



The effect of chemical treatment of rice straw and bran on the chemical composition and *in Vitro* fermentation parameters

Khatam Aminoroayae¹ | Tahere Amirabadi Farahani² | Golnaz Taasoli³ |
Saeid Karimi Dehkordi⁴ | Fariba Rezaei Sarteshnizi⁵

1. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: khatamamini78@gmail.com
2. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: amirabadi@sku.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Animal Science, Chaharmahal Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrekord, Iran. E-mail: gtaasoli@gmail.com
4. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: saeid.karimi@sku.ac.ir
5. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: F.rezaei@malayeru.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 12 December 2025
Received in revised form
25 July 2026
Accepted 29 July 2026
Published online 22 September 2026

Keywords:
Agro industrial residue
Chemical processing
Fermentation kinetics

ABSTRACT

Objective: Agricultural residues are part of ruminant diets, and it is necessary to optimize the use of these materials and minimize wastage through proper processing (treating) of these residues to improve palatability. Rice straw and rice bran are two major residues after harvesting and processing of rice, and chemical processing mostly improve their digestibility of the residues, due to the weakening hydrogen bonding in the rice straw, which can be improved by chemical treatment. Therefore, the objective of this study was to investigate the effect of chemical processing (with nitric acid, sodium hydroxide, and sodium hypochlorite) as a desilication method on the chemical composition, fermentation parameters, and *in vitro* digestibility of nutrients of rice straw and rice bran, and compare them wheat straw and bran.

Method: Rice straw and bran were desilicated using nitric acid, sodium hydroxide, and sodium hypochlorite, pressure, heating and drying. The experimental treatments included 1- Straws: 1- wheat straw as positive control, 2- untreated rice straw, 3-treated rice straw and 2- Brans: 1- wheat bran as positive control, 2- untreated rice bran and 3- treated rice bran). Chemical composition, concentration of silica, *in vitro* gas production parameters and neutral detergent fiber (NDF) digestibility of all treatments were measured and metabolizable energy (ME), organic matter digestibility (OMD) and short-chain fatty acids concentration were estimated.

Results: Chemical treatment significantly decreased ($P < 0.05$) the contents of silica, crude protein, ether extract and ash in treated rice straw when compared with untreated rice straw. No significant effects were observed for potential of gas production, lag time, ammonia nitrogen concentration, total protozoa population, NDF, and acid detergent fiber; however, gas production rate and estimated short chain fatty acid (SCFA) concentration increased ($P < 0.05$) and pH decreased ($P < 0.05$) in treated rice straw compared to untreated rice straw and wheat straw. The *in vitro* NDF digestibility tended to increase in treated rice straw compared to untreated rice straw and wheat straw. Chemical processing reduced dry matter, crude protein, ether extract and ash contents, and increased pH ($P < 0.05$). Gas production potential, gas production rate, ammonia nitrogen concentration and NDF decreased in treated rice bran compared to untreated rice bran ($P < 0.05$). However, chemical treatment had no effect on lg time, total protozoa population, Epidinium and Entodinium population, estimated ME, OMD and SCFA concentration.

Conclusions: Chemical treatment increased the digestibility of fiber fraction of the rice by-products, reduced the anti-nutritional compounds (silica), and improved some fermentation and digestibility characteristics, and therefore makes them suitable for use in the diet of livestock.

Cite this article: Aminoroayae, Kh., Amirabadi Farahani, T., Taasoli, G., Karimi Dehkordi, S., & Rezaei Sarteshnizi, F. (2026). The effect of chemical treatment of rice straw and bran on the chemical composition and *in Vitro* fermentation parameters. *Journal of Animal Production*, 28 (3), 365-375. DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2026.408019.623891>





اثر فراوری شیمیایی کاه و سبوس برنج بر ترکیب شیمیایی و فراسنجه‌های تخمیر برون‌تنی

خاتم امین‌الرعایایی^۱ | طاهره امیرآبادی فراهانی^۲ | گلناز تأسلی^۳ | سعید کریمی دهکردی^۴ | فریبا رضایی سرتشنیزی^۵

۱. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: khatamamini78@gmail.com

۲. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: amirabadi@sku.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران. رایانامه: gtasoli@gmail.com

۴. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: saeid.karimi@sku.ac.ir

۵. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: F.rezaei@malayeru.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۰۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۳۱

هدف: پسماندهای کشاورزی به عنوان بخشی از جیره در تغذیه نشوآرکنندگان استفاده می‌شود. استفاده بهینه از این مواد و کاهش هدررفت آن‌ها یک ضرورت است. فراوری مناسب این پسماندها به بهبود خوش‌خوراکی آن‌ها کمک می‌کند. کاه و سبوس برنج از مهم‌ترین پسماندهای پس از برداشت و فراوری برنج هستند که در بیشتر مواقع فراوری شیمیایی، گوارش‌پذیری آن‌ها را بهبود می‌دهد. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی اثر فراوری شیمیایی (با اسید نیتریک، هیدروکسیدسدیم و هیپوکلریت‌سدیم) بر ترکیب شیمیایی و فراسنجه‌های تخمیر و گوارش‌پذیری برون‌تنی کاه و سبوس برنج انجام شد. فراوری شیمیایی با استفاده از هیدروکسیدسدیم، اسید نیتریک، فشار و حرارت انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل کاه گندم (کنترل مثبت)، کاه برنج فراوری‌نشده، کاه برنج فراوری‌شده، سبوس گندم (کنترل مثبت)، سبوس برنج فراوری‌نشده و سبوس برنج فراوری‌شده بود.

روش پژوهش: غلظت عنصر سیلیس، فراسنجه‌های تولید گاز، جمعیت پروتوزوا، غلظت نیتروژن آمونیاکی و گوارش‌پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) تیمارهای آزمایشی در شرایط برون‌تنی با روش آزمون گاز اندازه‌گیری و انرژی قابل متابولیسم، اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر و گوارش‌پذیری ماده آلی برآورد شد.

یافته‌ها: فراوری شیمیایی، میزان سیلیس، درصد پروتئین خام، عصاره اتری و خاکستر را در کاه برنج فراوری‌شده نسبت به کاه فراوری‌نشده کاهش داد ($P < 0.05$). پتانسیل تولید گاز، فاز تأخیر، غلظت نیتروژن آمونیاکی، جمعیت کل پروتوزوا، درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی تحت تأثیر فراوری شیمیایی کاه برنج قرار نگرفت، اما نرخ تولید گاز و غلظت اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر در کاه برنج فراوری‌شده در مقایسه با کاه برنج فراوری‌نشده و کاه گندم افزایش ($P < 0.05$) و pH کاهش ($P < 0.05$) یافت. گوارش‌پذیری NDF در کاه برنج فراوری‌شده در مقایسه با کاه برنج فراوری‌نشده تمایل به افزایش داشت. فراوری شیمیایی سبوس برنج سبب کاهش درصد ماده خشک، پروتئین خام، عصاره اتری و خاکستر و افزایش pH شد ($P < 0.05$). افزون بر این، پتانسیل تولید گاز، نرخ تولید گاز، غلظت نیتروژن آمونیاکی و در سبوس برنج فراوری‌شده در مقایسه با سبوس برنج فراوری‌نشده کاهش یافت ($P < 0.05$). فاز تأخیر، جمعیت کل پروتوزوا و جمعیت پروتوزوای جنس اپیدینیوم و انتودینیوم، انرژی قابل متابولیسم، گوارش‌پذیری ماده آلی، اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر و میزان لیگنین تحت تأثیر فراوری شیمیایی سبوس قرار نگرفت.

نتیجه‌گیری: فراوری شیمیایی فرآورده‌های فرعی برنج، با کاهش ترکیبات ضدتغذیه‌ای مانند سیلیس و بهبود برخی شاخص‌های تخمیر و گوارش‌پذیری، امکان استفاده از بخش الیاف این پسماندها را در کنار سایر مواد مغذی جیره فراهم می‌کند.

کلیدواژه‌ها:

پسماندهای کشاورزی

پویایی تخمیر

فراوری شیمیایی

استناد: امین‌الرعایایی، خاتم؛ امیرآبادی فراهانی، طاهره؛ تأسلی، گلناز؛ کریمی دهکردی، سعید و رضایی سرتشنیزی، فریبا (۱۴۰۵). اثر فراوری شیمیایی کاه و سبوس برنج بر ترکیب شیمیایی و فراسنجه‌های تخمیر برون‌تنی. *نشریه توليدات دامی*، ۲۸ (۳)، ۳۶۵-۳۷۵.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2026.408019.623891>



۱. مقدمه

برنج دومین غله پرمصرف در دنیاست و در سال ۲۰۲۳، ۸۰۰ میلیون تن برنج در سراسر دنیا تولید شده‌است. این حجم زیاد تولید، میزان فراوانی کاه و سبوس برنج به‌همراه دارد. سالانه بالغ بر ۲۰۰ میلیون تن کاه برنج در دنیا تولید می‌شود (Sharma et al., 2022) که به‌عنوان علوفه در دسترس و ارزان در تغذیه نشخوارکنندگان استفاده می‌شود. این کاه دارای حدود ۳۶ درصد سلولز، ۲۹ درصد همی‌سلولز و نزدیک به پنج درصد لیگنین در ماده خشک است و میزان سیلیس آن در حدود ۴/۸۲ درصد ماده خشک است که در مقایسه با کاه سایر غلات بسیار بیش‌تر است (Samklong et al., 2010). سیلیس با تشکیل یک سد فیزیکی، تخریب میکروبی و هیدرولیز آنزیمی را کاهش می‌دهد و تأثیر مستقیمی بر گوارش‌پذیری ماده خوراکی دارد. لیگنین، از اجزای دیواره سلولی گیاهان است که به‌عنوان مهم‌ترین عامل کاهنده گوارش مواد لیگنوسلولزی شناخته می‌شود و با محافظت فیزیکی از پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی و خواص هیدروفوب (کاهش سطح تماس) مانع گوارش می‌شود (Jung et al., 2011). سبوس برنج یکی از فرآورده‌های جانبی کارخانه‌های شالی‌کوبی است که هنگام تبدیل شلتوک به برنج سفید به‌دست می‌آید. این محصول دارای ۱۱ تا ۱۴ درصد پروتئین خام، ۱۶ تا ۲۱ درصد NDF، ۲۱ تا ۲۸ درصد نشاسته، ۱۲ تا ۱۸ درصد عصاره اتری، ۱/۳۵ درصد فسفر و ۰/۸ درصد منیزیم در ماده خشک است (Criscioni & Fernández, 2016) و با توجه به بخش‌های مختلف آن بین سه تا نه درصد سیلیس دارد (Bandyopadhyay et al., 2008).

فرآوری شیمیایی یکی از مهم‌ترین روش‌های مورد استفاده برای بهبود گوارش‌پذیری خوراک در تغذیه دام است. این فرآوری آسان و در سطح مزرعه کاربردی‌تر است. مهم‌ترین مواد شیمیایی قابل استفاده شامل مواد قلیایی (مثل سود، اوره و آمونیاک)، اسیدی و مواد اکسیداتیو هستند و بیش‌ترین کاربرد را برای فرآوری کاه غلات دارند. بنا بر برخی پژوهش‌ها، عمل‌آوری کاه گندم با هیدروکسید سدیم و پراکسید هیدروژن سبب افزایش گوارش‌پذیری ماده خشک و ماده آلی (Chaudhry, 1998) و افزایش تولید گاز شد (Liu et al., 2002). اما پژوهشی در مورد اثر کاهش میزان سیلیس در کاه و سبوس برنج با روش استفاده‌شده در این آزمایش انجام نشده است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی اثر فرآوری شیمیایی تلفیقی بر ترکیب شیمیایی و فراسنجه‌های تولید گاز و گوارش‌پذیری برون‌تنی کاه و سبوس برنج انجام شد.

۲. روش پژوهش

۲.۱. آماده‌سازی تیمارها

این آزمایش در آزمایشگاه تغذیه دام دانشگاه شهرکرد و نیز در آزمایشگاه علوم دامی مرکز تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد از سال ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳ انجام شد. کاه برنج از مزارع برنج لنجان (استان اصفهان) تهیه و در دستگاه خرمن‌کوب خرد شد و سبوس برنج با استفاده از الک یک میلی‌متری آسیاب شد. سبوس برنج، سبوس کامل همراه با پوسته خارجی بود. کاه و سبوس برنج به‌روش توصیه‌شده فرآوری شدند (Krishania et al., 2018).

این فرآوری شیمیایی با هدف کاهش سیلیس و لیگنین انجام شد. به‌طور خلاصه، کاه خردشده و سبوس برنج آسیاب‌شده هرکدام جداگانه با ۰/۵ درصد اسید نیتریک به‌مدت یک ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد در فشار ۱۵ پاسکال در دستگاه اتوکلاو آزمایشگاهی (نور صنعت تجهیز فردوس) قرار گرفتند و پس از پایان فرایند اتوکلاو، ترکیب حاصل دوباره با ۰/۵ درصد اسید نیتریک مخلوط و به‌مدت پنج دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، ۱۰ دقیقه در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۵ دقیقه در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد داخل آون قرار گرفتند. پس از خروج از آون، مخلوط حاصل با ۲/۵ درصد هیدروکسید سدیم و ۲/۰۰ درصد هیپوکلریت سدیم ترکیب و دوباره در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد در فشار ۱۵ پاسکال در دستگاه اتوکلاو قرار گرفتند. در پایان این مخلوط با توری پارچه‌ای صاف و با آب معمولی شسته شد و در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت

۲۴ ساعت خشک شدند. تیمارهای آزمایشی دارای کاه شامل ۱- کاه گندم (کنترل مثبت)، ۲- کاه برنج فرآوری نشده و ۳- کاه برنج فرآوری شده بود. تیمارهای آزمایشی دارای سبوس شامل ۱- سبوس گندم (کنترل مثبت)، ۲- سبوس برنج فرآوری نشده و ۳- سبوس برنج فرآوری شده بود.

۲.۲. آنالیزهای آزمایشی

ماده خشک، خاکستر، ماده آلی، پروتئین خام و چربی خام به ترتیب با دستگاه‌های آون، کوره الکتریکی آزمایشگاهی، دستگاه کدال و دستگاه سوکسله براساس روش‌های استاندارد (AOAC, 2000) اندازه‌گیری شد. مقدار NDF، ADF و لیگنین براساس روش Van Soest و همکاران (۱۹۹۴) و غلظت عنصر سیلیس با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نشری پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-OES مدل Integra XL) و روش توصیه‌شده اندازه‌گیری شد (Siva Sai Kiran & Raja, 2017).

برای آزمون تولید گاز، تیمارهای آزمایشی با استفاده از الک یک میلی‌متری آسیاب شدند و محلول بافر با روش مک‌دوگال (McDougall, 1948) تهیه شد. مقدار ۲۵۰ میلی‌گرم از تیمارهای آزمایشی درون بطری‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته و به تمام بطری‌ها، ۴۰ میلی‌لیتر مخلوط مایع شکمبه- محلول بافر اضافه شد و سپس به داخل هر بطری ۱۵ ثانیه دی‌اکسیدکربن تزریق و بلافاصله درب پوش لاستیکی شیشه‌ها گذاشته شد و با استفاده از محافظ آلومینیومی مخصوص پرس شد. برای تصحیح میزان گاز حاصل از نمونه‌های خوراک، سه بطری فاقد ماده خوراکی به عنوان بطری‌های بلانک در نظر گرفته شد. میزان گاز تولیدی با فشارسنج (مدل Testo 512 Digitalmonomer) در زمان‌های صفر، دو، چهار، شش، هشت، ۱۰، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶، ۱۲۰ و ۱۴۴ ساعت پس از شروع انکوباسیون قرائت شد. برای برآورد فراسنجه‌های تولید گاز از معادله ارسکوف و مکدونالد (Orskov & McDonald, 1979) و رابطه (۱) استفاده شد.

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

در این رابطه، G ، میزان گاز تجمعی تولیدشده در زمان t (میلی‌لیتر)؛ a ، میزان گاز تولیدی توسط بخش بالقوه قابل تخمیر خوراک (میلی‌لیتر)؛ c ، نرخ کل تولید گاز (درصد در ساعت) و t ، زمان (ساعت) است.

برای اندازه‌گیری غلظت نیتروژن آمونیاکی، شمارش جمعیت پروتوزوا و pH یک آزمون تولید گاز به مدت ۲۴ ساعت انجام شد. پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون، ویال‌ها باز شدند و بلافاصله pH مایع هر ویال توسط دستگاه pH سنج (مدل Istek, Inc Neomet 200L, Korea) اندازه‌گیری شد. نیتروژن آمونیاکی با استفاده از روش Broderick & Kang (۱۹۸۰) اندازه‌گیری شد. به همین منظور، پس از اندازه‌گیری pH، دو میلی‌لیتر از مایع درون شیشه برداشته شد و پنج میلی‌لیتر محلول اسیدکلریدریک ۰/۲ نرمال به آن اضافه شد و تا زمان آنالیز در دمای منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. شمارش جمعیت پروتوزوا به کمک لام هموسیتومتر و میکروسکوپ نوری اندازه‌گیری شد. پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون، ویال‌ها باز شدند و پنج میلی‌لیتر از مایع درون ویال‌ها با پنج میلی‌لیتر فرمالین ۵۰ درصد مخلوط، سپس دو قطره رنگ سبز بریلیانت به آن اضافه شد. ۲۴ ساعت بعد از افزودن رنگ، شمارش پروتوزوا با استفاده از لام نتوبار و میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۱۰ انجام شد و جنس‌های مختلف پروتوزوا با بزرگنمایی ۴۰ شناسایی شدند (Dehority, 2003).

برای اندازه‌گیری گوارش‌پذیری NDF پس از یک آزمون گاز ۹۶ ساعته، ویال‌ها باز شدند و محتویات آن‌ها داخل کیسه‌هایی با پارچه مخصوص (کیسه‌های پلی‌استر با قطر منافذ ۴۰ میکرون) و یک اندازه که از قبل وزن‌کشی شده بودند، ریخته شد و پس از آب‌گیری در آون با دمای ۵۵ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس از آون خارج و وزن شدند. پس از آن کیسه‌ها در محلول اندازه‌گیری NDF یک ساعت جوشیده (Van Soest et al., 1991) و پس از شست‌وشو با آب گرم و استون در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس توزین

شدند. در پایان با توجه به تفاوت NDF اولیه نمونه و NDF پس از انکوباسیون، گوارش‌پذیری محاسبه شد (Goering & Van Soest, 1970).

میزان انرژی قابل سوخت‌وساز و گوارش‌پذیری ماده آلی با استفاده از روابط (۲) و (۳) محاسبه شدند (Menke & Steingass, 1988). کل اسیدهای چرب فرآر با استفاده از رابطه (۴) (Makkar, 2010) محاسبه شد.

رابطه ۲) $GP + 0.05VCP = 2/2 + 0.136 GP + 0.05VCP$ (مگاژول در کیلوگرم ماده خشک) انرژی قابل سوخت‌وساز

رابطه ۳) $CP = 14/88 + 0.889 GP + 0.45CP$ (درصد) گوارش‌پذیری ماده آلی

رابطه ۴) $GP - 0.425 = 0.222 GP - 0.425$ (میلی‌مول) اسیدهای چرب زنجیر کوتاه

در این رابطه، GP، تولید گاز حاصل از ۲۴ ساعت انکوباسیون (میلی‌لیتر) و CP: پروتئین خام (درصد) است.

۳.۲. روش آماری

فراسنجه‌های تولید گاز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بر اساس رویه ساده GLM نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۲، SAS Institute Inc، ۲۰۰۹) و با استفاده از مدل آماری پنج تجزیه واریانس شدند:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + e_{ij} \quad \text{(رابطه ۵)}$$

Y_{ij}، متغیر وابسته؛ μ، میانگین کل؛ T_i، اثر تیمار؛ B_j، اثر بلوک (هر ران آزمایش گاز) و e_{ij}، اثر خطای آزمایشی.

داده‌های مربوط به ترکیب شیمیایی، فراسنجه‌های تخمیر شکمبه (pH، غلظت نیتروژن آمونیاکی)، جمعیت پروتوزوا و فراسنجه‌های برآورد شده در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی بر اساس رویه ساده نرم‌افزار آماری SAS تجزیه واریانس شدند. میانگین تیمارها با استفاده از آزمون توکی مقایسه شد و سطح احتمال کم‌تر ۰/۰۵ معنی‌دار تلقی شدند.

۳. یافته‌های پژوهش

۳.۱. یافته‌های تیمارهای کاه

ترکیب شیمیایی کاه گندم و کاه برنج در جدول (۱) گزارش شده است. فرآوری شیمیایی (سیلیس‌زدایی)، سبب کاهش میزان سیلیس، درصد پروتئین خام، عصاره اتری و خاکستر در کاه برنج شد (P<۰/۰۵). فزون بر این، درصد ماده خشک کاه برنج فرآوری شده نسبت به کاه برنج شاهد و کاه گندم تمایل به کاهش داشت. بخش الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در بین کاه گندم و کاه برنج فرآوری نشده و فرآوری شده مشابه بود. گوارش‌پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی در کاه برنج فرآوری شده نسبت به کاه برنج فرآوری نشده تمایل به افزایش داشت (۵۰/۲۲ در مقابل ۴۰/۶۷ درصد)، اما بین کاه برنج فرآوری شده و کاه گندم مشابه بود.

جدول ۱. اثر سیلیس‌زدایی بر ترکیب شیمیایی (درصد از ماده خشک) کاه برنج در مقایسه با کاه گندم

P-value	SEM	تیمارهای آزمایشی			فراسنجه
		کاه برنج فرآوری شده	کاه برنج فرآوری نشده	کاه گندم	
۰/۰۷	۰/۶۲	۹۴/۷۸	۹۶/۶۵	۹۵/۲۶	ماده خشک (درصد)
<۰/۰۱	۰/۲۴	^b ۲۲/۹۹	^a ۴/۹۹	^a ۴/۷۷	پروتئین خام
<۰/۰۱	۰/۰۷	^c ۰/۱۱	^b ۰/۸۰	^a ۱/۲۰	عصاره اتری
<۰/۰۱	۰/۳۰	^c ۶/۰۱	^a ۱۴/۵۰	^b ۸/۲۷	خاکستر
۰/۸۱	۱/۵۱	۷۲/۸۷	۷۲/۳۴	۷۱/۴۸	الیاف نامحلول در شوینده خنثی
۰/۲۱	۱/۷۰	۴۴/۶۲	۴۵/۹۰	۴۹/۳۶	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی
<۰/۰۱	۰/۱۶	۴/۶۳ ^c	۴/۷۳ ^c	۸/۳۵ ^b	لیگنین
۰/۰۲	۱۴۸/۱۲	۷۴/۴۶	۶۵۱/۸۵	---	سیلیس (میلی‌گرم در کیلوگرم)

تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ردیف معنی‌دار است (P<۰/۰۵). SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

اثر فرآوری شیمیایی بر فراسنجه‌های تولید گاز و تخمیر برون‌تنی کاه برنج در جدول (۲) آورده شده است. پتانسیل تولید گاز، غلظت نیتروژن آمونیاکی و جمعیت کل پروتوزوا در کاه گندم و کاه برنج فرآوری نشده و فرآوری شده مشابه بود، اما نرخ تولید گاز در کاه برنج فرآوری شده در مقایسه با کاه برنج فرآوری نشده و کاه گندم افزایش یافت ($P < 0.05$). در کاه برنج فرآوری شده، pH محیط کشت در مقایسه با کاه برنج فرآوری نشده کاهش یافت (6.54 در مقابل 6.65 ; $P < 0.05$)، اما تفاوتی بین سه نوع کاه وجود نداشت. انرژی قابل متابولیسم، گوارش‌پذیری ماده آلی و اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر تحت تأثیر فرآوری شیمیایی کاه برنج قرار نگرفتند، به‌طوری‌که انرژی قابل متابولیسم و گوارش‌پذیری ماده آلی کاه برنج فرآوری شده در مقایسه با کاه برنج فرآوری نشده تفاوتی نداشت. همچنین، غلظت اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر در کاه برنج فرآوری شده در مقایسه با کاه برنج فرآوری نشده و کاه گندم بیش‌تر بود ($P < 0.05$).

جدول ۲. اثر سیلیس‌زدایی بر فراسنجه‌های تولید گاز و تخمیر برون‌تنی کاه برنج در مقایسه با کاه گندم

P-value	SEM	تیمارهای آزمایشی			فراسنجه
		کاه برنج فرآوری شده	کاه برنج فرآوری نشده	کاه گندم	
۰/۶۳	۱۴/۱۲	۱۵۰/۳۰	۱۶۹/۹۲	۱۶۲/۳۵	پتانسیل تولید گاز (میلی لیتر / ۲۵۰ میلی گرم ماده خشک)
۰/۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۹۹ ^a	۰/۰۶۶ ^b	۰/۰۶۵ ^b	نرخ تولید گاز (در ساعت)
۰/۰۹	۰/۴۲	۲/۳۲	۱/۸۲	۰/۹۶	فاز تأخیر (ساعت)
۰/۰۲	۰/۰۲۲	۶/۵۴ ^b	۶/۶۵ ^a	۶/۵۷ ^{ab}	pH
۰/۹۶	۲/۰۸	۳۹/۹۸	۳۹/۱۸	۳۹/۸۳	نیتروژن آمونیاکی (میلی گرم / دسی لیتر)
۰/۴۸	۰/۱۳	۲/۳۷	۲/۴۱	۲/۶۱	جمعیت کل پروتوزوا (لگاریتم در پایه ۱۰ / هر گرم ماده هضمی)
۰/۲۴	۰/۴۵	۰/۹۵	۰/۶۸	۱/۸۹	اپیدینیوم
۰/۹۴	۰/۱۳	۲/۶۲	۲/۶۱	۲/۳۳	انتودینیوم
۰/۰۱	۰/۵۴	۸/۷۳ ^a	۷/۶۳ ^{ab}	۶/۰۶ ^b	انرژی قابل متابولیسم (مگا کالری در کیلوگرم ماده خشک)
۰/۰۱	۳/۵۳	۵۸/۸۲ ^a	۵۲/۴۷ ^{ab}	۴۱/۴۰ ^b	گوارش‌پذیری ماده آلی (درصد)
۰/۰۷	۲/۶۹	۵۰/۲۲ ^a	۴۰/۶۶ ^b	۴۳/۰۰ ^{ab}	گوارش‌پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی (درصد)
<۰/۰۱	۰/۰۹	۱/۰۶ ^a	۰/۸۸ ^b	۰/۵۰ ^b	اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر (میلی مول / ۲۵۰ میلی گرم ماده خشک)

تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ردیف معنی‌دار است ($P < 0.05$).
SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

۲.۳. یافته‌های تیمارهای سیوس

ترکیب شیمیایی سیوس گندم و برنج در جدول (۳) گزارش شده است. فرآوری شیمیایی، میزان سیلیس، درصد ماده خشک، درصد پروتئین خام، عصاره اتری و خاکستر را در سیوس برنج فرآوری شده کاهش داد ($P < 0.05$). بخش الیاف نامحلول در شوینده خنثی تحت تأثیر فرآوری شیمیایی در شوینده خنثی در سیوس برنج فرآوری شده کم‌تر از سیوس برنج فرآوری نشده بود. همچنین، بخش الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در سیوس برنج فرآوری شده در مقایسه با سیوس برنج فرآوری نشده و سیوس گندم تمایل به کاهش داشت، اما میزان لیگنین در بین تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری نداشت.

جدول ۳. اثر سیلیس‌زدایی بر ترکیب شیمیایی (درصد از ماده خشک) سیوس برنج در مقایسه با سیوس گندم

P-value	SEM	تیمارهای آزمایشی			فراسنجه
		سیوس برنج فرآوری شده	سیوس برنج فرآوری نشده	سیوس گندم	
<۰/۰۱	۰/۴۵	۸۵/۷۶ ^c	۸۹/۶۸ ^b	۹۵/۴۰ ^a	ماده خشک (درصد)
<۰/۰۱	۰/۳۰	۱/۵۶ ^c	۸/۷۴ ^b	۱۶/۶۴ ^a	پروتئین خام
<۰/۰۱	۰/۲۰	۴/۲۹ ^b	۱۱/۲۸ ^a	۴/۲۰ ^b	عصاره اتری
<۰/۰۱	۰/۶۶	۱۳/۷۵ ^a	۱۵/۲۳ ^a	۷/۳۳ ^a	خاکستر
<۰/۰۱	۰/۵۲	۲۱/۰۶ ^c	۲۵/۷۲ ^b	۴۲/۴۰ ^a	الیاف نامحلول در شوینده خنثی
۰/۰۹	۰/۶۵	۱۳/۱۳	۱۴/۱۹	۱۵/۹۶	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی
۰/۲۲	۰/۴۰	۳/۷۲	۴/۷۵	۳/۵۷	لیگنین
<۰/۰۱	۲/۹۳	۱۳۶/۸۹	۷۰۳/۱۳	---	سیلیس (میلی گرم در کیلوگرم)

تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ردیف معنی‌دار است ($P < 0.05$).
SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

جدول (۴) اثر فرآوری شیمیایی بر فراسنجه‌های تولید گاز و تخمیر برون‌تنی را در سبوس برنج نشان می‌دهد. فرآوری شیمیایی سبوس برنج پتانسیل تولید گاز را تحت تأثیر قرار داد ($P < 0.05$)، به‌طوری‌که پتانسیل تولید گاز سبوس برنج فرآوری‌شده در مقایسه با سبوس برنج فرآوری‌نشده کاهش یافت ($99/97$ در مقابل $178/35$ میلی‌لیتر) اما، پتانسیل تولید گاز در بین سبوس برنج فرآوری‌شده و سبوس گندم مشابه بود (به‌ترتیب $99/97$ و $87/74$ میلی‌لیتر). نرخ تولید گاز سبوس برنج فرآوری‌شده و فرآوری‌نشده در مقایسه با سبوس گندم افزایش یافت ($P < 0.05$). فاز تأخیر در بین تیمارهای آزمایشی مشابه بود. در سبوس برنج فرآوری‌شده در مقایسه با سبوس برنج فرآوری‌نشده و سبوس گندم pH محیط افزایش یافت ($6/61$ در مقابل $6/41$ و $6/46$ ؛ $P < 0.05$)، اما تفاوتی بین سبوس برنج فرآوری‌نشده و سبوس گندم وجود نداشت. غلظت نیتروژن آمونیاکی در سبوس برنج فرآوری‌شده و سبوس گندم کم‌تر از سبوس برنج فرآوری‌نشده بود ($P < 0.05$). فرآوری سبوس برنج تأثیری بر جمعیت کل پروتوزوا و جمعیت پروتوزوای جنس اپیدینیوم و انتودینیوم نداشت. انرژی قابل‌متابولیسم، گوارش‌پذیری ماده آلی و اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر تحت تأثیر فرآوری شیمیایی سبوس برنج قرار نگرفتند. گوارش‌پذیری الیاف نامحلول در شوینده خشی بین تیمارها متفاوت نبود.

جدول ۴. اثر سیلیس‌زدایی بر فراسنجه‌های تولید گاز و تخمیر برون‌تنی سبوس برنج در مقایسه با سبوس گندم

P-value	SEM	تیمارهای آزمایشی			فراسنجه
		سبوس برنج فرآوری‌شده	سبوس برنج فرآوری‌نشده	سبوس گندم	
<0.01	17/12	99/97 ^a	178/35 ^a	87/74 ^b	پتانسیل تولید گاز (میلی‌لیتر / ۲۵۰ میلی‌گرم ماده خشک)
<0.01	0.07	0.94 ^a	0.84 ^a	0.44 ^b	نرخ تولید گاز (در ساعت)
0.99	0.68	1/44	1/59	1/52	فاز تأخیر (ساعت)
<0.01	0.03	6/61 ^a	6/41 ^b	6/46 ^b	pH
0.03	0.83	31/64 ^b	35/59 ^a	32/03 ^b	نیتروژن آمونیاکی (میلی‌گرم / دسی‌لیتر)
0.23	0.14	2/33	2/58	2/72	جمعیت کل پروتوزوا (لگاریتم در پایه ۱۰ / هر گرم ماده هضمی)
0.76	0.75	0.79	1/53	1/47	اپیدینیوم
0.69	0.67	0.63	1/43	1/29	انتودینیوم
0.11	0.56	12/74	12/91	12/25	انرژی قابل‌متابولیسم (مگا کالری در کیلوگرم ماده خشک)
0.10	0.95	75/71	75/31	76/78	گوارش‌پذیری ماده آلی (درصد)
0.06	0.78	52/56	50/24	54/15	گوارش‌پذیری الیاف نامحلول در شوینده خشی (درصد)
0.13	0.59	1/43	1/74	1/07	اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر (میلی‌مول / ۲۵۰ میلی‌گرم ماده خشک)

تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ردیف معنی‌دار است ($P < 0.05$). SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

۴. بحث

کاهش مقدار پروتئین خام، عصاره اتری و خاکستر در کاه فرآوری‌شده نسبت به کاه فرآوری‌نشده و نیز کاهش مقدار پروتئین خام، عصاره اتری و NDF در سبوس فرآوری‌شده در مقایسه با سبوس فرآوری‌نشده در این پژوهش (جدول‌های ۱ و ۳) می‌تواند به علت سود و اسید و همچنین به‌دلیل شست‌وشوی پایانی محلول آزمایشی با آب باشد. سیلیس دارای ویژگی آنیونی قوی برای پیوند با کلسیم، آهن، منیزیم، منگنز و همچنین آلومینیوم است (Wu, 2017) و روش سیلیس‌زدایی ممکن است سبب شود تا دیگر عناصر مانند کلسیم، فسفر، سدیم، گوگرد و پتاسیم که در پیوند با سیلیس هستند با استفاده از سود و اسید در شرایط آزمایشگاهی سست و آزاد شوند. در pH قلیایی قوی، سیلیس و فلزات از ترکیب خارج و به‌صورت محلول درمی‌آیند. در هنگام استفاده از NaOH برای سیلیس‌زدایی، این ماده به یون سدیم (Na^+) و یون هیدروکسید (OH^-) تفکیک می‌شود و یون هیدروکسید به عنصر سیلیس در ترکیب SiO_2 متصل می‌شود (Daulay et al., 2021).

سیلیس که به شکل اسید سیلیسیک از طریق خاک جذب گیاه می‌شود و بر لیگنینی شدن گیاه برنج اثر می‌گذارد (Mengel & Kirkby, 2001). استفاده از آب هنگام عمل‌آوری با ترکیبات شیمیایی، باعث کاهش مقدار ماده خشک شد (Chaudhry, 1998). در تضاد با نتایج حاضر، فرآوری کاه برنج با اوره سبب افزایش پروتئین خام (Ma et al., 2020) و خاکستر (Ma et al., 2020) و فرآوری با بیکربنات آمونیوم سبب افزایش پروتئین خام (Wang et al., 2007) شد. مشابه با پژوهش حاضر، عمل‌آوری کاه سویا با هیدروکسید سدیم و هیدروکسید سدیم + پراکسید هیدروژن سبب کاهش درصد پروتئین خام شد (Khorvash et al., 2010).

در تضاد با آزمایش حاضر، فرآوری بقایای ماش، نخود زراعی و باقالا با هیدروکسید سدیم، اکسید کلسیم و پراکسید هیدروژن سبب افزایش خاکستر شد (بابایی و همکاران، ۱۳۹۵). تفاوت در ترکیب شیمیایی ممکن است به تفاوت در سبوس برنج (سبوس کامل و بدون چربی) و تفاوت در گونه برنج مورد استفاده در آزمایش‌ها نسبت داده شود. فرآوری شیمیایی کاه برنج با اوره، میزان NDF و ADF را کم کرد. البته در آزمایش جاری، این روند در سبوس برنج مشاهده شد (جدول ۳).

اندازه‌گیری گاز تولیدی در شرایط برون‌تنی اطلاعات مفیدی را در مورد سرعت و میزان گوارش و اثرات عوامل ضدتغذیه‌ای خوراک فراهم می‌کند (Makkar, 2010). در پژوهشی میزان تولید گاز کاه برنج از بخش‌های تند و کند تجزیه‌شونده به ترتیب برابر ۶۷ و ۱۲۴ میلی‌لیتر بود (Sun et al., 2020). همچنین، تولید گاز کاه برنج پس از ۷۲ ساعت انکوباسیون ۱۷۴ میلی‌لیتر بود (Nader et al., 2012).

در تضاد با پژوهش حاضر، استفاده از هیدروکسید سدیم تولید گاز کاه برنج را در طی ۴۸ ساعت انکوباسیون افزایش داد (Liu et al., 2002) و فرآوری شیمیایی کاه برنج با اوره، سبب افزایش پتانسیل تولید گاز شد (Ma et al., 2020). در پژوهش دیگری نیز، افزایش پتانسیل و نرخ تولید گاز کاه برنج عمل‌آوری‌شده با هیدروکسید سدیم و بی‌کربنات آمونیوم نسبت به نمونه‌های عمل‌آوری‌نشده گزارش شده است (Chen et al., 2008). تجزیه میکروبی خوراک به بافت خوراک، نحوه پیوند باکتری‌های شکمبه به پلی‌ساکاریدها و همکاری میکروارگانیسم‌ها در گوارش بستگی دارد. با عمل‌آوری قلیایی (بخش دوم روش فرآوری شیمیایی در این پژوهش)، سلولز از درون ماتریکس رها شده و در اختیار میکروارگانیسم‌ها قرار می‌گیرد، در نتیجه انرژی تولیدی از ترکیباتی مثل سلولز و همی‌سلولز افزایش می‌یابد (Rahal et al., 1997).

غلظت اسیدهای چرب فرار عمده در شکمبه، نیتروژن آمونیاکی، بافر و بزاق بر تعادل pH مایع شکمبه اثر دارد. هرچه میزان تخمیر در شکمبه افزایش یابد، فرآورده‌های تخمیر یعنی اسیدهای چرب فرار افزایش یافته و در نتیجه pH شکمبه کاهش می‌یابد (Makkar, 2010). عمل‌آوری کاه برنج با هیدروکسید سدیم باعث ترکیب سدیم با کربن‌های دیواره سلولی و تشکیل کربنات سدیم شده و در نتیجه افزایش pH شد (Rahal et al., 1997).

غلظت نیتروژن آمونیاکی یکی از سازه‌های مهم در برآورد مصرف ماده خشک و گوارش‌پذیری الیاف است. در این پژوهش غلظت نیتروژن آمونیاکی (۳۹ میلی‌گرم در دسی‌لیتر) نزدیک به غلظت نیتروژن آمونیاکی (۳۵ میلی‌گرم در دسی‌لیتر) کاه برنج پس از ۴۸ ساعت انکوباسیون در پژوهش دیگری بود (Sun et al., 2020) که نشان می‌دهد پروتئین کاه اگرچه کم بوده است، اما به‌طور کامل تجزیه شده و در اختیار میکروب‌های شکمبه قرار گرفته است. فرآوری بقایای ماش و نخود زراعی با اسید هیدروبرومیک، هیدروکسید سدیم و پراکسید هیدروژن اثری بر غلظت نیتروژن آمونیاکی نداشت (بابایی و همکاران، ۱۳۹۵). عدم تأثیر نوع جیره بر جمعیت کل پروتوزوا می‌تواند به علت متفاوت نبودن غلظت نیتروژن آمونیاکی باشد، زیرا پروتوزوا با باکتری‌های تولیدکننده آمونیاک همزیستی دارند (Dehority, 2003).

گوارش‌پذیری ماده خشک و NDF، ویژگی کلیدی برای مصرف و توان تولیدی علوفه‌ها در تغذیه دام هستند (Ma et al., 2020). در پژوهش دیگری گوارش‌پذیری برون‌تنی ماده خشک و NDF کاه برنج به ترتیب ۶۲ و ۴۷ درصد گزارش شده

است (Sun et al., 2020). درصد گوارش‌پذیری برون‌تنی ماده خشک و NDF کاه برنج با فرآوری شیمیایی با استفاده از اوره افزایش یافت (Ma et al., 2020). اگرچه، در پژوهش حاضر روش فرآوری شیمیایی بر گوارش‌پذیری NDF مؤثر نبود و نتوانست آن را در شرایط برون‌تنی بهبود دهد.

۵. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که فرآوری تلفیقی (استفاده از مواد شیمیایی مختلف نظیر اسیدنیتریک، هیدروکسیدسدیم و هیپوکلریت‌سدیم به شکل متوالی در آزمایش حاضر)، می‌تواند برخی ویژگی‌های ضدتغذیه‌ای فرآورده‌های فرعی برنج (کاه و سبوس برنج)، به‌ویژه سیلیس را کاهش داده و در مواردی موجب بهبود فراسنجه‌های تخمیر و افزایش انرژی قابل متابولیسم شود. فزون بر این، تفاوت در نوع ماده اولیه، غلظت ماده شیمیایی، مدت انکوباسیون یا روش خشک‌کردن می‌تواند علت اختلاف یافته‌های این پژوهش با پژوهش‌های مشابه دیگر باشد.

۶. ملاحظات اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌هاست.

۷. مشارکت نویسندگان

خاتم امین‌الرعیایی: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله؛

طاهره امیرآبادی فراهانی: طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله؛

گلناز تأسلی: مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله؛

سعید کریمی: مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش؛

فریبا رضایی سرتشنیزی: نظارت بر پژوهش، مشارکت در انجام آزمایش.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. حامی مالی

حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی در قالب پژوهانه پایان‌نامه دانشجویی نویسنده اول و همچنین پژوهانه برای سایر نویسندگان انجام شده است.

۱۰. تشکر و قدردانی

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهرکرد به‌خاطر حمایت مالی پژوهش حاضر، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۱۱. منابع

بابایی، منیره؛ قنبری، فرزاد؛ قره‌باش، آشور محمد و بیات کوهسار، جواد (۱۳۹۵). اثرات عمل‌آوری با پرتو الکترون، پراکسید هیدروژن و اسید هیدروبرومیک بر ارزش تغذیه‌ای بقایای ماش. نشریه پژوهش‌های علوم دامی/ایران، ۸(۳)، ۴۴۱-۴۵۴.

References

- AOAC. (2000). Association of official analytical chemists. Official Methods of Analysis. 17th ed., Arlington. VA. USA.
- Babayi, M., Ghanbari, F., Gharebash, A. M., & Bayat Kouhsar, J. (2017). Effects of processing with electron beam, hydrogen peroxide and hydrobromic acid on the nutritional value of vetch wastes. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 8 (3), 441-454. <https://10.22067/ijasr.v8i3.47394>. (In Persian)
- Bandyopadhyay, K., Misra, G., & Ghosh, S. (2008). Preparation and characterisation of protein hydrolysates from Indian defatted rice bran meal. *Journal of Oleo Science*, 57, 47-52. <https://10.5650/jos.57.47>. PMID: 18075222.
- Broderick, G. A., & Kang, J. H. (1980). Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and in vitro media. *Journal of Dairy Science*, 63(1), 64-75. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(80\)82888-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)82888-8)
- Chaudhry, A. S. (1998). Nutrient composition, digestion and rumen fermentation in sheep of wheat straw treated with calcium oxide, sodium hydroxide and alkaline hydrogen peroxide. *Animal feed science and technology*, 74(4), 315-328. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(98\)00178-3](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(98)00178-3)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.006>
- Criscioni, P., & Fernández, C. (2016). Effect of rice bran as a replacement for oat grain in energy and nitrogen balance, methane emissions, and milk performance of Murciano-Granadina goats. *Journal of Dairy Science*, 99(1), 280-290. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9472>
- Daulay, A., & Gea, S. (2021). Extraction silica from rice husk with NaOH leaching agent with temperature variation burning rice husk. *Rasayan Journal of chemistry*, 14(3), 2125. <https://doi.org/10.31788/RJC.2021.1436351>.
- Dehority, B. A. (2003). Rumen Microbiology. Nottingham University Press. UK.
- Goering, H.K., & Van Soest, P.J. (1970) Forage Fiber Analysis (Apparatus Reagents, Procedures and Some Applications). *Agriculture Handbook*. United States Department of Agriculture, Washington DC. USA.
- Jung, H. G., Mertens, D. R., & Phillips, R. L. (2011). Effect of reduced ferulate-mediated lignin/arabinoxylan cross-linking in corn silage on feed intake, digestibility, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 94(10), 5124-5137. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4495>
- Khorvash, M., Kargar, S., Yalchi, T., & Ghorbani, G. R. (2010). Effects of calcium oxide and calcium hydroxide on the chemical composition and in vitro digestibility of soybean straw. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 8, 356-359.
- Krishania, M., Kumar, V., & Sangwan, R. S. (2018). Integrated approach for extraction of xylose, cellulose, lignin and silica from rice straw. *Bioresource Technology Reports*, 1, 89-93. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.01.001>
- 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. <https://doi.org/10.2527/2002.802517x>
- Makkar, H. P. (2010). In vitro screening of feed resources for efficiency of microbial protein synthesis. *In vitro screening of plant resources for extra-nutritional attributes in ruminants: nuclear and related methodologies*, 107-144. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3297-3_7
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2001). *Principles of plant nutrition* (5th Ed. p. 687pp).
- Ma, Y., Chen, X., Zahoor Khan, M., Xiao, J., Liu, S., Wang, J., He, Z., Li, C., & Cao, Z. (2020). The impact of ammoniation treatment on the chemical composition and in vitro digestibility of rice straw in Chinese Holsteins. *Animals*, 10(10), 1854. <https://doi.org/10.3390/ani10101854>

- McDougall, E. I. (1948). Studies on ruminant saliva, the composition and output of sheep's saliva. *Biochemical Journal*, 43, 99-109. <https://doi.org/10.1042/bj0430099>.
- Menke, K. H., & Steingass, H. (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Animal Research Development*, 28, 7-12.
- Nader, G. A., Cun, G. S., & Robinson, P.H. (2012). Impacts of silica levels, and location in the detergent fiber matrix, on in vitro gas production of rice straw. *Animal Feed Science and Technology*, 174, 140-147. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.03.009>.
- Orskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science*, 92, 499-503. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>
- Rahal, A., Singh, A., & Singh, M. (1997). Effect of urea treatment and diet composition on, and prediction of nutritive value of rice straw of different cultivars. *Animal Feed Science and Technology*, 68(1-2), 165-182. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(97\)00045-X](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00045-X)
- Sarnklong, C., Cone, J. W., Pellikaan, W., & Hendriks, W. H. (2010). Utilization of rice straw and different treatments to improve its feed value for ruminants: a review. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 23(5), 680-692.
- Siva Sai Kiran, B., & Raja, S. (2017). A Review on inductively coupled plasma optical emission spectrometry (Icp-Oes) with a special emphasis on its applications. *Scholars Research Library*, 9, 44-54.
- Sharma, J., Kumar, V., Prasad, R., & Gaur, N. A. (2022). Engineering of *Saccharomyces cerevisiae* as a consolidated bioprocessing host to produce cellulosic ethanol: Recent advancements and current challenges. *Biotechnology Advances*, 56, 107925. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2022.107925>
- Sun, L., Lee, M., Jeon, S., & Seo, S. (2020). Evaluation of the associative effects of rice straw with timothy hay and corn grain using an in vitro ruminal gas production technique. *Animals*, 10 (2), 325. <https://doi.org/10.3390/ani10020325>.
- 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. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.08.017>
- Wu, G. (2017). *Principles of Animal Nutrition*. CRC Press. USA. <https://doi.org/10.1201/9781315120065>