مطالعات اندکی درباره ویژگی‌های آزمایشگاهی فرآوری آن با اوره و هیدروکسید سدیم وجود دارد. ترکیباتی مانند اوره و هیدروکسید سدیم، محیط قلیایی لازم برای شکستن پیوندهای لیگنینی را فراهم می‌کنند و دسترسی میکروارگانیسم‌های شکمبه به لایه‌های زیرین لیگنین (سلولز و همی‌سلولز) را افزایش داده و بنابراین قابلیت هضم افزایش می‌یابد (Khawar و همکاران، ۲۰۲۴). از آنجایی که محتوای نیتروژن باگاس پایین است، مصرف آن در دام باعث ایجاد تعادل منفی از نظر پروتئین می‌شود که می‌توان توسط فرآوری با اوره، ارزش تغذیه‌ای آن را بهبود بخشید. همچنین اوره منبع مناسب نیتروژن برای میکروارگانیسم‌های شکمبه است و با تولید پروتئین میکروبی می‌تواند به بهبود عملکرد دام کمک کند (Van soest، ۱۹۹۴). یکی از عواملی که ممکن است فرآوری شیمیایی

باگاس را تحت تأثیر قرار دهد، مدت زمان فرآوری آن است که تاکنون کار مشابهی در این مورد انجام نشده است. لذا در این مطالعه، دو زمان فرآوری ۳۰ و ۴۵ روز بررسی شد. ترکیب شیمیایی و قابلیت هضم، عوامل عمده تعیین ارزش غذایی خوراک‌ها می‌باشند که معمولاً خوراک‌ها بر اساس این دو خصوصیت توصیف می‌شوند. از آنجایی که غلظت مواد مغذی و قابلیت استفاده از فرآورده‌های فرعی زراعی بسیار متغیر است، لذا شناخت ارزش غذایی منابع خوراکی و تهیه جدول‌های استاندارد در هر منطقه ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین در این مطالعه، تخمیر شکمبه‌ای جیره‌های حاوی باگاس فرآوری شده با محلول اوره و محلول هیدروکسید سدیم در دو زمان مختلف، به مدت ۳۰ روز و ۴۵ روز در شرایط برون‌تنی بررسی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

تیمارهای آزمایشی: نمونه باگاس مورد نیاز از شرکت کشت و صنعت هفت‌تپه واقع در استان خوزستان تهیه شد. نمونه‌برداری به شکل تصادفی از قسمت‌های مختلف یک توده باگاس به عمق حدود ۴۰ سانتی‌متر از ۱۰ نقطه مختلف انجام شد. نمونه‌ها با هم مخلوط شدند و در کیسه‌های نایلونی به آزمایشگاه تغذیه دام دانشگاه ایلام انتقال یافتند، سپس در معرض هوا خشک شدند. نمونه‌های خشک شده توسط آسیاب دارای الک یک میلی‌لیتری خرد شدند. محلول‌های شیمیایی برای فرآوری شامل محلول اوره ۳ و ۴ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۱ و ۲ درصد بودند. ۶ نمونه یک کیلوگرمی باگاس برای هر کدام از روش‌های فرآوری استفاده شد به طوری که هر کیلوگرم باگاس با یک لیتر محلول شیمیایی مخلوط شد (Gunun و همکاران، ۲۰۱۶). برای نمونه شاهد نیز از ۶ نمونه یک کیلوگرمی باگاس استفاده شد و هر

نمونه باگاس شاهد با یک لیتر آب مقطر، بدون اوره یا هیدروکسید سدیم مخلوط شد. پس از مخلوط کردن هر یک کیلوگرم باگاس با هر یک لیتر محلول شیمیایی مربوطه، همه نمونه‌ها به داخل نایلون‌های تیره‌رنگ و دو لایه منتقل و کاملاً فشرده شدند تا هوای داخل کیسه به طور کامل خارج شود، سپس درب هر کیسه به خوبی بسته شد تا هوا وارد آن نشود. ۳ کیسه از هر روش فرآوری با اوره یا هیدروکسید سدیم به همراه ۳ کیسه حاوی نمونه شاهد به مدت ۳۰ روز و بقیه کیسه‌ها به مدت ۴۵ روز در یک مکان با شرایط کاملاً یکسان سیلو شدند. پس از پایان زمان ۳۰ یا ۴۵ روز، نمونه‌ها از داخل کیسه‌های نایلونی خارج و به مدت ۵ روز در معرض هوا و در سایه، خشک شدند. سپس محتویات هر کیسه برای تعیین ترکیب شیمیایی و آزمون تولید گاز ذخیره شدند.

جیره‌های آزمایشی برای بره‌های پرواری (NRC، ۲۰۰۷). تهیه و آماده شدند. مواد خوراکی تشکیل‌دهنده و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی در جدول ۱ آمده است. جیره‌های آزمایشی شامل جیره ۱- جیره شاهد (جیره حاوی باگاس فرآوری نشده و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز)؛ ۲- جیره شاهد (جیره حاوی باگاس فرآوری نشده و ذخیره شده به مدت ۴۵ روز)؛ ۳- جیره حاوی باگاس فرآوری شده با محلول اوره ۴ درصد و هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز، ۴- جیره حاوی باگاس فرآوری شده با محلول اوره ۴ درصد و هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره شده به مدت ۴۵ روز، ۵- جیره حاوی باگاس فرآوری شده با محلول اوره ۳ درصد و هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز و ۶- جیره حاوی باگاس فرآوری شده با محلول اوره ۳ درصد و هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره شده به مدت ۴۵ روز بودند.

تخمیر شکمبه‌ای جیره‌های حاوی باگاس نیشکر فراوری، ... / کژال ملک‌شاهی و همکاران

اندازه‌گیری ترکیب شیمیایی: درصد ماده خشک، ماده آلی، خاکستر و پروتئین خام نمونه‌های باگاس بر اساس روش‌های استاندارد (AOAC، ۲۰۰۷) همکاران، (۱۹۹۱) استفاده شد.

اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری لیاف نامحلول در شوینده خنثی نمونه‌های باگاس از روش VanSoest و

جدول ۱- مواد خوراکی تشکیل‌دهنده و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی حاوی باگاس نیشکر فراوری شده با روش‌های مختلف در زمان‌های متفاوت

Table 1- Feed ingredients and chemical composition of experimental diets containing sugarcane bagasse treated by different methods at different times

زمان فراوری ۴۵ روزه			زمان فراوری ۳۰ روزه		
Processing time 45 days			Processing time 30 days		
Urea 3% + Sodium Hydroxide 2% اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد	Urea 4% + Sodium Hydroxide 1% اوره ۴ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد	No additives بدون افزودنی	Urea 3% + Sodium Hydroxide 2% اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد	Urea 4% + Sodium Hydroxide 1% اوره ۴ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد	No additives بدون افزودنی
Ingredients (percentage of DM) اقلام خوراکی (درصد از ماده خشک)					
15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
4.1	4.1	3.8	4.1	4.1	3.8
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
0.8	0.8	1.1	0.8	0.8	1.1
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
8.0	8.0	8.0	8.0	8.2	8.0
3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Chemical composition (% of DM) ترکیب شیمیایی (درصد از ماده خشک)					
2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36
14.1	13.9	13.9	14.1	13.9	13.9
34.6	34.7	34.6	34.6	34.7	34.6
4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
34.6	34.7	34.6	34.6	34.7	34.6
1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

^۱ در هر کیلوگرم از مکمل مواد معدنی و ویتامین، ۵۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A، ۱۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D₃، ۱۰۰ میلی‌گرم ویتامین E، ۱۹۶ گرم کلسیم، ۹۶ گرم فسفر، ۱۹ گرم منیزیم، ۴۶ گرم سدیم، ۲ گرم منگنز، ۳ گرم آهن، ۳ گرم مس، ۳ گرم روی، ۱۰۰ میلی‌گرم کبالت، ۱۰۰

¹ Per kilogram of mineral and vitamin supplement, there were 500,000 international units of vitamin A, 100,000 international units of vitamin D3, 100 mg of vitamin E, 196 g of calcium, 96 g of phosphorus, 19 g of magnesium, 46 g of sodium, 2 g of manganese, 3 g of iron, 3 g of copper, 3 g of zinc, 100 mg of cobalt, 100 mg of iodine, 1 mg of selenium, and 400 mg of antioxidants.

فراسنجه های تولید گاز: برای تعیین فراسنجه های تولید گاز، مایع شکمه از ۲ رأس میش داشتی بالغ با استفاده از لوله مری جمع آوری شد. نمونه های مایع شکمه با هم مخلوط و توسط فلاسک بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه، مایع شکمه پس از صاف شدن توسط ۴ لایه پارچه به داخل یک ارلن خلاء منتقل و با افزودن دی اکسید کربن شرایط بی هوازی ایجاد شد. برای اندازه گیری فراسنجه های تولید گاز از روش های Makkar (۲۰۱۰)، Blummel و همکاران (۱۹۹۷) و Menke و همکاران (۱۹۷۹) استفاده شد. برای آزمون تولید گاز ۲۴ ساعت، مقدار ۵۰۰ میلی گرم و آزمون تولید گاز ۹۶ ساعت، مقدار ۲۰۰ میلی گرم وزن خشک از هر کدام از جیره های آزمایشی به درون بطری های شیشه ای ۱۲۰ میلی لیتری مخصوص تولید گاز ریخته شدند. ۳ بطری (تکرار) حاوی تیمار آزمایشی و ۳ بطری بدون نمونه خوراک به عنوان بلانک در نظر گرفته شد. لازم به توضیح است که آزمون تولید گاز ۲۴ و ۹۶ ساعت، ۲ بار با فاصله یک هفته انجام شد، به گونه ای که در نهایت برای هر جیره آزمایشی در مجموع ۶ تکرار در نظر گرفته شد.

برای تهیه بزاق مصنوعی از بافر بیکربنات سدیم، مکمل مواد معدنی پرمصرف، مکمل مواد معدنی کم مصرف، رزاورین، محلول احیاکننده و آب مقطر استفاده شد. ۴۰ میلی لیتر از محیط کشت (مخلوط مایع شکمه و بزاق مصنوعی) به داخل هر بطری حاوی نمونه خوراک و بطری های خالی (بلانک) ریخته شد و درب هر بطری توسط درپوش لاستیکی و فلزی و با استفاده از ابزار پرس درب ویال، محکم بسته شد و

برای انکوباسیون به داخل انکوباتور با دمای ۳۹ درجه سانتی گراد منتقل شد. سپس برای آزمون تولید گاز ۲۴ ساعت، فشار گاز درون بطری ها در فواصل زمانی ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۲۰ و ۲۴ ساعت و برای آزمون تولید گاز ۹۶ ساعت در فواصل زمانی ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۲۴، ۳۰، ۳۶، ۴۸، ۵۴، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از انکوباسیون توسط دستگاه فشارسنج (مدل TESTO 512) ثبت شد. پس از ثبت گاز در هر زمان، فشار گاز توسط سرسوزن خارج شد و فشار گاز بر حسب پاسکال توسط محاسبات ریاضی تبدیل به میلی لیتر شد (Blummel و همکاران، ۱۹۹۹). میانگین حجم گاز بلانک (ml) - مجموع حجم تولید گاز خوراک در زمان های مختلف انکوباسیون (ml) = حجم تولید گاز خالص (ml)

اندازه گیری تجزیه پذیری ماده خشک و ماده آلی: پس از اتمام آزمون تولید گاز ۲۴ ساعت و ثبت گاز پایانی، محتویات بطری ها به داخل کروسیل های از قبل توزین شده منتقل و در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. با فرض اینکه شوینده خنثی توده میکروبی را به طور کامل خارج می کند، محتویات کروسیل های خشک شده توسط دستگاه اندازه گیری الیاف خام در محلول شوینده خنثی (به مدت یک ساعت) جوشیده شدند؛ سپس مجدداً در آون در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و وزن آن ها ثبت شد. اختلاف وزن کروسیل پس از آون و کروسیل خالی، به عنوان ماده خشک تجزیه نشده (a) در نظر گرفته شد. درصد تجزیه پذیری ماده خشک به شکل زیر محاسبه شد (Makkar، ۲۰۱۰):

تخمین راندمان تولید توده میکروبی: راندمان تولید توده میکروبی بعد از پایان زمان انکوباسیون ۲۴ ساعت (۵۰۰ میلی گرم نمونه خشک در ۴۰ میلی لیتر محیط کشت) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$= \text{راندمان تولید توده میکروبی } (\%) \\ = \frac{[24/34 \times \text{تولید خالص گاز (میلی لیتر)}] - \text{ماده آلی تجزیه شده (میلی گرم)}}{\text{ماده آلی تجزیه شده (میلی گرم)}} \times 100$$

۲/۳۴: فاکتور استوکیومتری

اندازه‌گیری تولید گاز متان: در این روش، بعد از پایان انکوباسیون ۲۴ ساعت نمونه در مایع شکمبه و بافر فسفات، تولید گاز نهایی (پایان ۲۴ ساعت) ثبت شد. سپس هیدروکسید سدیم ۱۰ مولار به محتویات هر بطری شیشه‌ای اضافه شد تا گاز دی‌اکسید کربن را جذب کند. بعد از جذب گاز دی‌اکسید کربن (بعد از حدود ۱۰ دقیقه)، گاز باقیمانده در بطری شیشه‌ای معادل گاز متان بود (Fievez و همکاران، ۲۰۰۵).

حجم گاز باقیمانده در بطری شیشه‌ای ۱۰ دقیقه بعد از تزریق هیدروکسید سدیم ۱۰ مولار = تولید گاز متان (میلی لیتر)

تولید گاز متان بلانک - تولید گاز متان نمونه = تولید گاز متان خالص (میلی لیتر)

اندازه‌گیری پارامترهای تولید گاز ۹۶ ساعت: پارامترهای پتانسیل تولید گاز (A)، نرخ تولید گاز (C) و زمان تأخیر (Lag time) مربوط به تولید گاز ۹۶ ساعت با استفاده از نرم‌افزار SAS (۲۰۰۶) و روش مک‌دونالد (McDonald، ۱۹۸۱) محاسبه شدند.

طرح آزمایشی و آنالیز آماری داده‌ها: آنالیز آماری داده‌ها به صورت فاکتوریل ۲×۳ در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار SAS (۲۰۰۶) انجام شد. فاکتور اول شامل نوع روش فراوری (سطوح متفاوت اوره و هیدرواکسید سدیم) و فاکتور دوم شامل مدت زمان فراوری (۳۰ یا ۴۵ روز) بود. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از روش

تجزیه‌پذیری ماده خشک (%)

$$\text{ماده خشک تجزیه نشده (میلی گرم)} - \text{ماده خشک ریخته شده در بطری (میلی گرم)} \\ = \frac{\text{ماده خشک ریخته شده در بطری (میلی گرم)}}{\text{ماده خشک ریخته شده در بطری (میلی گرم)}} \times 100$$

۱۰۰۰ × [وزن کروسبیل خالی (گرم) - وزن کروسبیل حاوی باقیمانده (گرم)] = ماده خشک تجزیه نشده (میلی گرم)

۵۰۰ میلی گرم × (۱۰۰ ÷ درصد ماده خشک نمونه خوراک) = ماده خشک ریخته شده در بطری (میلی گرم)

برای اندازه‌گیری تجزیه‌پذیری ماده آلی، پس از پایان مرحله آون‌گذاری و توزین کروسبیل‌ها، کروسبیل‌ها در داخل کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت خاکستری شدند. پس از انتقال به درون دسیکاتور، وزن آن‌ها ثبت و از وزن کروسبیل خالی کم شد تا مقدار خاکستر (b) به دست آید. سپس مقدار ماده خشک تجزیه نشده (a) از مقدار خاکستر (b) کم شد تا ماده آلی تجزیه نشده (a-b) به دست آید. برای به دست آوردن مقدار و درصد ماده آلی تجزیه شده در طی ۲۴ ساعت باید مقدار ماده آلی ریخته شده در بطری (c) محاسبه شود:

ماده خشک ریخته شده در بطری (میلی گرم) × (۱۰۰ ÷ درصد ماده آلی نمونه خوراک) = ماده آلی ریخته شده در بطری (C) (میلی گرم)

(a-b) - c = ماده آلی تجزیه شده (میلی گرم)

(a-b) = ماده آلی تجزیه نشده

= تجزیه‌پذیری ماده آلی (%)

$$\text{ماده آلی تجزیه نشده (میلی گرم)} - \text{ماده آلی ریخته شده در بطری (میلی گرم)} \\ = \frac{\text{ماده آلی ریخته شده در بطری (میلی گرم)}}{\text{ماده آلی ریخته شده در بطری (میلی گرم)}} \times 100$$

اندازه‌گیری فاکتور تفکیک شونده: فاکتور تفکیک از نسبت مقدار ماده آلی تجزیه شده (میلی گرم) و حجم گاز خالص ۲۴ ساعت (میلی لیتر) به دست آمد (Makkar، ۲۰۱۰).

$$\text{ماده آلی تجزیه شده (میلی گرم)} \\ \text{حجم گاز خالص (میلی لیتر)} = \text{فاکتور تفکیک} \\ (a-b) - c = \text{ماده آلی تجزیه شده (میلی گرم)}$$

توکی و در سطح آماری ۵ درصد انجام شد. مدل آماری طرح به صورت زیر بود:

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + T_j + (P \times T)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

در این مدل: P_i : اثر روش فرآوری، T_j : اثر زمان فرآوری، $(P \times T)_{ij}$: اثر متقابل روش فرآوری در زمان فرآوری و ε_{ijk} : اثر خطای آزمایشی بود.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی باگاس: اثر فرآوری با محلول اوره و هیدروکسید سدیم و مدت زمان فرآوری بر ترکیب شیمیایی باگاس در جدول ۲ آمده است. هیچکدام از ترکیبات شیمیایی تحت تأثیر زمان فرآوری قرار نگرفتند ($P > 0.05$)، اما نوع فرآوری بر ترکیبات شیمیایی تأثیرگذار بود ($P < 0.05$). به طوری کلی، فرآوری‌ها در مقایسه با عدم فرآوری باعث کاهش درصد ماده خشک، ماده آلی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی و افزایش درصد پروتئین خام باگاس شد. بین نمونه‌های باگاس فرآوری‌شده تفاوت معنی‌داری از نظر درصد ماده آلی، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی وجود نداشت ($P > 0.05$)، هر چند که درصد ماده آلی، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی در باگاس فرآوری‌شده با محلول اوره ۳ درصد + محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز (روش ۳) یا ۴۵ روز (روش ۶) در مقایسه با سایر تیمارها به طور عددی کمتر بود.

فرآوری‌ها باعث کاهش محتوای ماده خشک و ماده آلی باگاس شد. نتایج مطالعات مختلف (Ribeiro و همکاران، ۲۰۲۰؛ Zhang و همکاران، ۲۰۲۰؛ Wanapat و همکاران، ۲۰۰۹؛ Chen و همکاران، ۲۰۰۸؛ Van Soest، ۲۰۰۶) نشان داد که فرآوری خوراک‌های خشبی با محلول‌های شیمیایی مانند هیدروکسید سدیم یا اوره به دلیل اثر شیمیایی این محلول‌ها بر بافت گیاه باعث اتلاف و خارج شدن بخشی از ترکیبات گیاه و بنابراین کاهش محتوای ماده

خشک و ماده آلی خوراک می‌شود. افزایش درصد خاکستر باگاس فرآوری‌شده را می‌توان به خروج بخشی از ترکیبات آلی باگاس در اثر فرآوری و وجود عنصر سدیم در محلول هیدروکسید سدیم ارتباط داد. استفاده از مواد شیمیایی دارای مواد معدنی مانند هیدروکسید سدیم برای فرآوری خوراک باعث افزایش محتوای خاکستر خوراک خواهد شد (Giyasvand و همکاران، ۲۰۱۲). مطالعات مختلف نشان داد که فرآوری باگاس نیشکر با محلول اوره ۴ درصد (Gunun و همکاران، ۲۰۱۶) یا محلول اوره ۵ درصد (Dehghani و همکاران، ۲۰۲۱) و فرآوری سایر کاه‌ها با محلول هیدروکسید سدیم (Chen و همکاران، ۲۰۰۸) یا اوره (Wang و همکاران، ۲۰۰۷) باعث کاهش درصد NDF و ADF شد. کاهش درصد NDF باگاس در آزمایش حاضر را می‌توان به اثر شیمیایی محلول اوره و هیدروکسید سدیم بر دیواره سلولی باگاس به ویژه لیگنین و حذف عمده لیگنین آن و همچنین اتلاف بخش‌هایی از ماده آلی باگاس مانند همی سلولز ارتباط داد (Babaei و همکاران، ۲۰۱۶؛ Van Soest، ۲۰۰۶). مطابق با نتایج آزمایش حاضر، در آزمایش Dehghani و همکاران، (۲۰۲۱) و آزمایش Hameed و همکاران (۲۰۱۲)، درصد پروتئین خام در باگاس نیشکر فرآوری‌شده با محلول اوره افزایش یافت. افزایش درصد پروتئین خام باگاس فرآوری‌شده با محلول اوره در آزمایش حاضر به دلیل وجود عنصر نیتروژن در ساختمان اوره و بنابراین افزایش درصد نیتروژن و پروتئین خام باگاس می‌باشد. ترکیبات بازی می‌تواند اتصالات استری بین لیگنین، سلولز و همی سلولز را بشکنند. هیدروکسید سدیم در مقایسه با اوره دارای فعالیت شیمیایی و قلیایی قوی‌تری می‌باشد (Van Soest، ۲۰۰۶)، لذا اثر فرآوری هیدروکسید سدیم بر افزایش حلالیت و اتلاف ترکیبات شیمیایی باگاس در مقایسه با اوره بیشتر بود.

جدول ۲- اثر روش فراوری و مدت زمان فراوری بر ترکیب شیمیایی باگاس نیشکر*
Table 2- Effect of processing method and processing time on the chemical composition of sugarcane bagasse*

زمان × فراوری Time × Processing	P-value	۴۵ روز فراوری 45 days processing			۳۰ روز فراوری 30 days processing			صفت Parameters
		بدون افزودنی No additives			بدون افزودنی No additives			
		زمان Time	فراوری Processing	SEM	زمان Time	فراوری Processing	SEM	
0.01	0.0001	0.48	0.33	اوره ۴ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد Urea 4% + Sodium Hydroxide 1%	اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد Urea 3% + Sodium Hydroxide 2%	95.02 ^b	94.38 ^{bc}	ماده خشک Dry matter (%)
0.28	0.0001	0.31	0.14	اوره ۴ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد Urea 4% + Sodium Hydroxide 1%	اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد Urea 3% + Sodium Hydroxide 2%	93.86 ^b	92.91 ^c	ماده آلی Organic matter (%)
0.64	0.0001	0.53	0.13	اوره ۴ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد Urea 4% + Sodium Hydroxide 1%	اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد Urea 3% + Sodium Hydroxide 2%	2.67 ^b	8.32 ^a	پروتئین خام Crude protein (%)
0.98	0.0003	0.70	0.51	اوره ۴ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد Urea 4% + Sodium Hydroxide 1%	اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد Urea 3% + Sodium Hydroxide 2%	90.86 ^a	89.07 ^{bc}	الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fibers (%)
0.0001	0.0001	0.31	0.14	اوره ۴ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد Urea 4% + Sodium Hydroxide 1%	اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد Urea 3% + Sodium Hydroxide 2%	6.14 ^b	7.08 ^a	خاکستر Ash (%)

Values on the same row with different superscripts differed ($P < 0.05$).

مقادیر هر ردیف با حروف انگلیسی متفاوت در سطح آماری ۰/۰۵ با هم تفاوت دارند.

فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای جیره‌های آزمایشی: جدول ۳، فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای جیره‌های حاوی باگاس فرآوری شده با روش‌های مختلف (اوره یا هیدروکسید سدیم) در زمان‌های متفاوت (۳۰ یا ۴۵ روز) را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که تولید گاز تجمعی ۲۴ ساعت جیره‌های آزمایشی تحت تأثیر اثر زمان و اثرات متقابل زمان و فرآوری قرار نگرفت ($P > 0.05$)، اما نوع فرآوری تأثیرگذار بود ($P < 0.05$). به طور کلی، فرآوری باگاس با محلول اوره یا هیدروکسید سدیم باعث افزایش تولید گاز تجمعی ۲۴ ساعت جیره‌های حاوی باگاس فرآوری شده شد ($P < 0.05$). در بین جیره‌های آزمایشی، کمترین تولید گاز تجمعی ۲۴ ساعت مربوط به جیره‌های شاهد بود ($P < 0.05$). اثر زمان، نوع فرآوری و اثرات متقابل زمان و نوع فرآوری برای تولید گاز متان، فاکتور تفکیک شوندگی و بازده تولید توده میکروبی جیره‌های آزمایشی معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی جیره‌های آزمایشی تحت تأثیر اثر زمان و اثرات متقابل زمان و فرآوری قرار نگرفت ($P > 0.05$)، اما نوع فرآوری بر قابلیت هضم ماده خشک جیره‌های آزمایشی تأثیرگذار بود ($P < 0.05$). به طور کلی، فرآوری باگاس با محلول اوره یا هیدروکسید سدیم باعث افزایش قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی جیره‌های حاوی باگاس فرآوری شده شد. در بین جیره‌های آزمایشی، بیشترین قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی مربوط به جیره دارای باگاس فرآوری شده با محلول اوره ۳ درصد + محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز (روش ۳) و ۴۵ روز (روش ۶) بودند ($P < 0.05$).

مطابق با نتایج آزمایش حاضر، فرآوری باگاس

نیشکر با محلول اوره ۵ درصد (Dehghani و همکاران، ۲۰۲۱)، فرآوری باگاس نیشکر با محلول اوره + هیدروکسید کلسیم ۲ درصد (Gunun و همکاران، ۲۰۱۶) و فرآوری کاه جو (Bachmann و همکاران، ۲۰۲۲)، نخود فرآوری شده با محلول هیدروکسید سدیم + پراکسید هیدروژن (Soltani و Naseri و همکاران، ۲۰۱۸)، کاه برنج (Wang و همکاران، ۲۰۰۷؛ Liu و همکاران، ۲۰۰۲) یا کاه گندم (Singh و Jackson، ۱۹۷۱) با محلول هیدروکسید سدیم باعث افزایش قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی شد. تولید گاز در کاه کنجد (Malekhhahi و همکاران، ۲۰۱۰) و کاه برنج (Liu و همکاران، ۲۰۰۲) فرآوری شده با محلول هیدروکسید سدیم در مقایسه با تیمار شاهد بالاتر بود. محلول‌های هیدروکسید سدیم و اوره احتمالاً از طریق تخریب پیوندهای استری بین لیگنین، سلولز و همی سلولز باعث افزایش دسترسی آسان میکروارگانیزم‌های شکمبه به لایه‌های زیرین لیگنین (سلولز و همی سلولز) و افزایش تخمیر و تولید گاز و در نتیجه افزایش تجزیه پذیری و قابلیت هضم ماده خشک یا ماده آلی شد (Carvalho و همکاران، ۲۰۱۳؛ Wanapat، ۱۹۹۰). اوره به عنوان منبع نیتروژن برای رشد میکروارگانیزم‌های شکمبه و بنابراین تولید پروتئین میکروبی، می‌تواند باعث افزایش توانایی باکتری‌های شکمبه در هضم خوراک شود که احتمالاً فرآوری باگاس با محلول اوره از این طریق نیز می‌تواند در افزایش قابلیت هضم باگاس نقش داشته باشد (Alemzadeh و همکاران، ۲۰۰۱). بالا بودن محتوای الیاف شوینده اسیدی و به ویژه خنثی بر قابلیت هضم ماده خشک اثر منفی دارد (Selim و همکاران، ۲۰۰۴).

جدول ۳- فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای جیره‌های حاوی باگاس فراوری شده با روش‌های مختلف* در زمان‌های متفاوت

Table 3- Ruminant fermentation parameters of diets containing bagasse processed by different methods *at different times					
صفت Parameters	۳۰ روز فرآوری		۴۵ روز فرآوری		P-value
	بدون افزودنی No additives		بدون افزودنی No additives		
تولید گاز تجمعی ۲۴ ساعت (میلی لیتر در ۵۰۰ میلی گرم ماده خشک) 24-h cumulative gas production (ml/500 mg DM)	اوره ۴ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد Urea 4% + Sodium Hydroxide 1%	60.73 ^a	اوره ۴ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد Urea 4% + Sodium Hydroxide 1%	62.42 ^a	0.44
	اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد Urea 3% + Sodium Hydroxide 2%	66.70 ^a	اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد Urea 3% + Sodium Hydroxide 2%	67.56 ^a	0.0001
تولید گاز متان (میلی لیتر در ۵۰۰ میلی گرم ماده خشک) Methane gas production (ml/500 mg DM)	8.34	8.50	8.85	7.23	0.67
	8.34	8.96	8.85	7.23	0.92
فاکتور تفکیک شوندگی میکروبی (درصد) Partitioning factor Microbial mass production efficiency (%)	4.68	4.72	4.45	4.50	0.44
	55.46	54.43	52.28	52.57	0.83
قابلیت هضم ماده خشک (درصد) Dry matter digestibility (%)	50.61 ^c	57.94 ^b	51.38 ^c	64.60 ^a	0.20
	51.04 ^d	59.19 ^c	51.90 ^d	65.50 ^a	0.0001
قابلیت هضم ماده آلی (درصد) Organic matter digestibility (%)	51.04 ^d	59.19 ^c	51.90 ^d	60.60 ^{bc}	0.27
	51.04 ^d	64.43 ^{ab}	51.90 ^d	65.50 ^a	0.0001

مقادیر هر ردیف با حروف انگلیسی متفاوت در سطح آماری ۰/۰۵ با هم تفاوت دارند.

Values on the same row with different superscripts differed (P<0.05).

در مطالعه ما، با کاهش درصد الیاف نامحلول در شوینده خشتی باگاس (جدول ۲)، قابلیت هضم ماده خشک جیره افزایش یافت. به طور کلی در این مطالعه، اثر فراآوری باگاس با محلول هیدروکسید سدیم بر قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی به دلیل فعالیت شیمیایی قوی تر در مقایسه با اوره بیشتر بود. در آزمایش حاضر با توجه به اینکه تولید گاز و قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی تحت تأثیر زمان فراآوری یا اثر متقابل زمان و فراآوری قرار نگرفتند و فقط نوع فراآوری بر این پارامترها تأثیرگذار بود؛ بنابراین می توان به جای مدت زمان فراآوری ۴۵ روز، مدت زمان فراآوری ۳۰ روز را برای فراآوری باگاس با محلول هیدروکسید سدیم و اوره پیشنهاد کرد.

پارامترهای تولید گاز جیره های آزمایشی:

جدول ۴، پارامترهای تولید گاز جیره های حاوی باگاس فراآوری شده با روش های مختلف (هیدروکسید سدیم یا اوره) در زمان های متفاوت (۳۰ یا ۴۵ روز) را نشان می دهد. به طور کلی، نتایج نشان داد که فراآوری ها در مقایسه با عدم فراآوری باعث افزایش تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت و پتانسیل تولید گاز (A) و کاهش زمان تأخیر (lag time) شد ($P < 0/05$). تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت و تولید گاز بالقوه (A) تحت تأثیر زمان فراآوری قرار نگرفت ($P > 0/05$)، اما تحت تأثیر نوع فراآوری و اثرات متقابل زمان و نوع فراآوری قرار گرفت ($P < 0/05$). بیشترین تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت و تولید گاز بالقوه (A) مربوط به جیره حاوی باگاس فراآوری شده با محلول اوره ۳ درصد + محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز (روش ۳) یا ۴۵ روز (روش ۶) و کمترین تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت و تولید گاز بالقوه (A) مربوط به جیره های شاهد بودند ($P < 0/05$). نرخ تولید گاز (C) تحت تأثیر اثرات متقابل زمان و فراآوری قرار نگرفت ($P > 0/05$)، اما

تحت تأثیر اثر زمان فراآوری و اثر نوع فراآوری قرار گرفت ($P < 0/05$). به طوری که جیره حاوی باگاس فراآوری شده با محلول اوره ۴ درصد + محلول هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره شده به مدت ۴۵ روز (روش ۵) و جیره حاوی باگاس فراآوری شده با محلول اوره ۳ درصد + محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره شده به مدت ۴۵ روز (روش ۶) در مقایسه با جیره شاهد (دارای باگاس فراآوری نشده و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز)، نرخ تولید گاز بیشتری داشتند ($P < 0/05$). زمان تأخیر (lag time) تحت تأثیر اثر زمان فراآوری و اثرات متقابل زمان و فراآوری قرار نگرفت ($P > 0/05$)، اما نوع فراآوری بر زمان تأخیر (lag time) تأثیرگذار بود ($P < 0/05$). بیشترین زمان تأخیر (lag time) مربوط به جیره های شاهد بود ($P < 0/05$). بین فراآوری ها از نظر زمان تأخیر (lag time) تفاوت معنی داری وجود نداشت ($P > 0/05$).

تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت بیانگر مجموع گاز تولیدی توسط میکروارگانیسم های شکمبه در این بازه زمانی خاص است که برای ارزیابی تخمیرپذیری، ارزش غذایی خوراک ها و بررسی فعالیت جمعیت میکروبی استفاده می شود (DaSilva و همکاران، ۲۰۱۵). مطابق با نتایج آزمایش حاضر، در مطالعه Manyuchi و همکاران (۱۹۹۲)، تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت در کاه جو فراآوری شده با محلول آمونیاک در مقایسه با کاه فراآوری نشده بیشتر بود. در مطالعه حاضر، فراآوری باگاس با محلول اوره و هیدروکسید سدیم احتمالاً از طریق تخریب ساختمان الیاف از جمله لیگنین که منجر به افزایش دسترسی آنزیم های میکروبی به لایه های زیرین لیگنین یعنی سلولز و همی سلولز می شود (Van soest، ۲۰۰۶)، باعث افزایش میزان تخمیرپذیری باگاس و افزایش تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت و افزایش تولید گاز بالقوه جیره های حاوی باگاس فراآوری شده شد.

جدول ۴- پارامترهای تولید گاز جیره‌های حاوی باگاس فراوری‌شده با روش‌های مختلف^۱ در زمان‌های متفاوت

Table 4- Gas production parameters of diets containing bagasse processed by different methods¹ at different times

P-value	۴۵ روز فرآوری				۳۰ روز فرآوری				صفت Parameters
	بدون افزودنی No additives		اوره ۴ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد Urea 4% + Sodium Hydroxide 1%		بدون افزودنی No additives		اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد Urea 3% + Sodium Hydroxide 2%		
زمان × فرآوری Time × Processing	فرآوری Processing	زمان Time	SEM						
0.03	0.0001	0.07	0.94	71.30 ^a	62.00 ^c	55.92 ^d	73.48 ^a	65.95 ^b	54.37 ^d
0.02	0.0001	0.81	0.06	5.57 ^a	4.55 ^b	4.13 ^c	5.27 ^a	4.75 ^b	3.89 ^d
0.61	0.03	0.01	0.01	0.15 ^b	0.17 ^b	0.18 ^{ab}	0.18 ^{ab}	0.18 ^{ab}	0.22 ^a
0.36	0.0001	0.23	0.08	0.00 ^b	0.21 ^b	0.65 ^a	0.00 ^b	0.24 ^b	0.89 ^a
تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت (میلی لیتر در ۲۰۰ میلی گرم ماده خشک) 96-h cumulative gas production (ml/200 mg DM) A (تولید گاز بالقوه؛ میلی لیتر در ۲۰۰ میلی گرم ماده خشک) A (Gas production potential ml/200 mg DM) C (نرخ تولید گاز؛ میلی لیتر در ساعت) C (gas production rate; milliliters/h) زمان تأخیر (ساعت) Lag time (h)									

مقادیر هر ردیف با حروف انگلیسی متفاوت در سطح آماری ۰/۰۵ با هم تفاوت دارند.

Values on the same row with different superscripts differed ($P < 0.05$).

تأخیر شد که احتمالاً دلیل آن افزایش قابلیت دسترسی میکروارگانسیم‌های شکمبه به باگاس از طریق شکستن ساختمان لیگنین و افزایش دسترسی میکروارگانسیم‌ها به لایه‌های زیرین لیگنین (سلولز و همی سلولز) باشد؛ بنابراین فرآوری‌ها از این نظر مفید بوده‌اند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که فرآوری باگاس با محلول اوره و هیدروکسید سدیم در مقایسه با عدم فرآوری آن باعث افزایش قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی و همچنین افزایش تولید گاز شد. افزایش مدت زمان فرآوری باگاس از ۳۰ روز به ۴۵ روز تأثیر معنی‌داری بر قابلیت هضم ماده خشک یا ماده آلی نداشت، بنابراین می‌توان فرآوری با اوره و هیدروکسید سدیم به مدت ۳۰ روز را برای باگاس پیشنهاد کرد. به طور کلی می‌توان بهترین فرآوری برای باگاس را فرآوری با محلول اوره ۳ درصد + محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز (روش ۳) پیشنهاد کرد.

تولید گاز بالقوه با محتوای الیاف نامحلول در شوینده خنثی یا اسیدی رابطه عکس دارد، زیرا میزان کربوهیدرات‌های قابل حل کاهش یافته و در نتیجه قابلیت تخمیر و تولید گاز نیز کاهش می‌یابد (Selim و همکاران، ۲۰۰۴). در آزمایش حاضر، جیره‌های با تولید گاز بالقوه بالا (جیره‌های حاوی باگاس فرآوری‌شده)، محتوای الیاف نامحلول در شوینده خنثی کمتری (جدول ۲) داشتند. Dehghani و همکاران (۲۰۲۱)، گزارش کردند که فرآوری باگاس نیشکر با محلول اوره ۵ درصد در مقایسه با عدم فرآوری آن باعث کاهش زمان تأخیر (lag time) شد. منظور از زمان تأخیر، مدت زمانی (بر حسب ساعت) است که طول می‌کشد تا میکروارگانسیم‌ها به خوراکی که تازه وارد محیط شکمبه شده متصل شوند و شروع به تجزیه آن و تولید گاز کنند. شرایط مطلوب این است که این زمان کوتاه باشد تا هم تجزیه‌پذیری بیشتر باشد و هم سرعت دسترسی میکروارگانسیم‌ها به مواد مغذی برای رشد بیشتر سریعتر باشد (Van Soest، ۱۹۹۱). در مطالعه حاضر، باگاس فرآوری‌شده با محلول اوره و هیدروکسید سدیم در مقایسه با باگاس فرآوری‌نشده باعث کاهش زمان

منابع

1. Aghashahi, A., A. Kardenjad., & Fazaili, H. (2017). The effect of adding different levels of urea and molasses on the silage properties of a mixture of sugar beet leaves and crowns and sugarcane bagasse. *Journal of Animal Sciences*, 30, 195-206. (In persian).
2. Alemzadeh, B., Noroozi, S., & Kardooni, A. (2001). Determination of nutritive value and apparent digestibility in Bagasse and treated Bagasse. *Research Journal of Livestock Science*, 53, 14-17. (In Persian).
3. AOAC. (2007). Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlin, VA, USA, 1230 pp.
4. Babaei, M., Ghanbari, F., Ashour Mohammad, Q., & Bayat Kohsar, J. (2016). Effects of electron beam, hydrogen peroxide and hydrobromic acid treatment on the nutritional value of mung bean residues. *Iranian Animal Science Research*, 8(3), 441-454. (In Persian).
5. Bachmann, M., Martens, S. D., Le Brech, Y., Kervern, G., Bayreuther, R., Steinhöfel, O., & Zeyner, A. (2022). Physicochemical characterisation of barley straw treated with sodium hydroxide or urea and its digestibility and in vitro fermentability in ruminants. *Scientific Reports*, 12(1), 20530.

6. Blummel, M., Aiple, K. P., Steingaß, H., & Becker, K. (1999). A note on the stoichiometrical relationship of short chain fatty acid production and gas formation in vitro in feedstuffs of widely differing quality. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 81(3), 157-167.
7. Blummel, M., Makkar, P. S., & Becker, K. (1997). *In vitro* gas production: a technique revisited. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 77, 24-34.
8. Carvalho, G. G. P. D., Garcia, R., Pires, A. J. V., Silva, R. R., Detmann, E., Eustaquio Filho, A., & Carvalho, L. M. (2013). Diets based on sugar cane treated with calcium oxide for lambs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(2), 218-226.
9. Chaudhry, A. S. (2000). Rumen degradation in sacco in sheep of wheat straw treated with calcium oxide, sodium hydroxide and sodium hydroxide plus hydrogen peroxide. *Animal Feed Science and Technology*, 83(3-4), 313-323.
10. Chen, X. L., Wang, J. K., Wu, Y. M., & Liu, J. X. (2008). Effects of chemical treatments of rice straw on rumen fermentation characteristics, fibrolytic enzyme activities and populations of liquid-and solid-associated ruminal microbes in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 141(1-2), 1-14.
11. Da Silva, A. L., Marcondes, M. I., Veloso, C. M., de Sousa, F. C., & Knupp, L. S. (2015). Simulation of rumen fermentation kinetics of by-products from the biodiesel industry with in vitro gas production technique. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(6), 3851-3861.
12. De Almeida, G. A. P., de Andrade Ferreira, M., de Lima Silva, J., Chagas, J. C. C., Vêras, A. S. C., de Barros, L. J. A., & de Almeida, G. L. P. (2018). Sugarcane bagasse as exclusive roughage for dairy cows in smallholder livestock system. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(3), 379-385.
13. Dehghani, M., Afzalzadeh, A., & Norouzian, M. A. (2021). The study of chemical composition and ruminal degradability parameters of urea treatment of wheat straw and sugarcane bagasse. *Animal Production*, 23(2), 191-200.
14. Fievez, V., Babayemi, O.J., & Demeyer, D. (2005). Estimation of direct and indirect gas production in syringes: A tool to estimate short chain fatty acid production that requires minimal laboratory facilities. *Animal Feed Science and Technology*, 123, 197-210.
15. Giasvand, M., Yazdi, R., Kamran, R., & Dehghan Banadaki, M. (2012). The effect of different processing methods on the chemical composition and rumen degradability of rapeseed straw and its effect on the fattening performance of male Holstein calves. *Journal of Animal Science Research*, 22, 1-8. (In Persian).
16. Gunun, N., Wanapat, M., Gunun, P., Cherdthong, A., Khejornsart, P., & Kang, S. (2016). Effect of treating sugarcane bagasse with urea and calcium hydroxide on feed intake, digestibility, and rumen fermentation in beef cattle. *Tropical Animal Health and Production*, 48, 1123-1128.
17. Hameed, A. A., Salih, M. A., & El-Seed, F. (2012). Effect of urea treatment on the chemical composition and rumen degradability of groundnut hull. *Pakistan Journal of Nutrition*, 11, 1146-1151.
18. Khawar, A., Khan, N., Iqbal, K. J., Fatima, M., Rasool, F., Anjum, K. M., & Asghar, M. (2024). Effect of Urea Treated Sugarcane Bagasse on Growth, Proximate Composition, Microbial Flora and Digestive Enzymes Activities of Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Pakistan Journal of Zoology*, 56(5), 2369.
19. Kraiprom, T., Jantararat, S., Yaemkong, S., Cherdthong, A., & Incharoen, T. (2022). Feeding Thai native sheep molasses either alone or in combination with urea-fermented sugarcane bagasse: the effects on nutrient digestibility, rumen fermentation, and hematological parameters. *Veterinary Sciences*, 9(8), 415.
20. Liu, J. X., Susenbeth, A., & Südekum, K. H. (2002). In vitro gas production measurements to evaluate interactions between untreated and chemically treated rice straws, grass hay, and mulberry leaves. *Journal of Animal Science*, 80(2), 517-524.

21. Makkar, H. P. (2010). In vitro screening of feed resources for efficiency of microbial protein synthesis. *In vitro screening of plant resources for extra-nutritional attributes in ruminants: nuclear and related methodologies*, 107-144.
22. Malekikhahi, M., Mesgaran, M. D., Mousavi, A. H., Vakili, A., Tahmasbi, A., & Jahani-azizabadi, H. (2010). In vitro gas production parameters of sesame (*Sesamum indicum*) straw treated with sodium hydroxide, urea or sulphuric acid. *Advances in Animal Biosciences*, 1(1), 243-243.
23. Manyuchi, B., Ørskov, E. R., & Kay, R. N. B. (1992). Effects of feeding small amounts of ammonia treated straw on degradation rate and intake of untreated straw. *Animal Feed Science and Technology*, 38(4), 293-304.
24. McDonald, I. M. (1981). A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *The Journal of Agricultural Science*, 96(1), 251-252.
25. Menke, K. H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D., & Schneider, W. (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *The Journal of Agricultural Science*, 93(1), 217-222.
26. National Research Council. (2007). *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. National Academy Press.
27. Pipitukdee, S., Attavanich, W., & Bejranonda, S. (2020). Climate change impacts on sugarcane production in Thailand. *Atmosphere*, 11(4), 1-15.
28. Rezaii, F., Bayatkouhsar, J., Ghanbari, F., & Arab, F. (2023). The effect of water, urea, sodium hydroxide, and hydrogen peroxide processing on the cumin residues animal digestibility. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 12(4), 525-537.
29. Ribeiro, G. O., Gruninger, R. J., Jones, D. R., Beauchemin, K. A., Yang, W. Z., Wang, Y., & McAllister, T. A. (2020). Effect of ammonia fiber expansion-treated wheat straw and a recombinant fibrolytic enzyme on rumen microbiota and fermentation parameters, total tract digestibility, and performance of lambs. *Journal of Animal Science*, 98(5), 1-19.
30. SAS. (2006). *Procedures Guide*, second ed. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
31. Selim, A. S. M., Pan, J., Takano, T., Suzuki, T., Koike, S., Kobayashi, Y., & Tanaka, K. (2004). 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(1-2), 117-128.
32. Singh, M., & Jackson, M. G. (1971). The effect of different levels of sodium hydroxide spray treatment of wheat straw on consumption and digestibility by cattle. *The Journal of Agricultural Science*, 77(1), 5-10.
33. So, S., Cherdthong, A., & Wanapat, M. (2022). Growth performances, nutrient digestibility, ruminal fermentation and energy partition of Thai native steers fed exclusive rice straw and fermented sugarcane bagasse with *Lactobacillus*, cellulase and molasses. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 106(1), 45-54.
34. Soltani Naseri, K., Ghanbari, F., Bayat Kouhsar, J., & Taliey, F. (2018). Effect of chemical and biological processing methods on chemical composition, gas production parameters and in vitro digestibility of cicer *Arietinum* wastes. *Research on Animal Production*, 9(22), 72-82.
35. Van Kuijk, S. J. A., Sonnenberg, A. S. M., Baars, J. J. P., Hendriks, W. H., & Cone, J. W. (2016). The effect of adding urea, manganese and linoleic acid to wheat straw and wood chips on lignin degradation by fungi and subsequent in vitro rumen degradation. *Animal Feed Science and Technology*, 213, 22-28.
36. Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*, second ed. Cornell University Press, Ithaca, NY.
37. Van Soest, P. J. (2006). Rice straw, the role of silica and treatments to improve quality. *Animal Feed Science and Technology*, 130(3-4), 137-171.

38. Van Soest, P. V., 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.
39. Wanapat, M. (1990). Nutritional aspects of ruminant production in Southeast Asia with special reference to Thailand.
40. Wanapat, M., Polyorach, S., Boonnop, K., Mapato, C., & Cherdthong, A. (2009). Effects of treating rice straw with urea or urea and calcium hydroxide upon intake, digestibility, rumen fermentation and milk yield of dairy cows. *Livestock Science*, 125, 238-243.
41. Wang, J. K., Liu, J. X., Li, J. Y., Wu, Y. M., & Ye, J. A. (2007). Histological and rumen degradation changes of rice straw stem epidermis as influenced by chemical pretreatment. *Animal Feed Science and Technology*, 136(1-2), 51-62.
42. Zadrazil, F., & Puniya, A. K. (1995). Studies on the effect of particle size on solid-state fermentation of sugarcane bagasse into animal feed using white-rot fungi. *Bioresource Technology*, 54(1), 85-87.
43. Zhang, J., Kong, C., Yang, M., & Zang, L. (2020). Comparison of calcium oxide and calcium peroxide pretreatments of wheat straw for improving biohydrogen production. *ACS Omega*, 5(16), 9151-9161.