

***In vitro* ruminal fermentation of diets containing sugarcane bagasse treated with ammonia and sodium hydroxide at different times**

E Rashnoo¹, F Fatahnia², S R Mousavi³, Y Mohammadi⁴, M Shamsollahi^{5*} and P Darat⁶

1-MSc graduated, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. Email: rashnoo.vete@gmail.com

2-Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. Email: f.fatahnia@ilam.ac.ir

3-Ph.D, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. Email: sa.mousavi@ilam.ac.ir

4-Associate Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

Email: Y.mohammadi@ilam.ac.ir

5-Assistant Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. Email: m.shamsollahi@ilam.ac.ir

6-MSc graduated, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

*Corresponding author: Email: m.shamsollahi@ilam.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.91986.1236>

Introduction: Due to reduced rainfall and degradation of rangelands, some portion of ruminant feed is provided by agricultural by-products such as cereal straws and sugarcane bagasse (SB). A key strategy for achieving environmentally sustainable added value and providing animal feed is to convert agricultural by-products into animal feed. Sugarcane is one of the most important economic crops worldwide and is mostly used as a raw material in the sugar industry and it is produced in more than 100 countries around the world. Its biomass can be used as animal feed in many countries more than any other forage. The SB is one of the fibrous residues that remain after water extraction from the sugarcane stalk and can be used as a source of fodder for ruminants. However, it has been reported that these by-products have low protein (less than 3% on DM basis), high cellulose (more than 40% on DM basis), high hemicellulose (more than 35% on DM basis), high lignin (15% on DM basis), and low DM digestibility (20-30%). Some livestock producers use unprocessed SB in ruminant nutrition, which is not accompanied by desirable results on animal performance. Various methods including physical, chemical, and biological processing are used to change the physical and chemical nature of SB to improve its digestibility and nutritive value. Therefore, the current study aimed to investigate the effect of diets containing sugarcane bagasse (SB) treated with ammonia (NH₃) and sodium hydroxide (NaOH) for different times on chemical composition, ruminal fermentation parameters and dry matter (DM) and organic matter (OM) digestibility by gas production method.

Materials and Methods: The SB samples were obtained from a sugarcane factory located in Khuzestan province and treated with NH₃ and NaOH for 30 or 45 days under anaerobic condition. Experimental diets were 1- diet containing untreated SB stored for 30 days (Control-30), 2- diet containing treated SB with 5% NH₃ and stored for 30 days (NH₃ 5%-30), 3- diet containing treated SB with 4% NH₃ and 1% NaOH and stored for 30 days (NH₃ 4% + NaOH 1%-30), 4- diet containing treated SB with 3% NH₃ and 2% NaOH and stored for 30 days (NH₃ 3% + NaOH 2%-30), 5- diet containing untreated SB stored for 45 days (Control-45), 6- diet containing treated SB with 5% NH₃ and stored for 45 days (NH₃ 5%-45), 7- diet containing treated SB with 4% NH₃ and 1% NaOH solution stored for 45 days (NH₃ 4% + NaOH 1%-45) and 8- diet containing treated SB with 3% NH₃ and 2% NaOH solution stored for 45 days (NH₃ 3% + NaOH 2%-45). Experiment conducted by gas production (GP) technique based on

completely randomized design as 2×4 factorial. Chemical compositions (DM, OM, crude protein (CP) and neutral detergent fiber) of SB treated with different methods were measured after the end of processing. Then, *in vitro* ruminal fermentation parameters including 24 and 96 hours GP, partitioning factor, efficiency of microbial mass production, methane production and DM and OM digestibility were measured.

Results and Discussion: The results showed that treatment of SB with 5% NH₃ or 4% NH₃ and 1% NaOH and stored for 45 days had higher OM content than others ($P<0.05$). The greatest crude protein (CP) content was observed in SB treated with 5% NH₃ and stored for 30 or 45 days ($P<0.05$). The lowest neutral detergent fiber (NDF) content was observed in SB treated with 4% NH₃ and 1% NaOH or 3% NH₃ and 2% NaOH for 30 days ($P<0.05$). The lowest 24 h gas production (GP) was observed for Control-30 and Control-45 ($P<0.05$). The 24 h GP production of diets was increased with increasing NaOH for treating SB ($P<0.05$). Methane production, partitioning factor and efficiency of microbial mass production did not influence by processing method, storage time and their interaction ($P>0.05$). The greatest OM digestibility was observed for NH₃ 3% + NaOH 2%-30 diet ($P<0.05$). The greatest GP potential was observed for NH₃ 3% + NaOH 2%-30 and NH₃ 3% + NaOH 2%-45 diets ($P<0.05$). The lowest lag time was observed for NH₃ 3% + NaOH 2%-30 and NH₃ 3% + NaOH 2%-45 diets ($P<0.05$).

Conclusion: In general, according to these results, it seems that processing of SB with 3% NH₃ and 2% NaOH solution and storage for 30 days had better effect on its nutritive value.

Keywords: Ammonia, Sugarcane bagasse, Ruminant fermentation parameters, Sodium hydroxide.

تخمیر برون تنی جیره‌های دارای باگاس نیشکر فرآوری شده با آمونیاک و هیدروکسید سدیم در زمان‌های مختلف

احسان رشنو^۱، فرشید فتاح‌نیا^۲، سید رضاموسوی^۳، یحیی محمدی^۴، محمد شمس الهی^{۵*}، پریسا دارات

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، رایانامه: rashnoo.vete@gmail.com

۲- گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، رایانامه: f.fatahnia@ilam.ac.ir

۳- دانش‌آموخته دکتری تخصصی، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، رایانامه: sa.mousavi@ilam.ac.ir

۴- گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، رایانامه:

m.shamsolahi@ilam.ac.ir

۵- گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، رایانامه:

parisa.darat@gmail.com

*نویسنده مسئول: ایمیل: m.shamsolahi@ilam.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.91986.1236>

چکیده

هدف از مطالعه حاضر بررسی فرایندهای تخمیر برون تنی و گوارش پذیری ماده خشک و ماده آلی جیره‌های دارای باگاس نیشکر فرآوری شده با آمونیاک و هیدروکسید سدیم و ذخیره شده برای ۳۰ یا ۴۵ روز بود. نمونه‌های باگاس استفاده شده در جیره‌های آزمایشی شامل باگاس فرآوری نشده، باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۵ درصد، باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۴ درصد و هیدرواکسید سدیم ۱ درصد و باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۳ درصد و هیدرواکسید سدیم ۲ درصد بودند. بیشترین محتوی ماده آلی در باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۵ درصد یا آمونیاک ۴ درصد و هیدرواکسید ۱ درصد و ذخیره شده برای ۴۵ روز مشاهده شد. باگاس فرآوری شده با آمونیاک ۵ درصد و ذخیره شده برای ۳۰ یا ۴۵ روز محتوی پروتئین بیشتری داشت. کمترین محتوی الیاف شوینده خشی در باگاس فرآوری شده با آمونیاک ۵ درصد یا آمونیاک ۴ درصد و هیدرواکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره شده برای ۳۰ روز مشاهده شد. بیشترین میزان گاز تجمعی ۲۴ ساعت، قابلیت هضم ماده آلی و ماده خشک و پتانسیل تولید گاز و کمترین زمان تأخیر به جیره دارای باگاس فرآوری شده با آمونیاک ۳ درصد و هیدرواکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره شده برای ۳۰ یا ۴۵ روز ارتباط داشت. با توجه به این نتایج به نظر می‌رسد که فرآوری با محلول آمونیاک ۳ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره به مدت ۳۰ روز روش مناسب‌تری برای فرآوری باگاس نیشکر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آمونیاک، باگاس نیشکر، فراسنجه‌های تخمیر برون تنی، قابلیت هضم، هیدروکسید سدیم

مقدمه

ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک بیابانی است و با کمبود محصولات زراعی و علوفه‌ای مواجه است که باعث می‌شود دامپروران همواره با کمبود منابع خوراک دام روبه‌رو شوند. گاهی اوقات دسترسی به علوفه‌های با کیفیت بالا به دلیل بالا بودن هزینه تهیه آن‌ها، شرایط نامساعد جوی یا کمبود زمین و آب به‌ویژه در مناطق خشک جهان، محدود است. بنابراین، یافتن و شناسایی مواد خوارکی جدید برای پرورش حیوانات مزرعه‌ای و تعیین ارزش غذایی آن‌ها و همچنین تعیین احتیاجات غذایی حیوانات همیشه مورد توجه متخصصین و پژوهش‌گران علوم دامی بوده است. یکی از راه‌کارهای برطرف کردن مشکلات مربوط به تهیه خوراک استفاده از پسماندها یا محصولات فرعی زراعی یا صنعتی می‌باشد. پسماندهای محصولات کشاورزی می‌توانند بخش مهمی از خوراک نشخوارکنندگان را تأمین کنند اما در حال حاضر به دلیل کمبود مواد مغذی، قابلیت هضم پایین، حجیم بودن و هزینه‌های حمل و نقل بالا، کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر چند که برخی دامداری‌های کوچک بدون انجام هیچ‌گونه فرآوری از آن‌ها استفاده می‌کنند که بر عملکرد دام تأثیر منفی دارد (Madadi et al., 2023). یکی از این محصولات فرعی که اخیراً مورد توجه قرار گرفته است و به دلیل ارزان بودن به طور گسترده به عنوان جایگزین کاه گندم در واحدهای صنعتی و نیمه‌صنعتی پرورش دام استفاده می‌شود، باگاس یا تفالۀ نیشکر است. باگاس یا تفالۀ نیشکر به بقایای الیافی ساقۀ نیشکر پس از خردکردن و عصاره‌گیری گفته می‌شود (Brendt et al., 2002). در ایران سالیانه حجم انبوهی از باگاس نیشکر به خصوص در استان خوزستان تولید می‌شود. هر چند که مصرف باگاس به عنوان بخشی از مواد الیافی جیره غذایی دام مرسوم شده است، اما قابلیت هضم و تجزیه‌پذیری آن به دلیل ماهیت

فیزیکی-شیمیایی و بالا بودن محتوای لیگنین بسیار پایین است و استفاده زیاد از آن در جیره باعث کاهش مصرف خوراک، اختلالات گوارشی و کاهش عملکرد حیوان خواهد شد (Shahbazi et al., 2009). یکی از راه کارهای افزایش قابلیت استفاده از خوراک‌های با قابلیت هضم پایین مانند باگاس در جیره نشخوارکنندگان، فرآوری آن است. از روش‌های مختلف فرآوری شامل فیزیکی، شیمیایی، فیزیکی-شیمیایی، بیولوژیکی و غیره برای بهبود ارزش تغذیه‌ای پسماندهای کشاورزی استفاده می‌شود که هر کدام دارای معایب و مزایایی هستند (Chaudbry, 2000). فرآوری باعث تغییر ماهیت فیزیکی-شیمیایی این منابع خوراکی به منظور شکستن اجزای دیواره سلولی می‌شود. بنابراین سبب بهبود قابلیت هضم آن‌ها می‌شود. از روش‌های فرآوری شیمیایی می‌توان به فرآوری با آمونیاک، سدیم هیدروکسید، کلسیم اکسید و اوره اشاره کرد (Dehghani et al., 2011). آمونیاک و هیدروکسید سدیم از جمله ترکیبات قلیایی می‌باشند که سبب شکستن پیوند لیگنین-سلولز شده و در نتیجه سبب افزایش قابلیت هضم آن می‌شوند. علاوه بر این، فرآوری با آمونیاک سبب افزایش محتوای نیتروژن باگاس هم می‌شود. مانند سایر مواد خشبی، در مورد بهبود ارزش تغذیه‌ای باگاس نیشکر پژوهش‌هایی انجام شده است اما اثرگذاری هر روش بستگی به عوامل مختلف مانند ترکیب شیمیایی باگاس، نوع واریته، نوع خاک و ... متفاوت خواهد بود، زیرا ترکیبات شیمیایی باگاس بسته به نوع خاک، شرایط اقلیمی، سال زراعی، نحوه برداشت و واریته آن متفاوت است (Givens et al., 1989). یکی از عواملی که ممکن است فرآوری شیمیایی باگاس را تحت تأثیر قرار دهد، مدت زمان فرآوری می‌باشد که در مورد باگاس تاکنون کار مشابهی انجام نشده است. ما فرض کردیم که فرآوری باگاس نیشکر با مخلوط هیدرواکسید سدیم و آمونیاک در زمان طولانی تر ممکن است تأثیر بیشتری بر ارزش غذایی آن داشته باشد. بنابراین در این مطالعه، تخمیر برون تنی جیره‌های دارای باگاس فرآوری شده با محلول دارای سطوح مختلف آمونیاک و هیدروکسید سدیم به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز بررسی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

باگاس نیشکر از مجتمع کشت و صنعت هفت تپه واقع در استان خوزستان تهیه شد. نمونه‌های باگاس پس از خشک شدن در آون، توسط آسیاب دارای الک یک میلی‌متری خرد شد. برای هر روش فرآوری، ۶ نمونه ۱ کیلوگرمی باگاس نیشکر در نظر گرفته شد. به هر کیلوگرم باگاس نیشکر یک لیتر محلول اضافه و کاملاً مخلوط شد (Gunun et al., 2016). در این آزمایش، نمونه‌های باگاس با محلول آمونیاک ۵ درصد، محلول آمونیاک ۴ درصد و هیدرواکسید سدیم یک درصد یا محلول آمونیاک ۳ درصد و هیدرواکسید سدیم ۲ درصد فرآوری شدند. نمونه‌ها باگاس مخلوط شده با محلول مواد شیمیایی و ۳ نمونه شاهد برای مدت ۳۰ یا ۴۵ روز در دمای اتاق و در دورن نایلون سیلو شدند. پس از زمان مورد نظر، نمونه‌ها از درون نایلون خارج و به مدت ۵ روز در معرض هوا قرار گرفتند و پس از خشک شدن کامل برای آنالیز شیمیایی ذخیره شدند. جیره‌های آزمایشی برای بره‌های پرواری (NRC, 2007) تهیه و آماده شدند. جیره‌های آزمایشی شامل ۱- جیره دارای باگاس فرآوری نشده و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز، ۲- جیره دارای باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۵ درصد و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز، ۳- جیره دارای باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۴ درصد و هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز، ۴- جیره دارای باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۳ درصد و هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز، ۵- جیره دارای باگاس فرآوری نشده و ذخیره شده به مدت ۴۵ روز، ۶- جیره دارای باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۵ درصد و ذخیره شده به مدت ۴۵ روز، ۷- جیره دارای باگاس فرآوری شده با

محلول آمونیاک ۴ درصد و هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره شده به مدت ۴۵ روز و ۸- جیره دارای باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۳ درصد و هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره شده به مدت ۴۵ روز بودند. مواد خوراکی تشکیل دهنده جیره در جدول ۱ آمده است.

اندازه‌گیری ترکیب شیمیایی

محتوای ماده خشک، ماده آلی و پروتئین خام نمونه‌های باگاس بر اساس روش‌های استاندارد (AOAC, 2007) و الیاف شوینده خنثی نمونه‌ها براساس روش پیشنهادی (Van Soest *et al.*, 1991) اندازه‌گیری شد.

آزمون تولید گاز ۲۴ و ۹۶ ساعت

برای تعیین فراسنجه‌های تولید گاز، مایع شکمبه با استفاده از لوله مری از ۲ رأس گاو هلشتاین بالغ جمع‌آوری شد. برای اندازه‌گیری فراسنجه‌های تولید گاز از روش ماکار (۲۰۱۰)، بلومل و همکاران (۱۹۹۷) و منک و همکاران (۱۹۷۹) استفاده شد (Makkar, 2010; Blummel *et al.*, 1997; Menke *et al.*, 1979). برای آزمون تولید گاز ۲۴ ساعت، ۵۰۰ میلی‌گرم و برای آزمون تولید گاز ۹۶ ساعت، ۲۰۰ میلی‌گرم وزن خشک از هر کدام از جیره‌های آزمایشی به درون بطری‌های ۱۲۰ میلی‌لیتری مخصوص تولید گاز ریخته و تا زمان انجام آزمایش در آون با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. لازم به ذکر است که آزمون تولید گاز ۲۴ و ۹۶ ساعت ۲ بار با فاصله یک هفته (Run) انجام شد، به گونه‌ای 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 کم‌مصرف، رزازورین، محلول احیا کننده و آب مقطر استفاده شد. با استفاده از پیپت اتوماتیک، ۴۰ میلی‌لیتر از محیط کشت (مخلوط مایع شکمبه و بزاق مصنوعی) به داخل هر بطری حاوی نمونه خوراک و بطری‌های خالی (بلانک) از قبل آماده شده (نگهداری شده در دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد) ریخته شد. 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 سانتی‌گراد منتقل شد. بلافاصله بعد از انتقال تمام بطری‌ها به داخل انکوباتور، گاز تمام بطری‌ها توسط فرو کردن سرسوزن فلزی در قسمت لاستیکی درب ویال، خارج شد تا تولید گاز در ابتدای انکوباسیون، صفر شود. سپس برای آزمون تولید گاز ۲۴ ساعت، فشار گاز درون بطری‌ها 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.

جدول ۱- مواد خوراکی تشکیل دهنده جیره پایه آزمایشی دارای باگاس فرآوری شده با روش‌های مختلف در زمان‌های متفاوت

Table 1- Feed ingredients of experimental diets containing bagasse processed by different methods at different times.

	زمان فرآوری ۳۰ روزه				زمان فرآوری ۴۵ روزه			
	30 days processing time				45 days processing time			
	روش ۱ Method 1	روش ۲ Method 2	روش ۳ Method 3	روش ۴ Method 4	روش ۱ Method 1	روش ۲ Method 2	روش ۳ Method 3	روش ۴ Method 4
ماده خوراکی (درصد از ماده خشک)								
باگاس (تفاله نیشکر)	15	15	15	15	15	15	15	15
Bagasse (sugarcane bagasse)								
علوفه خشک یونجه	10	10	10	10	10	10	10	10
Alfalfa hay								
کاه گندم	5	5	5	5	5	5	5	5
Wheat straw								
میوه بلوط	22	22	22	22	22	22	22	22
Oak acorn								
پودر هسته خرما	8	8	8	8	8	8	8	8
Date kernel powder								
دانه ذرت	5	5	5	5	5	5	5	5
Corn grain								
دانه جو	5	5	5	5	5	5	5	5
Barley grain								
ملاس	3.8	3.9	3.8	3.8	3.8	3.9	3.8	3.8
Molasses								
کنجاله سویا	3	3	3	3	3	3	3	3
Soybean meal								
پودر جوجه	7	7	7	7	7	7	7	7
Chicken powder								
اوره	1.1	1	1.1	1.1	1.1	1	1.1	1.1
Urea								
کنجاله گلوتن ذرت	1	1	1	1	1	1	1	1
Corn gluten meal								
پودر ماهی	1	1	1	1	1	1	1	1
Fish meal								
تفاله زیتون	8	8	8	8	8	8	8	8
Olive pomace								
سبوس گندم	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Wheat bran								
بیکربنات سدیم	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Sodium bicarbonate								
مکمل مواد معدنی و ویتامین ۱	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Mineral and vitamin supplement								
نمک	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Salt								

۱- در هر کیلوگرم از مکمل مواد معدنی و ویتامین، ۵۰۰۰۰ 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 میلی‌گرم ید، ۱ میلی‌گرم سلنیوم و ۴۰۰ میلی‌گرم آنتی‌اکسیدان بود.

1- Each kilogram of mineral and vitamin supplement contains 500,000 IU vitamin A, 100,000 IU 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.

روش ۱- باگاس فرآوری نشده، ۲- باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۵ درصد، ۳- باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۴ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ۴- باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۳ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد.

1 Method 1- Unprocessed bagasse, 2- Bagasse processed with 5% ammonia solution, 3- Bagasse processed with 4% ammonia solution and 1% sodium hydroxide solution, and 4- Bagasse processed with 3% ammonia solution and 2% sodium hydroxide solution.

پس از ثبت گاز در هر زمان، فشار گاز توسط سروسوزن خارج شد و فشار گاز بر حسب پاسکال توسط محاسبات ریاضی تبدیل به میلی لیتر شد (Blummel et al., 1999). بعد از این که حجم گاز تولید شده بطری‌ها در فواصل زمانی مختلف انکوباسیون تا پایان ۲۴ ساعت یا ۹۶ ساعت ثبت شد، تولید گاز خالص با کسر مجموع حجم گاز تولید شده توسط نمونه خوراک در زمان‌های مختلف انکوباسیون از میانگین حجم گاز بلانک به دست آمد.

میانگین حجم گاز بلانک (ml) - مجموع حجم تولید گاز خوراک در زمان‌های مختلف انکوباسیون (ml) = حجم تولید گاز خالص (ml)

اندازه‌گیری تجزیه‌پذیری ماده خشک و ماده آلی

با پایان زمان آزمایش اندازه‌گیری تولید گاز (۲۴ ساعت) و ثبت میزان گاز و خالی کردن گاز، بطری‌های شیشه‌ای برای خنک شدن به یخچال با دمای ۳ تا ۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. اندازه‌گیری تجزیه‌پذیری ماده خشک و ماده آلی با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.

$$\text{تجزیه‌پذیری ماده خشک (\%)} = \frac{\text{ماده خشک تجزیه‌نشده (میلی گرم)} - \text{ماده خشک ریخته‌شده در بطری (میلی گرم)}}{\text{ماده خشک ریخته‌شده در بطری (میلی گرم)}} \times 100$$

$$1000 \times [\text{وزن کروسپیل خالی (گرم)} - \text{وزن کروسپیل حاوی باقیمانده (گرم)}] = \text{ماده خشک تجزیه‌نشده (میلی گرم)}$$

$$500 \text{ میلی گرم} \times (100 \div \text{درصد ماده خشک نمونه خوراک}) = \text{ماده خشک ریخته‌شده در بطری (میلی گرم)}$$

برای اندازه‌گیری تجزیه‌پذیری ماده آلی، پس از پایان مرحله آون‌گذاری و توزین کروسپیل‌ها، کروسپیل‌ها در داخل کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت خاکسترگیری شدند. پس از انتقال به درون دسیکاتور، وزن آن‌ها ثبت و از وزن کروسپیل خالی کم شد تا مقدار خاکستر (b) به دست آید. سپس مقدار خاکستر (b) از مقدار ماده خشک تجزیه نشده (a) 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:

$$\text{ماده خشک ریخته‌شده در بطری (میلی گرم)} \times (100 \div \text{درصد ماده آلی نمونه خوراک}) = \text{ماده آلی ریخته‌شده در بطری (c)}$$

$$(a - b) = \text{ماده آلی تجزیه‌شده (میلی گرم)}$$

$$(a - b) = \text{ماده آلی تجزیه‌نشده}$$

اندازه‌گیری فاکتور تفکیک شوندگی

برای تعیین فاکتور تفکیک شوندگی، مقدار ماده آلی تجزیه شده (میلی گرم) و حجم گاز خالص ۲۴ ساعت (میلی لیتر) موردنیاز است. فاکتور تفکیک به شکل زیر محاسبه شد:

$$\text{فاکتور تفکیک} = \frac{\text{ماده آلی تجزیه‌شده (میلی گرم)}}{\text{حجم گاز خالص (میلی لیتر)}}$$

$$(a - b) = \text{ماده آلی تجزیه شده (میلی گرم)}$$

تخمین تولید و بهره‌وری تولید توده میکروبی

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

میلی گرم ماده خوراکی که به طور حقیقی تجزیه شده - (میلی لیتر حجم گاز $\times$ فاکتور استوکیومتری) = تولید توده میکروبی (میلی گرم)

یا:

$(2/34 \times \text{تولید خالص گاز بر حسب میلی لیتر}) - [C - (a-b)] = \text{تولید توده میکروبی (میلی گرم)}$

C: ماده آلی ریخته شده در بطری (میلی گرم)

(a-b): ماده آلی تجزیه نشده (میلی گرم)

(C - (a-b)): ماده آلی تجزیه شده (میلی گرم)

اندازه‌گیری 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 ۴ میلی لیتر هیدروکسید سدیم ۱۰ مولار به محتویات 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 سرنگ یا بطری شیشه‌ای معادل گاز متان بود (Fievez et al., 2005).

حجم گاز باقیمانده در سرنگ یا 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 فراسنجه‌های 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 (۲۰۰۰) و روش مک‌دونالد (McDonald, 1981) به دست آمد.

آنالیز آماری داده‌ها

آنالیز آماری داده‌ها به صورت فاکتوریل 2×4 در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. فاکتور اول شامل انواع روش‌های فرآوری و فاکتور دوم شامل مدت زمان فرآوری بود. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از روش توکی و در سطح آماری ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی باگاس

اثر روش‌های مختلف فرآوری و مدت زمان فرآوری بر ترکیب شیمیایی باگاس در جدول ۲ آمده است. باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۴ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره شده به مدت ۳۰ روز (روش ۳) و باگاس فرآوری نشده و ذخیره شده به مدت ۴۵ روز (روش ۱) دارای بالاترین و باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۵

درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز (روش ۲) و باگاس فرآوری‌شده با محلول آمونیاک ۴ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۴۵ روز (روش ۳) پایین‌ترین میزان ماده خشک را داشتند ($P < 0.05$). ماده آلی باگاس تحت تأثیر زمان فرآوری، نوع فرآوری و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت به طوری که باگاس فرآوری‌شده با محلول آمونیاک ۵ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۴۵ روز (روش ۲) و باگاس فرآوری‌شده با محلول آمونیاک ۴ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۴۵ روز (روش ۳) دارای بیشترین میزان ماده آلی بودند. محتوای الیاف شوینده خنثی باگاس تحت تأثیر زمان فرآوری قرار نگرفت ($P > 0.05$)، اما نوع فرآوری و برهم‌کنش نوع و زمان فرآوری به طور معنی‌داری محتوای الیاف شوینده خنثی باگاس را تحت تأثیر قرار دادند به طوری که باگاس فرآوری‌شده با محلول آمونیاک ۴ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز (روش ۳) و باگاس فرآوری‌شده با محلول آمونیاک ۳ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز (روش ۴) کمترین میزان الیاف شوینده خنثی را داشتند ($P < 0.05$).

دهقانی و همکاران (Dehghani et al., 2021)، گزارش کردند که فرآوری باگاس نیشکر با محلول اوره باعث کاهش درصد الیاف شوینده خنثی آن شد. دیواره سلولی گیاه در اثر فرآوری با مواد شیمیایی قلیایی مانند هیدروکسید سدیم یا آمونیاک تخریب می‌شود (Berger et al., 2019; Herrera Saldana et al., 1983)، هر چند میزان تخریب ممکن است بستگی به شرایط فرآوری و نوع علوفه فرآوری‌شده، متفاوت باشد (Herrera Saldana et al., 1983). بنابراین کاهش میزان الیاف شوینده خنثی پس از فرآوری با آمونیاک و هیدروکسید سدیم را می‌توان به دنبال تجزیه اجزای ساختاری دیواره سلولی و به طور ویژه همی‌سلولز نسبت داد. این کاهش الیاف شوینده خنثی احتمالاً می‌تواند دلیل کاهش میزان ماده خشک و ماده آلی در باگاس فرآوری‌شده در مقایسه با باگاس فرآوری‌نشده باشد. ون‌سوست (۲۰۰۶) گزارش کرد که فرآوری شیمیایی مواد خوراکی با محلول هیدروکسید سدیم به خاطر فعالیت شیمیایی قوی آن باعث اتلاف و خروج بخشی از ترکیبات گیاه و بنابراین کاهش ماده خشک و ماده آلی خوراک می‌شود (Van Soest, 2006). در آزمایش دهقانی و همکاران (Dehghani et al., 2021)، درصد پروتئین خام باگاس نیشکر فرآوری‌شده با اوره و در آزمایش ریبیرو و همکاران (Ribeiro et al., 2020) درصد پروتئین خام کاه گندم و کاه برنج فرآوری‌شده با اوره افزایش یافت. در آزمایش حاضر افزایش محتوای پروتئین خام باگاس فرآوری‌شده با آمونیاک را می‌توان به وجود عنصر نیتروژن در ساختمان آمونیاک ارتباط داد.

فراسنجه‌های تخمیر برون‌تنی جیره‌های آزمایشی

جدول ۳ فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای جیره‌های دارای باگاس فرآوری‌شده با روش‌های مختلف در زمان‌های متفاوت را نشان می‌دهد. تولید گاز تجمعی ۲۴ ساعت تحت تأثیر زمان فرآوری و برهم‌کنش زمان و نوع فرآوری قرار نگرفت ($P > 0.05$)، اما نوع فرآوری، تولید گاز تجمعی ۲۴ ساعت را تحت تأثیر قرار داد، به طوری که جیره دارای باگاس فرآوری‌شده با محلول آمونیاک ۳ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز (روش ۴) بیشترین و جیره‌های شاهد (جیره دارای باگاس فرآوری‌نشده و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز) دارای کمترین مقدار تولید گاز تجمعی ۲۴ ساعت بودند ($P < 0.05$). اثر نوع فرآوری، زمان فرآوری و برهم‌کنش آن‌ها بر تولید گاز متان، فاکتور تفکیک شونده و بازده تولید توده میکروبی معنی‌دار نبود ($P > 0.05$).

جدول ۲- اثر روش‌های مختلف فرآوری^۱ و مدت زمان فرآوری بر ترکیب شیمیایی باگاس

Table 2- Effect of different processing methods and processing time on the chemical composition of bagasse

روش Method	۳۰ روز فرآوری 30 days processing								۴۵ روز فرآوری 45 days processing				P-value	
	SEM	روش ۴ Method 4	روش ۳ Method 3	روش ۲ Method 2	روش ۱ Method 1	روش ۴ Method 4	روش ۳ Method 3	روش ۲ Method 2	روش ۱ Method 1	زمان	فرآوری	زمان × فرآوری		
										Time	Processing	Time × Processing		
صفت Parameters														
ماده خشک (درصد) Dry matter (%)	0.16	95.22 ^c	94.50 ^d	96.25 ^b	97.20 ^a	95.25 ^c	97.18 ^a	94.25 ^d	95.35 ^c	0.02	0.01	0.01		
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	0.13	94.95 ^b	95.61 ^a	95.66 ^a	92.72 ^d	88.08 ^f	87.55 ^g	91.74 ^e	93.75 ^c	0.01	0.01	0.01		
پروتئین خام (درصد) Crude protein (%)	0.15	3.26 ^c	3.09 ^{dc}	4.34 ^a	2.53 ^e	3.56 ^{bc}	3.96 ^{ab}	4.40 ^a	2.65 ^d	0.01	0.01	0.05		
الیاف شوینده خنثی (درصد) Neutral detergent fiber (%)	0.34	89.00 ^b	88.50 ^{bc}	88.57 ^{bc}	90.69 ^a	87.73 ^c	87.72 ^c	89.19 ^b	91.33 ^a	0.42	0.01	0.02		

روش ۱- باگاس فرآوری نشده، ۲- باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۵ درصد، ۳- باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۴ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ۴- باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۳ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد.

Method 1- Unprocessed bagasse, 2- Bagasse processed with 5% ammonia solution, 3- Bagasse processed with 4% ammonia solution and 1% sodium hydroxide solution, and 4- Bagasse processed with 3% ammonia solution and 2% sodium hydroxide solution.

^{a-b}در هر ردیف بین اعداد با حروف متفاوت اختلاف معنی دار وجود دارد ($P < 0.05$).

^{a-b}Means in the same rows with different superscripts are significantly different with ($P < 0.05$).

جدول ۳- فراسنجه‌های تخمیر برون‌تنی جیره‌های دارای باگاس فرآوری‌شده با روش‌های مختلف* در زمان‌های متفاوت

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

روش Method	۳۰ روز فرآوری 30 days processing				۴۵ روز فرآوری 45 days processing				SEM	P-value			
	Method 1	روش ۱ Method 2	روش ۲ Method 3	Method 4	Method 1	روش ۱ Method 2	روش ۲ Method 3	Method 4		Time	زمان	Processin g	Time × Processin g
Parameters													
تولید گاز تجمعی ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر در ۵۰۰ میلی‌گرم ماده خشک) 24-hour cumulative gas production (ml/500 mg DM)	50.47 ^c	58.22 ^b	61.19 ^{ab}	65.83 ^a	52.63 ^c	60.13 ^b	61.30 ^{ab}	63.06 ^{ab}	1.72	0.77	0.01	0.03	
تولید گاز متان (میلی‌لیتر در ۵۰۰ میلی‌گرم ماده خشک) Methane gas production (ml/500 mg DM)	8.34	8.91	8.59	8.79	8.85	9.07	8.73	8.20	1.60	0.95	0.99	0.98	
فاکتور تفکیک شونده Partitioning factor	4.68	4.61	4.60	4.51	4.45	4.38	4.73	4.33	0.16	0.27	0.49	0.63	
بازده تولید توده میکروبی (درصد) Microbial mass production efficiency (%)	55.46	53.46	54.35	53.31	52.28	52.66	54.85	52.31	1.46	0.34	0.68	0.72	
قابلیت هضم ماده خشک (درصد) Dry matter digestibility (%)	50.61 ^b	59.85 ^a	51.38 ^b	60.82 ^a	54.87 ^b	64.39 ^a	53.89 ^b	62.41 ^a	1.5	0.07	0.01	0.02	
قابلیت هضم حقیقی ماده آلی (درصد) True organic matter digestibility (%)	51.04 ^d	55.74 ^{cd}	60.16 ^{abc}	65.40 ^a	51.91 ^d	56.67 ^{bcd}	62.64 ^{abc}	63.09 ^{ab}	2.21	0.75	0.01	0.04	

روش ۱- باگاس فرآوری‌نشده، ۲- باگاس فرآوری‌شده با محلول آمونیاک ۵ درصد، ۳- باگاس فرآوری‌شده با محلول آمونیاک ۴ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ۴- باگاس فرآوری‌شده با محلول آمونیاک ۳ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد.

¹ Method 1- Unprocessed bagasse, 2- Bagasse processed with 5% ammonia solution, 3- Bagasse processed with 4% ammonia solution and 1% sodium hydroxide solution, and 4- Bagasse processed with 3% ammonia solution and 2% sodium hydroxide solution.

^{a-b}Means in the same rows with different superscripts are significantly different with ($P<0.05$).

^{a-b}در هر ردیف بین اعداد با حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P<0.05$).

قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی تحت تأثیر زمان فرآوری و برهم‌کنش زمان و نوع فرآوری قرار نگرفت ($P > 0.05$)، اما نوع فرآوری، قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی را تحت تأثیر قرار داد، به طوری که جیره دارای باگاس فرآوری‌شده با محلول آمونیاک ۵ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز (روش ۲) و جیره دارای باگاس فرآوری‌شده با محلول آمونیاک ۳ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز (روش ۴) دارای بیشترین مقدار قابلیت هضم ماده خشک و جیره شاهد (دارای باگاس فرآوری‌نشده و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز) و جیره دارای باگاس فرآوری‌شده با محلول آمونیاک ۴ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز (روش ۳) کمترین میزان قابلیت هضم ماده آلی را داشتند. به علاوه، جیره دارای باگاس فرآوری‌شده با محلول آمونیاک ۳ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز (روش ۴) بیشترین میزان قابلیت هضم ماده آلی و جیره‌های شاهد (جیره دارای باگاس فرآوری‌نشده و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز) کمترین مقدار قابلیت هضم ماده آلی را داشتند ($P < 0.05$).

افزودن مواد شیمیایی مانند آمونیاک و هیدروکسید سدیم به خوراک‌ها معمولاً با هدف افزایش قابلیت هضم مواد غذایی الیافی مانند باگاس نیشکر استفاده می‌شود. در واقع، هدف از فرآوری شیمیایی، شکستن ساختار پیچیده الیاف و کاهش محتوای لیگنین خوراک است که باعث افزایش دسترسی میکروارگانیسم‌های شکمبه به لایه‌های زیرین لیگنین و بنابراین افزایش تجزیه‌پذیری می‌شود. این فرآوری‌ها ماتریکس لیگنین-کربوهیدرات را شکسته و اجزای سلولز و همی سلولز گیاه را برای تخریب میکروبی در دسترس میکروارگانیسم‌ها قرار می‌دهند (Owens and Basalan, 2016). مطابق با نتایج آزمایش حاضر، هیدروکسید سدیم به طور معنی‌داری باعث افزایش تولید گاز کاه برنج (Liu *et al.*, 1999) و کاه کنجد (Malekkhahi *et al.*, 2012) شد. دونگیان و همکاران (۲۰۱۴)، گزارش کردند که فرآوری کاه گندم با آمونیاک به طور قابل توجهی تولید گاز را افزایش داد و باعث بهبود تجزیه‌پذیری ماده خشک کاه گندم شد. فرآوری با آمونیاک، نیتروژن را برای هضم بی‌هوازی میکروبی فراهم می‌کند و بنابراین با افزایش تولید کل اسیدهای چرب فرار و بهبود نسبت مولی پروپیونات، فرآیند تخمیر و تولید گاز را بهبود می‌بخشد (Dongyan *et al.*, 2014). فرآوری مواد خوراکی الیافی با آمونیاک و هیدروکسید سدیم می‌تواند تجزیه ساختارهای پیچیده الیاف و دسترسی به مواد آلی را برای تخمیر میکروبی در شکمبه افزایش داده و بنابراین باعث بهبود قابلیت هضم شوند (Wong *et al.*, 2018). مطالعات مختلف بهبود قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی خوراک‌های الیافی در اثر فرآوری با محلول‌های شیمیایی مختلف را گزارش کردند. برای مثال، افزایش قابلیت هضم ماده آلی باگاس نیشکر فرآوری‌شده با محلول آمونیاک (Okano *et al.*, 2005) یا هیدروکسید سدیم (Singh and Jackson, 1971; Playne, 1984; Playne, 1984)، افزایش قابلیت هضم ماده خشک کاه گندم (Herrera-Saldana *et al.*, 1983; Dongyan *et al.*, 2014) یا کاه برنج (Liu *et al.*, 1999) فرآوری‌شده با هیدروکسید سدیم یا اوره گزارش شده است. این نتایج اثرات مثبت آمونیاک و هیدروکسید سدیم را بر توانایی هضم ماده آلی در منابع الیافی نشان می‌دهند. این ترکیبات به شکستن ساختارهای پیچیده فیبر کمک می‌کنند، ماده آلی را برای تخمیر میکروبی قابل دسترس‌تر می‌کنند و قابلیت هضم آن را بهبود می‌بخشند. افزایش قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی در مواد خوراکی فرآوری‌شده نسبت به شاهد نشان دهنده اثر آمونیاک و هیدروکسید سدیم بر افزایش میزان قابلیت هضم خوراک نسبت به مواد خوراکی فرآوری‌نشده است. قابلیت هضم یک خوراک همبستگی بالایی با ترکیبات تشکیل‌دهنده آن خوراک دارد به طوری که با افزایش محتوای الیاف شوینده خنثی و اسیدی یا لیگنین در خوراک، قابلیت هضم کاهش می‌یابد (Van

soest, 1994). در مطالعه حاضر، فرآوری‌ها به طور معنی‌داری باعث کاهش محتوای الیاف شوینده خنثی در باگاس شدند که احتمالاً می‌تواند دلیل افزایش قابلیت هضم باگاس در اثر فرآوری باشد. به طور کلی، محلول‌های آمونیاک و هیدروکسید سدیم با تخریب دیواره سلولی گیاه و سست کردن پیوندهای بین لیگنین، سلولز و همی‌سلولز، باعث افزایش دسترسی میکروارگانیزم‌های شکمبه به لایه‌های زیرین لیگنین یعنی سلولز و همی‌سلولز شده (Wanapat, 1990) و از این طریق باعث افزایش تخمیر و تولید گاز و در نتیجه افزایش تجزیه‌پذیری و قابلیت هضم ماده خشک یا ماده آلی باگاس شد.

پارامترهای تولید گاز جیره‌های آزمایشی

جدول ۴ پارامترهای تولید گاز جیره‌های دارای باگاس فرآوری‌شده با روش‌های مختلف در زمان‌های متفاوت را نشان می‌دهد. تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت و پتانسیل تولید گاز تحت تأثیر زمان فرآوری و برهم‌کنش زمان و نوع فرآوری قرار نگرفت ($P > 0.05$)، اما نوع فرآوری تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت و پتانسیل تولید گاز را تحت تأثیر قرار داد به طوری که جیره دارای باگاس فرآوری‌شده با محلول آمونیاک ۳ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد ذخیره‌شده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز (روش ۴) بیشترین تولید گاز تجمعی ۹۶ و پتانسیل تولید گاز را داشتند ($P < 0.05$). نرخ تولید گاز تحت تأثیر زمان فرآوری، نوع فرآوری و برهم‌کنش آن‌ها قرار نگرفت ($P > 0.05$). زمان فرآوری و برهم‌کنش زمان و نوع فرآوری زمان تأخیر را تحت تأثیر قرار نداد ($P > 0.05$)، اما نوع فرآوری زمان تأخیر را تحت تأثیر قرار داد به طوری که بین جیره‌های آزمایشی، جیره شاهد (جیره دارای باگاس فرآوری‌نشده و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز) بیشترین و جیره‌های دارای باگاس فرآوری‌شده با محلول آمونیاک ۳ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز (روش ۴) و جیره دارای باگاس فرآوری‌شده با محلول آمونیاک ۴ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۴۵ روز (روش ۳)، کمترین زمان تأخیر را داشتند ($P > 0.05$). تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت و پتانسیل تولید گاز تحت تأثیر ترکیب خوراک شامل محتوای کربوهیدرات، ترکیب الیاف و سایر اجزای قابل تخمیر می‌باشد. ترکیبات مختلف خوراک به دلیل تفاوت در ترکیب مواد مغذی و قابلیت تخمیر، پتانسیل تولید گاز متفاوتی دارند. پتانسیل تولید گاز یک پارامتر مهم در ارزیابی ارزش غذایی خوراک است، زیرا نشانه‌هایی از تخمیرپذیری و در دسترس بودن انرژی آن‌ها در شکمبه را ارائه می‌دهد. علاوه بر آن می‌توان از آن برای مقایسه خوراک‌های مختلف و ارزیابی مناسب بودن آن‌ها در جیره نشخوارکنندگان استفاده کرد (Silva et al., 2015; Sallam et al., 2007). همسو با نتایج مطالعه حاضر، مانیوچی و همکاران (۱۹۹۲)، گزارش کردند که فرآوری کاه جو با آمونیاک به‌طور معنی‌داری تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت را افزایش داد (Manyuchi et al., 1992). فرآوری باگاس با محلول آمونیاک و هیدروکسید سدیم از طریق شکستن دیواره سلولی و سست کردن پیوند لیگنین با سلولز و همی‌سلولز باعث افزایش دسترسی آنزیم‌های میکروبی به کربوهیدرات‌های ساختمانی موجود در لایه‌های زیرین لیگنین و در نتیجه افزایش تخمیر و تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت و افزایش پتانسیل تولید گاز باگاس فرآوری‌شده در مقایسه با جیره‌های شاهد شد. از سوی دیگر، پتانسیل تولید گاز با محتوای الیاف شوینده خنثی رابطه عکس دارد (Van soest, 1994)، بنابراین کاهش محتوای الیاف شوینده خنثی در باگاس فرآوری‌شده با آمونیاک یا هیدروکسید سدیم در مقایسه با باگاس فرآوری‌نشده احتمالاً می‌تواند دلیل افزایش تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت و پتانسیل تولید گاز جیره‌های دارای باگاس فرآوری‌شده باشد.

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

روش Method	۳۰ روز فرآوری 30 days processing				۴۵ روز فرآوری 45 days processing				SEM	P-value				
	Method 1	روش ۱ Method 2	روش ۲ Method 3	Method 4	روش ۳ Method 1	روش ۴ Method 2	Method 3	Method 4		Time	زمان	Processing	Time × Processing	زمان × فرآوری
Parameters														
تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت (میلی لیتر در ۲۰۰ میلی گرم ماده خشک)	54.37	51.83	54.82	57.37	55.90	52.88	55.60	57.78	1.47	0.22	0.01	0.95		
96-hour cumulative gas production (ml/200 mg DM)														
A (پتانسل تولید گاز؛ میلی لیتر در ۲۰۰ میلی گرم ماده خشک)	3.89 ^d	4.76 ^c	5.03 ^c	6.01 ^a	4.13 ^d	4.96 ^c	5.61 ^b	6.06 ^a	0.12	0.09	0.01	0.02		
A (Gas production potential ml/200 mg DM)														
C (نرخ تولید گاز؛ میلی لیتر در ساعت)	0.22	0.22	0.21	0.15	0.18	0.17	0.15	0.18	0.02	0.07	0.40	0.19		
C (gas production rate; ml/hour)														
زمان تأخیر (ساعت)	0.89 ^a	0.30 ^{bc}	0.43 ^{abc}	0.00 ^c	0.65 ^{ab}	0.19 ^{bc}	0.11 ^c	0.00 ^c	0.15	0.15	0.01	0.05		
Lag time (hours)														

روش ۱- باگاس فرآوری نشده، ۲- باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۵ درصد، ۳- باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۴ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۱ درصد و ۴- باگاس فرآوری شده با محلول آمونیاک ۳ درصد و محلول هیدروکسید سدیم ۲ درصد.

Method 1- Unprocessed bagasse, 2- Bagasse processed with 5% ammonia solution, 3- Bagasse processed with 4% ammonia solution and 1% sodium hydroxide solution, and 4- Bagasse processed with 3% ammonia solution and 2% sodium hydroxide solution.

^bPدار وجود دارد (۰/۰۵ < در هر ردیف بین اعداد با حروف متفاوت اختلاف معنی)

^(a-b)Means in the same rows with different superscripts are significantly different with ($P < 0.05$).

زمان تأخیر تولید گاز نشان‌دهنده زمان مورد نیاز برای جمعیت میکروبی در شکمبه است تا شروع به تولید مقادیر قابل توجهی گاز به عنوان محصول جانبی فعالیت‌های متابولیکی خود کنند (Van Soest, 1991). هر چه این زمان کمتر باشد نشان‌دهنده فرآوری بهتر منابع علوفه‌ای است (Van Kujik *et al.*, 2016). زمان تأخیر تولید گاز تحت تأثیر ترکیب و ساختار خوراک و همچنین جمعیت میکروبی و توانایی آن‌ها در تجزیه اجزای خوراک است. مواد الیافی خوراک، معمولاً به دلیل ساختار الیافی پیچیده و مقاوم، زمان تأخیر بیشتری دارند. از آنجا که قابلیت هضم چنین مواد خوراکی نیز پایین است، بنابراین طولانی‌تر بودن زمان تأخیر به ویژه زمانی که سطح مصرف خوراک بالا باشد موجب می‌شود که بخش بیشتری از خوراک بدون هضم از شکمبه عبور می‌کند (Sahnoune *et al.*, 1991). در مطالعه حاضر، فرآوری باگاس با آمونیاک و هیدروکسید سدیم باعث کاهش زمان تأخیر شد که می‌تواند بیانگر مطلوب بودن فرآوری‌ها باشد و احتمالاً دلیل آن تخریب ساختمان دیواره سلولی باگاس و افزایش دسترسی سریع‌تر آنزیم‌های باکتریایی به سلولز و همی‌سلولز و در نتیجه شروع سریع‌تر تخمیر باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که فرآوری باگاس در مقایسه با عدم فرآوری آن باعث بهبود قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی و افزایش تولید گاز ناشی از تخمیر خوراک در مایع شکمبه شد. از بین روش‌های مختلف فرآوری، بیشترین میزان تولید گاز تجمعی ۲۴ ساعت و قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی و کمترین زمان تأخیر در جیره دارای باگاس فرآوری‌شده با آمونیاک ۳ درصد و هیدروکسید سدیم ۲ درصد مشاهده شد. از آنجایی که زمان فرآوری تأثیر معنی‌داری بر بهبود فراسنجه‌های تخمیر برون‌تنی باگاس فرآوری‌شده با آمونیاک و هیدروکسید سدیم نداشت، بنابراین استفاده از محلول آمونیاک ۳ درصد و هیدروکسید سدیم ۲ درصد و ذخیره‌شده به مدت ۳۰ روز برای فرآوری باگاس پیشنهاد می‌شود.

References

1. AOAC. (2007). Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlin, VA, USA, 1230.
2. 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.
3. 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.
4. Berger, L. L., Klopfenstein, T. J., & Britton, R. A. (2019). Factors causing greater in-vitro than in-vivo digestibility of sodium hydroxide-treated roughages. *In Proceedings of the XIV International Grassland Congress*, 617-619.
5. Blümmel, M., Aiple, K. P., Steingäß, 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.
6. Brendt, A., Lanna, W. H., & Duarte, D. P. (2002). High ureacorn, sugarcane bagasse and corn silage in high concentrate diets: 2. Empty body chemical composition and tissues deposition rates. *Brasilian Zootechnology*, 31 (5), 2105-2112.
 7. Chaudbry, 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: 313-323.
 8. Dehghani, M., Afzalzadeh, A., & Norouzian, M. (2011). Investigation of the chemical composition and rumen degradability parameters of wheat straw and sugarcane bagasse treated with urea. *Animal Production*, 23(2), 191-200. (In Persian).
 9. Dongyan, Y. A. N. G., Yunzhi, P. A. N. G., Hairong, Y. U. A. N., Shulin, C. H. E. N., Jingwei, M. A., Liang, Y. U., & Xiujin, L. I. (2014). Enhancing biogas production from anaerobically digested wheat straw through ammonia pretreatment. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 22(5), 576-582.
 10. Givens, D. I., Everington, J. M., & Adamson, A. H. (1989). The digestibility and metabolisable energy content of grass silage and their prediction from laboratory measurements. *Animal Feed Science and Technology*, 24, 27-43.
 11. 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.
 12. 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.
 13. Herrera-Saldana, R. D., Church, C., & Kellems, R. O. (1982). The effect of ammoniation treatment on intake and nutritive value of wheat straw. *Animal Feed Science Technology*. 54, 1-6.
 14. Herrera-Saldana, R., Church, D. C., & Kellems, R. O. (1983). Effect of ammoniation treatment of wheat straw on in vitro and in vivo digestibility. *Journal of Animal Science*, 56(4), 938-942.
 15. Liu, J. X., Orskov, E. R., & Chen, X. B. (1999). Optimization of steam treatment as a method for upgrading rice straw as feeds. *Animal feed science and technology*, 76(3-4), 345-357.
 16. Madadi, M., Nazar, M., Shah, S. W. A., Li, N., Imtiaz, M., Zhong, Z., & Zhu, D. (2023). Green alkaline fractionation of sugarcane bagasse at cold temperature improves digestibility and delignification without the washing processes and release of hazardous waste. *Industrial Crops and Products*, 200, 116815.
 17. Malekkhahi, M., Danesh Mesgaran, M., & Tahmasbi, A. M. (2012). The effect of chemical treatment with NaOH and urea on chemical composition, in vitro gas production and in situ dry matter degradability of sesame residues. *Livestock Research for Rural Development*, 24(12), 1-4.
 18. 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.

19. Menke, K. H., & Steingass, H. (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and gas production using rumen fluid. *Animal Reserch Development*, 28, 7-55.
20. 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.
21. National Research Council (NRC). (2007). Nutrient Requirements of small ruminants. 7th rev. ed. Nation Aca Sci, 85: 900-908.
22. Okano, K., Boonlue, S., & Suzuki, Y. (2005). Effects of ammonium hydroxide treatment on the in vitro dry matter digestibility and gas production of wheat straw, sugarcane bagasse medium and konara oak rotted by edible basidiomycetes. *Animal Science Journal*, 76(2), 147-152.
23. Owens, F. N., & Basalan, M. (2016). Ruminant fermentation. *Rumenology*, 63-102.
24. Playne, M. J. (1984). Increased digestibility of bagasses by pretreatment with alkalis and steam explosion. *Biotechnology and bioengineering*, 26(5), 426-433.
25. Ramirez, G. R., & Gonzalez, C. (2007). Effect of urea treatment on chemical composition and digestion of Cenchrus ciliaris and Cynodon dactylon haye and Zea mays residues. *Journal of Aninimal Veterinary Advanced*. 6, 1036-1041.
26. 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).
27. Sahnoune, S., Besle, J. M., Chenost, M., Jouany, J. P., & Combes, D. (1991). Treatment of straw with urea. 1. Ureolysis in a low water medium. *Animal feed science and technology*, 34(1-2), 75-93.
28. Sallam, S. M. A., Nasser, M. E. A., & El-Waziry, A. M. (2007). Use of an in vitro rumen gas production technique to evaluate some ruminant feedstuffs. *Journal of Applied Science Research*. 3, 34-41.
29. Shahbazi, H., Sadeghi, A., Fazaeli, H., Reis ali, G., & Chamani, M. (2009). Effects of Electron-Beam irradiation on the dry matter, neutral and acid detergent fiber degradation parameters of sugarcane bagasse. *Journal of Water and Soil Science*; 13 (47): 485-493.
30. 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.
31. Sjaibazi, H. R., Sadeghi, A. A., Fazeli, H., Raeesali, G. R., & Chamani, M. (2009). Effect of beam electron irradiation on degradability parameters of dry matter, neutral detergent fiber and acid detergent fiber of sugarcane bagasse. *Agricultural and Natural Resources Science and Technology*, 47, 485- 493.
32. 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.
33. Van Soest P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant, 2nd ed. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA.

34. Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74(10), 3583-3597.
35. Wang, R., Wang, M., Ungerfeld, E. M., Zhang, X. M., Long, D. L., Mao, H. X., Deng, J. P., Bannink, A., & Tan, Z. L. (2018). Nitrate improves ammonia incorporation into rumen microbial protein in lactating dairy cows fed a low-protein diet. *Journal of dairy science*. 101 (11): 9789-9799.

نسخه
پیش
انتشار