Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Ruminant Research

Print ISSN: 2345 - 4261
Online ISSN: 2345 - 4253

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

Kajal Malekshahi[1], Farshid Fatahnia[2], Seyed Reza Mousavi[3], Mohammad Shamsollahi[4*], Parisa Darat[5]

[1]MSc student, [2] Professor, [3] Graduated Ph.D student, [4] Assistant Prof. and [4] Ph.D student of Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Email: m.shamsolahi@ilam.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 19/02/2025
Revised: 07/04/2025
Accepted: 07/04/2025

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

ABSTRACT

Background and Objectives: 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 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), 179-197.

© The Author(s)

10.22069/ejrr.2025.23348.2001

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

پژوهش در نشخوارکنندگان
شاپا چاپی: ۴۲۶۱-۲۳۴۵
شاپا الکترونیکی: ۴۲۵۳-۲۳۴۵

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

کژال ملکشاهی[۱]، فرشید فتاح‌نیا[۲]، سید رضاموسوی[۳]، محمد شمس الهی[۴*]، پریسا دارات[۵]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، [۲] استاد، [۳] دانش‌آموخته دکتری، [۴] استادیار و [۵] دانشجوی دکتری گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام.

رایانامه: m.shamsolahi@ilam.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۱/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱/۲۰

واژه‌های کلیدی:
اوره
باگاس نیشکر
فراسنجه‌های تخمیر شکمبه
فرآوری
هیدروکسید سدیم

چکیده

سابقه و هدف: گیاه نیشکر (*Saccharum officinarum*) 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 فرآوری‌شده 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.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به‌صورت فاکتوریل ۳×۲ در قالب طرح کاملاً تصادفی با ٦ 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 ٤٥ روز در شرایط بی‌هوازی نگهداری شدند. بر این اساس، تیمارهای آزمایشی شامل ۱- باگاس نیشکر فرآوری‌نشده و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز؛ ۲- باگاس نیشکر فرآوری‌شده با محلول اوره ٤ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز، ۳- باگاس نیشکر فرآوری‌شده با محلول اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز، ٤- باگاس نیشکر فرآوری‌نشده و ذخیره‌شده به مدت ٤٥ روز؛ ٥- باگاس نیشکر فرآوری‌شده با محلول اوره ٤ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره‌شده به مدت ٤٥ روز و ٦- باگاس نیشکر فرآوری‌شده با محلول اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره‌شده به مدت ٤٥ روز بودند. سپس با استفاده از این نمونه‌ها، جیره‌های آزمایشی فرموله شدند و فراسنجه‌ها تخمیر و پارامترهای تولید گاز آن‌ها بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که باگاس نیشکر فرآوری‌شده با محلول اوره ۳ درصد + محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز (تیمار ۳) یا ٤٥ روز (تیمار ٦) در مقایسه با سایر تیمارها، درصد ماده خشک، ماده آلی (به ترتیب ۹۳/۸٦، ۹۲/۹۱، ۹۳/۰٤، ۹٤/۵۲، ۹۲/۷۸ و ۹۲/۸۹ درصد برای تیمارهای ۱ تا ٦) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی (به ترتیب ۹۰/۸٦، ۸۹/۰۷، ۸۷/۸۱، ۹۰/٦۲، ۸۹/۰۰ و ۸۷/٦۳ درصد برای تیمار ۱ تا ٦) کمتر و قابلیت

هضم ماده خشک و ماده آلی (۵۱/۰٤، ۵۹/۱۹، ٦٤/٤۳، ۵۱/۹۰، ٦۰/٦۰ و ٦۵/۵۰ درصد برای تیمار ۱ تا ٦) بیشتری داشتند (P<۰/۰۵). کمترین درصد پروتئین خام (به ترتیب ۲/٦۷، ۸/۳۲، ۸/۲۷، ۲/۷۲، ۸/۲۷ و ۸/٤۷ درصد برای تیمار ۱ تا ٦) در باگاس نیشکر فرآوری‌نشده و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز و باگاس نیشکر فرآوری‌نشده و ذخیره‌شده به مدت ٤۵ روز مشاهده شد (P<۰/۰۵). کمترین تولید گاز ۲٤ ساعت (به ترتیب ۵۰/٤٦، ٦۰/۷۳، ٦٦/۷۰، ۵۲/٦۳، ٦۲/٤۲ و ٦۷/۵٦ میلی‌لیتر برای جیره ۱ تا ٦) و ۹٦ ساعت (به ترتیب ۵٤/۳۷، ٦۵/۹۵، ۷۳/٤۸، ۵۵/۹۲، ٦۲/۰۰ و ۷۱/۳۰ میلی‌لیتر برای جیره ۱ تا ٦) و بیشترین زمان تأخیر به جیره-های حاوی باگاس نیشکر فرآوری‌نشده و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز (جیره ۱) و باگاس نیشکر فرآوری‌نشده و ذخیره‌شده به مدت ٤۵ روز (جیره ٤) مربوط بود (P<۰/۰۵). تولید متان، فاکتور تفکیک شوندگی و بازده تولید توده میکروبی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت (P>۰/۰۵).

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان بهترین فرآوری برای باگاس نیشکر را فرآوری با محلول اوره ۳ درصد + محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز پیشنهاد کرد.

استناد: ملکشاهی، کژال؛ فتاح‌نیا، فرشید؛ موسوی، سیدرضا؛ شمس الهی، محمد؛ دارات، پریسا. (۱٤۰٤). تخمیر شکمبه‌ای جیره‌های حاوی باگاس نیشکر فرآوری‌شده با اوره و هیدروکسید سدیم در زمان‌های مختلف در شرایط برون‌تنی در گوسفند. *پژوهش در نشخوارکنندگان*، ۱۳(٤)، ۱۹۷-۱۷۹.

10.22069/ejrr.2025.23348.2001

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

بخش بزرگی از هزینه‌های پرورش دام مربوط به تغذیه دام است، به‌طوری‌که 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 به‌عنوان منابع خوراکی ارزان‌قیمت به‌جای مواد خوراکی گران‌قیمت، یکی از راه‌کارهای 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، ۲۰۱٦؛ Kraiprom و همکاران، ۲۰۲۲). گیاه نیشکر 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. بخش قابل‌توجهی 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 تشکیل‌شده‌اند 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 قابل‌استفاده نمی‌باشد؛ اما می‌توان با فرآوری، ارزش تغذیه‌ای آن را بهبود داد (So و همکاران، ۲۰۲۲). روش‌های مختلفی برای فرآوری پسماندهای کشاورزی به‌منظور 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 به‌طور 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 قابلیت‌هضم افزایش می‌یابد (Khawar و همکاران، ۲۰۲٤). ازآنجایی‌که 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، ۱۹۹٤). یکی از عواملی که ممکن است فرآوری شیمیایی باگاس را تحت تأثیر قرار دهد، مدت‌زمان فرآوری آن است که تاکنون کار مشابهی در این مورد انجام‌نشده است. لذا در این مطالعه، دو زمان

فرآوری ۳۰ و ٤٥ روز بررسی شد. ترکیب شیمیایی و قابلیت‌هضم، عوامل عمده تعیین ارزش غذایی خوراک‌ها می‌باشند که معمولاً خوراک‌ها بر اساس این دو خصوصیت توصیف می‌شوند. ازآنجایی‌که 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 فرآوری‌شده با محلول اوره و محلول هیدروکسید سدیم در دو زمان مختلف، به مدت ۳۰ روز و ٤٥ روز در شرایط برون‌تنی بررسی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

تیمارهای آزمایشی: نمونه باگاس موردنیاز 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 ٤٠ 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 خشک‌شده توسط آسیاب دارای الک یک میلی‌لیتری خرد شدند. محلول‌های شیمیایی برای فرآوری شامل محلول اوره ۳ و ٤ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۱ و ۲ درصد بودند. ٦ نمونه یک کیلوگرمی باگاس برای هرکدام از روش‌های فرآوری استفاده شد به‌طوری‌که هر کیلوگرم باگاس با یک لیتر محلول شیمیایی مخلوط شد (Gunun و همکاران، ۲۰۱٦). برای نمونه شاهد نیز از ٦ 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، همهٔ نمونه‌ها به داخل نایلون‌های تیره‌رنگ و دو لایه منتقل و کاملاً فشرده شدند تا هوای داخل کیسه به‌طور 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 ٤٥ روز در یک مکان با شرایط کاملاً یکسان سیلو شدند. پس از پایان زمان ۳۰ یا ٤٥ 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 فرآوری‌نشده و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز)؛ ۲- جیره شاهد (جیره حاوی باگاس فرآوری‌نشده و ذخیره‌شده به مدت ٤٥ روز)؛ ۳- جیره حاوی باگاس فرآوری‌شده با محلول اوره ٤ درصد و هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز، ٤- جیره حاوی باگاس فرآوری‌شده با محلول اوره ٤ درصد و هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره‌شده به مدت ٤٥ روز، ۵- جیره حاوی باگاس فرآوری‌شده با محلول اوره ۳ درصد و هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز و ٦- جیره حاوی باگاس فرآوری‌شده با محلول اوره ۳ درصد و هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره‌شده به مدت ٤٥ روز بودند.

اندازه‌گیری ترکیب شیمیایی: درصد ماده خشک، ماده آلی، خاکستر و پروتئین خام نمونه‌های باگاس بر اساس روش‌های استاندارد (AOAC، ۲۰۰۷) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی نمونه‌های باگاس از روش VanSoest و همکاران، (۱۹۹۱) استفاده شد.

جدول ۱- مواد خوراکی تشکیل‌دهنده و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی حاوی باگاس نیشکر فرآوری‌شده 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 فرآوری ۴۵ روزه Processing time 45 days			زمان فرآوری ۳۰ روزه Processing time 30 days			
اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد Urea 3% + Sodium Hydroxide 2%	اوره ٤ 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%	اوره ٤ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد Urea 4% + Sodium Hydroxide 1%	بدون افزودنی No additives	
اقلام خوراکی (درصد از ماده خشک) Ingredients (percentage of DM)						
15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	باگاس (تفاله نیشکر) Bagasse (sugarcane bagasse)
10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	علوفه خشک یونجه Alfalfa hay
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	کاه گندم Wheat straw
22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	میوه بلوط Oak acorn
8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	پودر هسته خرما Date kernel powder
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	دانه ذرت Corn grain
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	دانه جو Barley grain
4.1	4.1	3.8	4.1	4.1	3.8	ملاس Molasses
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	کنجاله سویا Soybean meal
7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	پودر جوجه Chicken meal
0.8	0.8	1.1	0.8	0.8	1.1	اوره Urea
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	کنجاله گلوتن ذرت Corn gluten meal
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	پودر ماهی Fish meal
8.0	8.0	8.0	8.0	8.2	8.0	تفاله زیتون Olive pomace
3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	سبوس گندم Wheat bran
0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	بیکربنات سدیم Sodium bicarbonate
0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	مکمل مواد معدنی و ویتامین[1] Mineral and vitamin supplement
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	نمک Salt
ترکیب شیمیایی (درصد از ماده خشک) Chemical composition (% of DM)						
2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	انرژی قابل متابولیسم (مگاکالری در کیلوگرم) Metabolizable energy (Mcal/kg of DM)
14.10	13.90	13.90	14.10	13.90	13.90	پروتئین خام (درصد) Crude protein (%)
34.60	34.70	34.60	34.60	34.70	34.60	کربوهیدرات غیر الیافی (درصد) Nonfibrous carbohydrate (%)
4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	چربی خام (درصد) Crude fat (%)
34.60	34.70	34.60	34.60	34.70	34.60	الیاف شوینده خنثی (درصد) Neutral Detergent Fiber (%)
1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	کلسیم (درصد) Calcium (%)
0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	فسفر (درصد) Phosphorous (%)

[1] 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، ٤٦ گرم سدیم، ۲ گرم منگنز، ۳ گرم آهن، ۳ گرم مس، ۳ گرم روی، ۱۰۰ میلی‌گرم کبالت، ۱۰۰ میلی‌گرمید، ۱ میلی‌گرم سلنیوم و ٤۰۰ میلی‌گرم آنتی‌اکسیدان بود.

[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.

فراسنجه‌های تولید گـاز: بـرای تعیـین فراسـنجه‌هـای تولید گاز، مایع شکمبه از ۲ رأس میش داشتی بـالغ بـا استفاده از لوله مری جمع‌آوری شـد. نمونـه‌هـای مـایع شکمبه با هم مخلوط و توسـط فلاسـک بلافاصـله بـه آزمایشگاه منتقـل شـدند. در آزمایشـگاه، مـایع شـکمبه پس از صاف شدن توسط ٤ لایه پارچه به داخـل یـک ارلن خلأ منتقل و با افـزودن دی‌اکسـید کـربن شـرایط بی‌هوازی ایجاد شد. برای انـدازه‌گیـری فراسـنجه‌هـای تولید گاز از روش‌هـای Makkar (۲۰۱۰)،Blummel و همکـــاران (۱۹۹۷) و Menke و همکـــاران (۱۹۷۹) استفاده شد. برای آزمون تولید گـاز ٢٤ سـاعت، مقـدار ۵۰۰ میلی‌گرم و آزمون تولیـد گـاز ۹٦ سـاعت، مقـدار ۲۰۰ میلی‌گرم وزن خشک از هـر کـدام از جیـره‌هـای آزمایشی به درون بطری‌های شیشه‌ای ۱۲۰ میلی‌لیتـری مخصوص تولید گاز ریخته شـدند. ۳ بطـری (تکـرار) حاوی تیمار آزمایشی و ۳ بطری بدون نمونـه خـوراک به عنوان بلانک در نظـر گرفتـه شـد. لازم بـه توضـیح است که آزمون تولید گـاز ٢٤ و ۹٦ سـاعت، ۲ بـار بـا فاصله یک هفته انجام شـد، بـه‌گونـه‌ای کـه درنهایـت برای هر جیره آزمایشـی در مجمـوع ٦ تکـرار در نظـر گرفته شد.

برای تهیه بزاق مصنوعی از بافر بیکربنـات سـدیم، مکمل مـواد معـدنی پرمصـرف، مکمـل مـواد معـدنی کم‌مصرف، رزازورین، محلـول احیاکننـده و آب مقطـر استفاده شد. ٤۰ میلی‌لیتر از محیط کشت (مخلوط مـایع شکمبه و بزاق مصنوعی) به داخـل هـر بطـری حـاوی نمونهٔ خوراک و بطری‌های خالی (بلانک) ریختـه شـد و درب هر بطری توسط درپوش لاسـتیکی و فلـزی و با استفاده از ابزار پرس درب ویال، محکم بسـته شـد و برای انکوباسیون به داخل انکوباتور با دمای ۳۹ درجـه سانتی‌گراد منتقل شد. سپس برای آزمون تولید گـاز ٢٤ ساعت، فشار گاز درون بطری‌ها در فواصـل زمـانی ۲، ٤، ۸، ١٦، ۲۰ و ٢٤ ساعت و بـرای آزمـون تولیـد گـاز ۹٦ ساعت در فواصـل زمـانی ۲، ٤، ٦، ۸، ۱۰، ۱۲، ١٤، ١٦، ٢٤، ۳۰، ۳٦، ٤۸، ٥٤، ۷۲ و ۹٦ ســاعت پــس از انکوباسیون توسط دسـتگاه فشارسـنج (مـدل TESTO 512) ثبت شد. پس از ثبت گاز در هر زمان، فشار گـاز توسط سرسوزن خـارج شـد و فشـار گـاز بـر حسـب پاسکال توسط محاسبات ریاضی تبـدیل بـه میلـی‌لیتـر شـد (Blummel و همکـاران، ۱۹۹۹). میـانگین حجـم گاز بلانک (ml) – مجموع حجم تولیـد گـاز خـوراک در زمان‌های مختلف انکوباسیون (ml) = حجـم تولیـد گاز خالص (ml)

اندازه‌گیری تجزیه‌پذیری ماده‌خشـک و مـاده آلـی: پس از اتمام آزمون تولید گاز ٢٤ سـاعت و ثبـت گـاز پایانی، محتویات بطری‌ها بـه داخـل کروسـیبل‌هـای از قبل تـوزین‌شـده منتقـل و در آون بـا دمـای ٦۰ درجـه سانتی‌گراد به مدت ٤۸ ساعت خشک شدند. با فـرض اینکه شوینده خنثـی تـوده میکروبـی را بـه‌طـور کامـل خارج می‌کند، محتویـات کروسـیبل‌هـای خشـک‌شـده توسـط دسـتگاه انـدازه‌گیـری الیـاف خـام در محلـول شوینده خنثی (به مدت یک سـاعت) جوشـیده شـدند؛ سپس مجدداً در آون در دمای ٦۰ درجه سانتی‌گراد بـه مدت ٤۸ ساعت خشک و وزن آن‌ها ثبت شد. اخـلاف وزن کروسیبل پس از آون و کروسیبل خالی، بـه‌عنـوان ماده خشک تجزیه‌نشده (a) در نظر گرفته شد. درصـد تجزیه‌پذیری ماده خشک به شـکل زیـر محاسـبه شـد (Makkar، ۲۰۱۰):

$$\text{تجزیه‌پذیری مادهٔ خشک (٪)} = \frac{\text{مادهٔ خشک تجزیه‌نشده(میلی‌گرم)} - \text{مادهٔ خشک ریخته‌شده در بطری(میلی‌گرم)}}{\text{مادهٔ خشک ریخته‌شده در بطری(میلی‌گرم)}} \times ۱۰۰$$

۱۰۰۰ × [وزن کروسیبل خالی (گرم) – وزن کروسـیبل حاوی باقیمانده (گـرم)] = مـادهٔ خشـک تجزیـه‌نشـده (میلی‌گرم)

۵۰۰ میلی‌گرم × (۱۰۰ ÷ درصد مادهٔ خشک نمونهٔ خوراک) = مادهٔ خشک ریخته‌شده در بطری (میلی‌گرم)

برای اندازه‌گیری تجزیه‌پذیری مادهٔ آلی، پس از پایان مرحله آون‌گذاری و توزین کروسیبل‌ها، کروسیبل‌ها در داخل کورهٔ الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۳ ساعت خاکسترگیری شدند. پس از انتقال به درون دسیکاتور، وزن آن‌ها ثبت و از وزن کروسیبل خالی کم شد تا مقدار خاکستر (b) به دست آید. سپس مقدار مادهٔ خشک تجزیه‌نشده (a) از مقدار خاکستر (b) کم شد تا مادهٔ آلی تجزیه‌نشده (a-b) به دست آید. برای به دست آوردن مقدار و درصد مادهٔ آلی تجزیه‌شده در طی ۲۴ ساعت باید مقدار مادهٔ آلی ریخته‌شده در بطری (c) محاسبه شود:

مادهٔ خشک ریخته‌شده در بطری (میلی‌گرم) × (۱۰۰ ÷ درصد مادهٔ آلی نمونهٔ خوراک) = مادهٔ آلی ریخته‌شده در بطری (c) (میلی‌گرم)

c–(a–b) = مادهٔ آلی تجزیه‌شده (میلی‌گرم)

(a–b) = مادهٔ آلی تجزیه‌نشده

تجزیه‌پذیری مادهٔ آلی (٪) =

$$\frac{\text{مادهٔ آلی تجزیه‌نشده (میلی‌گرم)} - \text{مادهٔ آلی ریخته‌شده در بطری (میلی‌گرم)}}{\text{مادهٔ آلی ریخته‌شده در بطری (میلی‌گرم)}} \times ۱۰۰$$

اندازه‌گیری فاکتور تفکیک‌شوندگی: فاکتور تفکیک از نسبت مقدار مادهٔ آلی تجزیه‌شده (میلی‌گرم) و حجم گاز خالص ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر) به‌دست آمد (Makkar، ۲۰۱۰).

$$\text{فاکتور تفکیک} = \frac{\text{مادهٔ آلی تجزیه‌شده (میلی‌گرم)}}{\text{حجم گاز خالص (میلی‌لیتر)}}$$

c–(a–b) = مادهٔ آلی تجزیه‌شده (میلی‌گرم)

تخمین راندمان تولید توده میکروبی: راندمان تولید تودهٔ میکروبی بعد از پایان زمان انکوباسیون ۲۴ ساعت (۵۰۰ میلی‌گرم نمونهٔ خشک در ۴۰ میلی‌لیتر محیط کشت) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

راندمان تولید توده میکروبی (٪) =

$$\frac{[\text{۲/۳۴} \times \text{تولید خالص گاز (میلی‌لیتر)}] - \text{مادهٔ آلی تجزیه‌شده (میلی‌گرم)}}{\text{مادهٔ آلی تجزیه‌شده (میلی‌گرم)}} \times ۱۰۰$$

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 (میلی‌لیتر)

تولید گاز متان بلانک – تولید گاز متان نمونه = تولید گاز متان خالص (میلی‌لیتر)

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 ۳×۲ در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار SAS (۲۰۰۶) انجام شد. فاکتور اول شامل نوع روش فرآوری (سطوح متفاوت اوره و هیدرواکسید سدیم) و فاکتور دوم شامل مدت زمان فرآوری (۳۰ یا ۴۵ روز) بود. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از روش توکی و در سطح آماری ۵ درصد انجام شد. مدل آماری طرح به‌صورت 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 e_{ijk}: اثر خطای آزمایشی بود.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی باگاس: اثر فرآوری با محلول اوره و هیدروکسید سدیم و مدت‌زمان فرآوری بر ترکیب شیمیایی باگاس در جدول ۲ آمده است. هیچ‌کدام از ترکیبات شیمیایی تحت تأثیر زمان فرآوری قرار نگرفتند (P>۰/۰۵)، اما نوع فرآوری بر ترکیبات شیمیایی تأثیرگذار بود (P<۰/۰۵). به طور 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>۰/۰۵)، 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 ٤٥ روز (روش ٦) در مقایسه با سایر تیمارها به‌طور 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، ۲۰۰٦) 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 ٤ درصد (Gunun و همکاران، ۲۰۱٦) یا محلول اوره ٥ 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 همی‌سلولز ارتباط داد (Babaei و همکاران، ۲۰۱٦؛ Van Soest، ۲۰۰٦). 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 همی‌سلولز را بشکنند. هیدروکسید سدیم در مقایسه با اوره دارای فعالیت شیمیایی و قلیایی قوی‌تری می‌باشد (Van Soest، ۲۰۰٦)، لذا اثر فرآوری هیدروکسید سدیم بر افزایش حلالیت و اتلاف ترکیبات شیمیایی باگاس در مقایسه با اوره بیشتر بود.

جدول ۲- اثر روش فرآوری و مدت زمان فرآوری بر ترکیب شیمیایی باگاس نیشکر*

Table 2- Effect of processing method and processing time on the chemical composition of sugarcane bagasse*

P-value			SEM	۴۵ روز فرآوری 45 days processing			۳۰ روز فرآوری 30 days processing			صفت Parameters
زمان × فرآوری Time × Processing	فرآوری Processing	زمان Time		اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد Urea 3% + Sodium Hydroxide 2%	اوره ٤ 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%	اوره ٤ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد Urea 4% + Sodium Hydroxide 1%	بدون افزودنی No additives	
0.01	0.0001	0.48	0.33	92.01^{d}	93.50^{c}	96.50^{a}	92.02^{d}	94.38^{bc}	95.02^{b}	ماده خشک Dry matter (%)
0.28	0.0001	0.31	0.14	92.89^{c}	92.78^{c}	94.52^{a}	93.04^{c}	92.91^{c}	93.86^{b}	ماده آلی Organic matter (%)
0.64	0.0001	0.53	0.13	8.47^{a}	8.27^{a}	2.72^{b}	8.27^{a}	8.32^{a}	2.67^{b}	پروتئین خام Crude protein (%)
0.98	0.0003	0.70	0.51	87.63^{c}	89.00^{bc}	90.62^{ab}	87.81^{c}	89.07^{bc}	90.86^{a}	الیاف نامحلول در شوینده خنثی (درصد) Neutral detergent fibers (%)
0.0001	0.0001	0.31	0.14	7.11^{a}	7.22^{a}	5.47^{c}	6.95^{a}	7.08^{a}	6.14^{b}	خاکستر Ash (%)

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).

فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای جیره‌های آزمایشی: جدول ۳، فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای جیره‌های حاوی باگاس فرآوری‌شده با روش‌های مختلف (اوره یا هیدروکسید سدیم) در زمان‌های متفاوت (۳۰ یا ٤٥ روز) را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که تولید گاز تجمعی ٢٤ ساعت جیره‌های آزمایشی تحت تأثیر اثر زمان و اثرات متقابل زمان و فرآوری قرار نگرفت (P>۰/۰۵)، اما نوع فرآوری تأثیرگذار بود (P<۰/۰۵). به‌طورکلی، فرآوری باگاس با محلول اوره یا هیدروکسید سدیم باعث افزایش تولید گاز تجمعی ٢٤ ساعت جیره‌های حاوی باگاس فرآوری‌شده شد (P<۰/۰۵). در بین جیره‌های آزمایشی، کمترین تولید گاز تجمعی ٢٤ ساعت مربوط به جیره‌های شاهد بود (P<۰/۰۵). 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>۰/۰۵). قابلیت‌هضم ماده خشک و ماده آلی جیره‌های آزمایشی تحت تأثیر اثر زمان و اثرات متقابل زمان و فرآوری قرار نگرفت (P>۰/۰۵)، اما نوع فرآوری بر قابلیت‌هضم ماده خشک جیره‌های آزمایشی تأثیرگذار بود (P<۰/۰۵). به‌طورکلی، فرآوری باگاس با محلول اوره یا هیدروکسید سدیم باعث افزایش قابلیت‌هضم ماده خشک و ماده آلی جیره‌های حاوی باگاس فرآوری‌شده شد. در بین جیره‌های آزمایشی، بیشترین قابلیت‌هضم ماده خشک و ماده آلی مربوط به جیره دارای باگاس فرآوری‌شده با محلول اوره ۳ درصد + محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز (روش ۳) و ٤٥ روز (روش ٦) بودند (P<۰/۰۵).

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، ۲۰۱٦) و فرآوری کاه جو (Bachmann و همکاران، ۲۰۲۲)، نخود فرآوری‌شده با محلول هیدروکسید سدیم + پراکسید هیدروژن (Soltani 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 (Malekkhahi و همکاران، ۲۰۱۰) و کاه برنج (Liu و همکاران، ۲۰۰۲) فرآوری‌شده 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 همی‌سلولز باعث افزایش دسترسی آسان میکروارگانیسم‌های شکمبه به لایه‌های زیرین لیگنین (سلولز و همی‌سلولز) و افزایش تخمیر و تولید گاز و در نتیجه افزایش تجزیه‌پذیری و قابلیت هضم ماده خشک یا ماده آلی شد (Carvalho و همکاران، ۲۰۱۳؛ Wanapat، ۱۹۹۰). اوره به عنوان منبع نیتروژن برای رشد میکروارگانیسم‌های 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، ۲۰۰٤).

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

Table 3- Ruminal fermentation parameters of diets containing bagasse processed by different methods *at different times

صفت Parameters	۳۰ روز فرآوری			٤٥ روز فرآوری			SEM	P-value		
	بدون افزودنی No additives	اوره ٤ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد Urea 4% + Sodium Hydroxide 1%	اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد Urea 3% + Sodium Hydroxide 2%	بدون افزودنی No additives	اوره ٤ درصد + هیدروکسید سدیم ۱ درصد Urea 4% + Sodium Hydroxide 1%	اوره ۳ درصد + هیدروکسید سدیم ۲ درصد Urea 3% + Sodium Hydroxide 2%		زمان Time	فرآوری Processing	زمان × فرآوری Time × Processing
تولید گاز تجمعی ٢٤ ساعت (میلی‌لیتر در ۵۰۰ میلی‌گرم ماده خشک) 24-h cumulative gas production (ml/500 mg DM)	50.46[b]	60.73[a]	66.70[a]	52.63[b]	62.42[a]	67.56[a]	2.42	0.44	0.0001	0.96
تولید گاز متان (میلی‌لیتر در ۵۰۰ میلی‌گرم ماده خشک) Methane gas production (ml/500 mg DM)	8.34	8.50	8.96	8.85	8.32	7.23	1.29	0.67	0.92	0.68
فاکتور تفکیک شوندگی Partitioning factor	4.68	4.72	4.54	4.45	4.52	4.50	0.22	0.44	0.92	0.85
بازده تولید توده میکروبی (درصد) Microbial mass production efficiency (%)	55.46	54.43	53.52	52.28	54.14	52.57	2.08	0.40	0.83	0.77
قابلیت هضم ماده خشک (درصد) Dry matter digestibility (%)	50.61[c]	57.94[b]	63.34[a]	51.38[c]	59.57[b]	64.60[a]	1.10	0.20	0.0001	0.92
قابلیت هضم ماده آلی (درصد) Organic matter digestibility (%)	51.04[d]	59.19[c]	64.43[ab]	51.90[d]	60.60[bc]	65.50[a]	1.16	0.27	0.0001	0.97

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 خنثی باگاس (جدول ۲)، قابلیت هضم ماده خشک جیره افزایش یافت. به‌طورکلی در این مطالعه، اثر فرآوری باگاس با محلول هیدروکسید سدیم بر قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی به دلیل فعالیت شیمیایی قوی‌تر 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 فرآوری یا اثر متقابل زمان و فرآوری قرار نگرفتند و فقط نوع فرآوری بر این پارامترها تأثیرگذار بود؛ بنابراین می‌توان به جای مدت‌زمان فرآوری ٤٥ روز، مدت‌زمان فرآوری ۳۰ روز را برای فرآوری باگاس با محلول هیدروکسید سدیم و اوره پیشنهاد کرد.

پارامترهای تولید گاز جیره‌های آزمایشی:

جدول ٤، پارامترهای تولید گاز جیره‌های حاوی باگاس فرآوری‌شده با روش‌های مختلف (هیدروکسید سدیم یا اوره) در زمان‌های متفاوت (۳۰ یا ٤٥ روز) را نشان می‌دهد. به‌طورکلی، نتایج نشان داد که فرآوری‌ها در مقایسه با عدم فرآوری باعث افزایش تولید گاز تجمعی ۹٦ ساعت و پتانسیل تولید گاز (A) و کاهش زمان تأخیر (lag time) شد (P<۰/۰۵). تولید گاز تجمعی ۹٦ ساعت و تولید گاز بالقوه (A) تحت تأثیر زمان فرآوری قرار نگرفت (P>۰/۰۵)، اما تحت تأثیر نوع فرآوری و اثرات متقابل زمان و نوع فرآوری قرار گرفت (P<۰/۰۵). بیشترین تولید گاز تجمعی ۹٦ ساعت و تولید گاز بالقوه (A) مربوط به جیره حاوی باگاس فرآوری‌شده با محلول اوره ۳ درصد + محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز (روش ۳) یا ٤٥ روز (روش ٦) و کمترین تولید گاز تجمعی ۹٦ ساعت و تولید گاز بالقوه (A) مربوط به جیره‌های شاهد بودند (P<۰/۰۵). نرخ تولید گاز (C) تحت تأثیر اثرات متقابل زمان و فرآوری قرار نگرفت (P>۰/۰۵)، اما تحت تأثیر اثر زمان فرآوری و اثر نوع فرآوری قرار گرفت (P<۰/۰۵)، به‌طوری‌که جیره حاوی باگاس فرآوری‌شده با محلول اوره ٤ درصد + محلول هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره‌شده به مدت ٤٥ روز (روش ٥) و جیره حاوی باگاس فرآوری‌شده با محلول اوره ۳ درصد + محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره‌شده به مدت ٤٥ روز (روش ٦) در مقایسه با جیره شاهد (دارای باگاس فرآوری‌نشده و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز)، نرخ تولید گاز بیشتری داشتند (P<۰/۰۵). زمان تأخیر (lag time) تحت تأثیر اثر زمان فرآوری و اثرات متقابل زمان و فرآوری قرار نگرفت (P>۰/۰۵)، اما نوع فرآوری بر زمان تأخیر (lag time) تأثیرگذار بود (P<۰/۰۵). بیشترین زمان تأخیر (lag time) مربوط به جیره‌های شاهد بود (P<۰/۰۵). بین فرآوری‌ها ازنظر زمان تأخیر (lag time) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (P>۰/۰۵).

تولید گاز تجمعی ۹٦ ساعت بیانگر مجموع گاز تولیدی توسط میکروارگانیسم های شکمبه در این بازه زمانی خاص است که برای ارزیابی تخمیرپذیری، ارزش غذایی خوراک‌ها و بررسی فعالیت جمعیت میکروبی استفاده می‌شود (DaSilva و همکاران، ۲۰۱۵). مطابق با نتایج آزمایش حاضر، در مطالعه Manyuchiو همکاران (۱۹۹۲)، تولید گاز تجمعی ۹٦ ساعت در کاه جو فرآوری‌شده با محلول آمونیاک در مقایسه با کاه فرآوری‌نشده بیشتر بود. در مطالعه حاضر، فرآوری باگاس با محلول اوره و هیدروکسید سدیم احتمالاً از طریق تخریب ساختمان الیاف از جمله لیگنین که منجر به افزایش دسترسی آنزیم‌های میکروبی به لایه‌های زیرین لیگنین یعنی سلولز و همی‌سلولز می‌شود (Van soest، ۲۰۰٦)، باعث افزایش میزان تخمیرپذیری باگاس و افزایش تولید گاز تجمعی ۹٦ ساعت و افزایش تولید گاز بالقوه جیره‌های حاوی باگاس فرآوری‌شده شد.

جدول ٤- پارامترهای تولید گاز جیره‌های حاوی باگاس فرآوری‌شده با روش‌های مختلف[1] در زمان‌های متفاوت

Table 4- Gas production parameters of diets containing bagasse processed by different methods[1] at different times

P-value			SEM	٤٥ روز فرآوری 45 days processing		٣٠ روز فرآوری 30 days processing		صفت Parameters
زمان × فرآوری Time × Processing	فرآوری Processing	زمان Time		بدون افزودنی No additives	اوره ٤ درصد + هیدروکسید سدیم ١ درصد Urea 4% + Sodium Hydroxide 1%	بدون افزودنی No additives	اوره ٤ درصد + هیدروکسید سدیم ١ درصد Urea 4% + Sodium Hydroxide 1%	
0.03	0.0001	0.07	0.94	71.30^{a}	62.00^{c}	55.92^{d}	65.95^{b}	54.37^{d}	تولید گاز تجمعی ٩٦ ساعت (میلی‌لیتر در ٢٠٠ میلی‌گرم ماده خشک) 96-h cumulative gas production (ml/200 mg DM)
0.02	0.0001	0.81	0.06	5.57^{a}	4.55^{b}	4.13^{c}	4.75^{b}	3.89^{d}	A (تولید گاز بالقوه؛ میلی‌لیتر در ٢٠٠ میلی‌گرم ماده خشک) A (Gas production potential ml/200 mg DM)
0.61	0.03	0.01	0.01	0.15^{b}	0.17^{b}	0.18^{ab}	0.18^{ab}	0.22^{a}	C (نرخ تولید گاز؛ میلی‌لیتر در ساعت) C (gas production rate; milliliters/h)
0.36	0.0001	0.23	0.08	0.00^{b}	0.21^{b}	0.65^{a}	0.00^{b}	0.89^{a}	زمان تأخیر (ساعت) Lag time (h)

مقادیر هر ردیف با حروف انگلیسی متفاوت در سطح آماری ٠/٠٥ با هم تفاوت دارند.

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

تولید گاز بالقوه با محتوای الیاف نامحلول در شوینده خنثی یا اسیدی رابطه عکس دارد، زیرا میزان کربوهیدرات‌های قابل‌حل کاهش‌یافته و در نتیجه قابلیت تخمیر و تولید گاز نیز کاهش می‌یابد (Selim و همکاران، ٢٠٠٤). در آزمایش حاضر، جیره‌های با تولید گاز بالقوه بالا (جیره‌های حاوی باگاس فرآوری‌شده)، محتوای الیاف نامحلول در شوینده خنثی کمتری (جدول ٢) داشتند. Dehghani و همکاران (٢٠٢١)، گزارش کردند که فرآوری باگاس نیشکر با محلول اوره ٥ درصد در مقایسه با عدم فرآوری آن باعث کاهش زمان تأخیر (lag time) شد. منظور از زمان تأخیر، مدت‌زمانی (بر حسب ساعت) است که طول می‌کشد تا میکروارگانیسم‌ها 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 میکروارگانیسم‌ها به مواد مغذی برای رشد بیشتر سریع‌تر باشد (Van Soest، ١٩٩١). در مطالعه حاضر، باگاس فرآوری‌شده با محلول اوره و هیدروکسید سدیم در مقایسه با باگاس فرآوری‌نشده باعث کاهش زمان تأخیر شد که احتمالاً دلیل آن افزایش قابلیت دسترسی میکروارگانیسم‌های شکمبه به باگاس از طریق شکستن ساختمان لیگنین و افزایش دسترسی میکروارگانیسم‌ها به لایه‌های زیرین لیگنین (سلولز و همی‌سلولز) 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 مدت‌زمان فرآوری باگاس از ٣٠ روز به ٤٥ روز تأثیر معنی‌داری بر قابلیت هضم ماده خشک یا ماده آلی نداشت، بنابراین می‌توان فرآوری با اوره و هیدروکسید سدیم به مدت ٣٠ روز را برای باگاس پیشنهاد کرد. به‌طورکلی می‌توان بهترین فرآوری برای باگاس را فرآوری با محلول اوره ٣ درصد + محلول هیدروکسید سدیم ٢ درصد و ذخیره‌شده به مدت ٣٠ روز (روش ٣) پیشنهاد کرد.

منابع

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).

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).

AOAC. (2007). Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlin, VA, USA, 1230 pp.

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).

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.

Blummel, M., Aiple, K. P., Steingaβ, 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.

Blummel, M., Makkar, P. S., & Becker, K. (1997). *In vitro* gas production: a technique revisited. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 77, 24-34.

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.

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.

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.

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.

De Almeida, G. A. P., de Andrade Ferreira, M., de Lima Silva, J., Chagas, J. C. C., Véras, 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.

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.(In Persian).

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 facilitie. *Animal Feed Science and Technology*, 123, 197–210.

Giyasvand, 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).

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.

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.

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.

Kraiprom, T., Jantarat, 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.

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.

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 Mmethodologies*, 107-144.

Malekkhahi, 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.

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.

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.

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.

National Research Council. (2007). *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. National Academy Press.

Pipitpukdee, S., Attavanich, W., & Bejranonda, S. (2020). Climate change impacts on sugarcane production in Thailand. *Atmosphere*, 11(4), 1-15.

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.

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.

SAS. (2006). Procedures Guide, second ed. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

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.

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.

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.

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. (In Persian).

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.

Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*, second ed. Cornell University Press, Ithaca, NY.

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.

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.

Wanapat, M. (1990). Nutritional aspects of ruminant production in Southeast Asia with special reference to Thailand.

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.

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.

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.

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.