Animal Production Research

Vol. 13, No. 1, 2024 (69-80)
doi: 10.22124/AR.2024.26232.1807
eISSN: 2538-6107 pISSN: 2252-0872

University of Guilan

RESEARCH PAPER **OPEN ACCESS**

Effect of wheat straw processed with ammonia on chemical composition, digestibility, gas production parameters, and performance of fattening calves

A. Talebian Masoudi[1*], A. Mirshamsollahi[1]

1. Assistant Professor, Department of Animal Science, Markazi Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, Arak, Iran

(Received: 07-10-2023 – Revised: 09-12-2023 – Accepted: 09-12-2023)

Introduction: The shortage of feed, caused by the limitation and reduction of water resources, is the biggest challenge for the country's livestock industry. Every year, more than 20 million tons of by-products from the main agricultural production remain in the country, which are mainly used as animal feed. Agricultural by-products, which exceed the production of forage crops many times over, are valuable resources that can replace conventional feeds in animal nutrition. Due to their low protein content and low digestibility, they need to be processed. For almost a century, different processing methods have been used in many countries depending on the conditions and facilities, but unfortunately, the majority of these materials are still used raw and unprocessed as animal feed in the country, which is a waste of resources. Straw processing is carried out by various physical, chemical, and biological methods or a combination of these methods, with ammoniation being the most important chemical method. The use of ammonia gas for this purpose can facilitate and accelerate processing, especially with large quantities of by-products. This research was carried out to study the efficacy and economics of the method of ammonization of straw with ammonia gas and the use of the ammonia product in the diet of fattening calves.

Materials and methods: Ammoniated wheat straw was prepared with ammonia gas at three weight percent of the dry matter of straw at 30% moisture by stacking method, and the chemical composition, digestibility, and gas production of the ammonia-containing product were determined. In the second phase, 30 Simmental crossbred fattening calves with an initial weight of 249.5±8.9 were divided into two control and experimental groups and for each group, considering three replicates of five calves for each group. Normal straw was used in the control group, and it was replaced by ammoniated straw in the experimental group. The duration of the trial was eight months, during which the weight gain of the calves was determined every 30 days, and the dry matter was consumed daily. Dry matter consumption, daily weight gain, feed conversion ratio, and the cost of weight gain of calves were determined and compared between the two groups.

Results and discussion: The ammonia treatment of straw increased crude protein content in the ammoniated straw from 4.78% to 12.65%, and the amount of NDF and hemicellulose also decreased in ammoniated straw (from 71.33 to 66.80%, and from 30.75 to 26.25%, respectively), while the amount of ADF increased (from 38.7 to 41.20%). The ammonia treatment of straw increased the gas production per 24 hours from 25.71 mL to 38.06 mL and the estimated metabolizable energy from 5.69 to 6.8 MJ per kilogram of dry matter. The ammonia treatment improved the digestibility of dry matter (from 45.0 to 78.75%) and organic matter of straw (from 42.35 to 80.27%). Substituting normal straw for ammoniated straw in the diet of fattening calves increased daily dry matter consumption from 8.66 kg to 8.99 kg (P<0.01), daily weight gains from 1.33 kg to 1.48 kg, and average weight at the end of the fattening period from 423.98 kg to 440.67 kg (P<0.01), and improved feed conversion ratio from 6.43 to 6.01 (P<0.01). In addition, the use of ammoniated straw reduced the price of ration from 71230

* Corresponding author: armasoudi@gmail.com

CC BY

Rials to 69210 Rials and the cost of feed for each kilogram of animal weight gain from 458008.9 Rials to 415952.1 Rials.
Conclusions: Ammoniation of straw with ammonia gas increased the metabolizable energy, crude protein, and digestibility of straw. The use of ammonia gas for this purpose increased the speed, ease, and efficiency of processing, making it suitable for processing large quantities of straw. The profitability of this method depends on the cost of the ammonia product, in particular the price of ammonia gas and its transportation costs. At the national level and from a macroeconomic perspective, this method increased the digestible nutrients of agricultural residues (metabolizable energy and crude protein), it is, in a sense, a type of food production by increasing productivity and without the consumption of water and other agricultural inputs. It provides more nutrients for livestock, which reduces dependence on traditional feed, reduces competition between humans and livestock for food, protects the environment, and makes production more sustainable.
Keywords: Anhydrous ammonia, straw processing, fattening calves, non-protein nitrogen
Ethics statement: This study was conducted with the full consideration of animal welfare and the approval of this study was granted by the Ethics Committee of Markazi Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, Iran.
Data availability statement: The data that support the findings of this study are available on request from the corresponding author.
Conflicts of interest: The authors declare no conflicts of interest.
Funding: The authors received no specific funding for this work.

How to cite this article:

Talebian Masoudi, A., & Mirshamsollahi, A. (2024). Effect of wheat straw processed with ammonia on chemical composition, digestibility, gas production parameters, and performance of fattening calves. *Animal Production Research*, *13*(1), 69-80. doi: 10.22124/AR.2024.26232.1807

تحقیقات تولیدات دامی

سال سیزدهم/شماره اول/بهار ۱۴۰۳ (۸۰-۶۹)

Animal Production Research

دانشگاه گیلان

مقاله پژوهشی

اثر استفاده از کاه گندم فرآوری شده با آمونیاک بر ترکیب شیمیایی، قابلیت هضم، فراسنجه‌های تولید گاز و عملکرد گوساله‌های پرواری

علیرضا طالبیان مسعودی[1*]، آزاده میرشمس الهی[1]

۱- استادیار، بخش علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵ – تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸ – تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸)

چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی اثربخشی و صرفه اقتصادی روش آمونیاکی کردن کاه با استفاده از گاز آمونیاک و استفاده از محصول آمونیاکی در جیره گوساله‌های پرواری اجرا شد. در ابتدا، آمونیاکی کردن کاه گندم با استفاده از گاز آمونیاک به مقدار سه درصد وزن ماده خشک کاه همراه با ۳۰ درصد رطوبت به‌روش پشته‌سازی انجام شد و ترکیب شیمیایی، گوارش‌پذیری و تولید گاز محصول آمونیاکی تعیین شد. در مرحله دوم، به‌منظور بررسی آثار استفاده از کاه آمونیاکی در جیره گوساله های پرواری، تعداد ۳۰ راس گوساله پرواری دورگ سیمنتال با وزن اولیه ۸/۹±۲۴۹/۵ به دو گروه شاهد و آزمایشی تقسیم شدند و برای هر گروه، سه تکرار پنج راسی در نظر گرفته شد. در جیره گروه شاهد از کاه معمولی استفاده شد و در جیره دام‌های گروه آزمایشی، کاه آمونیاکی جایگزین کاه معمولی شد. مصرف ماده خشک، افزایش وزن روزانه، ضریب تبدیل خوراک و هزینه افزایش وزن گوساله‌ها طی مدت هشت ماه بررسی شد و بین دو گروه مورد مقایسه قرار گرفت. آمونیاکی کردن کاه باعث افزایش مقدار پروتئین خام آن از ۴/۷۸ درصد به ۱۲/۶۵ درصد شد. همچنین، مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی و همی‌سلولز در کاه آمونیاکی کاهش یافت (به‌ترتیب از ۷۱/۳۳ به ۶۶/۸۰ درصد و از ۳۰/۷۵ به ۲۶/۲۵ درصد)، در حالی‌که مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی افزایش یافت (از ۳۸/۷ به ۴۱/۲۰ درصد). آمونیاکی کردن سبب بهبود گوارش‌پذیری ماده خشک (از ۴۵ به ۷۸/۷۵ درصد) و ماده آلی کاه (از ۴۲/۳۵ به ۸۰/۲۷ درصد) شد. جایگزینی کاه آمونیاکی در جیره گوساله‌های پرواری با کاه معمولی سبب افزایش مصرف ماده خشک روزانه در کل دوره ($P<۰/۰۱$)، بیشتر شدن افزایش وزن روزانه و میانگین وزن پایان دوره دام‌ها ($P<۰/۰۱$) و بهبود ضریب تبدیل غذایی شد ($P<۰/۰۱$). همچنین، استفاده از کاه آمونیاکی سبب کاهش قیمت جیره و هزینه خوراک برای هر کیلوگرم افزایش وزن دام شد.

واژه‌های کلیدی: آمونیاک بدون آب، فرآوری کاه، گوساله پرواری، نیتروژن غیرپروتئینی

* نویسندهٔ مسئول: armasoudi@gmail.com

doi: 10.22124/AR.2024.26232.1807

مقدمه

سالانه بیش از ۲۰ میلیون تن فرآورده‌های فرعی بخش کشاورزی از کشت اصلی در کشور بر جای می‌ماند (Ahmadi *et al.,* 2022). این فرآورده‌ها که معمولاً بیش از مقدار محصولات اصلی کشاورزی تولید می‌شوند (حدود ۱/۵ تا سه برابر در محصولات مختلف)، منابع مهم و باارزشی برای تبدیل به پروتئین‌های دامی هستند.

دو خصوصیت بارز این فراورده‌ها شامل پروتئین خام کم و گوارش‌پذیری اندک آنها باعث شده است که مصرف آنها به شکل فرآوری نشده با محدودیت روبرو شود و استفاده بهینه از این ظرفیت عظیم صورت نپذیرد، در حالی‌که برای پاسخگویی پایدار به تقاضای روزافزون غذا مقارن با افزایش محدودیت‌های تولید، استفاده بهینه از این مواد و کاهش هدررفت آنها یک ضرورت است (Ma *et al.,* 2020). بنابراین، برای استفاده موثر از آنها در تغذیه دام، نیاز به فرآوری است که باعث بهبود ارزش غذایی و گوارش‌پذیری شده و آنها را تبدیل به مواد خوراکی مفیدتری می‌نماید (Yang *et al.,* 2021). فرآوری کاه با روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی یا ترکیبی از این روش‌ها انجام می‌شود که در میان آنها، آمونیاکی کردن، کلیدی‌ترین روش شیمیایی است (Ma *et al.,* 2020). آمونیاکی کردن باعث تغییر ترکیب شیمیایی کاه شامل افزایش مقدار پروتئین خام و انرژی قابل هضم، کاهش مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی و همی‌سلولز می‌شود و کاهش مقدار NDF، از دلایل افزایش مصرف کاه آمونیاکی به‌وسیله دام است (Schneider and Flachowsky, 1990; Ma *et al*., 2020). جایگزینی کاه آمونیاکی با کاه معمولی باعث افزایش خوش‌خوراکی جیره و مصرف اختیاری دام می‌شود (Rios *et al.*, 1985; Zorrilla-Mandell *et al*., 1988). همچنین، آمونیاکی‌کردن، گوارش‌پذیری کاه را حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد و مقدار پروتئین خام آن را یک تا دو برابر افزایش می‌دهد و میزان ارزش غذایی محصول آمونیاکی در مجموع می‌تواند دو برابر شود (Guo *et al.*, 2002). افزایش قابلیت هضم کاه آمونیاکی به‌دلیل افزایش هضم همی‌سلولز و سلولز به‌دنبال دسترسی بیشتر میکروارگانیسم‌های شکمبه به الیگوساکاریدهای دیواره‌های لیگنینی شده است (Mandell *et al.*, 1988; Grenet and Barry, 1990).

بهبود خوش‌خوراکی و افزایش مصرف در کنار بهبود گوارش‌پذیری کاه آمونیاکی باعث بهبود افزایش وزن دام‌ها می‌شود (Flachowsky *et al.*, 1999). همچنین، ضریب تبدیل غذایی در پی جایگزینی کاه آمونیاکی با کاه معمولی در جیره دام بهبود می‌یابد (Qingxiang and Yiqiang, 1993; Tengyun, 2000). تحقیق حاضر به‌منظور بررسی اثربخشی و صرفه اقتصادی روش آمونیاکی کردن کاه با استفاده از گاز آمونیاک و استفاده از آن در جیره گوساله‌های پرواری در کشور اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو مرحله اجرا شد. در مرحله نخست، کاه گندم پس از تنظیم رطوبت آن در حدود ۳۰-۲۵ درصد، به‌روش پشته‌سازی با گاز آمونیاک به‌میزان سه درصد وزن ماده خشک کاه، فرآوری شد. گاز آمونیاک مورد استفاده از شرکت پتروشیمی مرودشت تهیه شد. زمان عمل‌آوری با توجه به دمای هوا (۳۵-۲۵ درجه سلسیوس)، یک ماه در نظر گرفته شد. پس از اتمام فرآوری، محصول آمونیاکی شده به‌همراه نمونه کاه اولیه، مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. همچنین، قابلیت هضم آنها با روش برون‌تنی و انرژی قابل سوخت و ساز آن با روش گاز تست تعیین شد (Menke and Steingass, 1988).

مقدار پروتئین خام و ماده آلی نمونه‌ها مطابق با روش‌های استاندارد (AOAC, 2005)، میزان NDF و ADF نمونه‌ها با استفاده از روش Van Soest (1991)، همی‌سلولز با استفاده از روش Van Soest (1967) و قابلیت هضم آزمایشگاهی نمونه‌ها با استفاده از روش هضم دو مرحله‌ای Tilley and Terry (1963) تعیین شد.

در مرحله دوم، یک واحد پرواربندی گوساله دارای امکانات گروه‌بندی دام‌ها و وزن‌کشی انتخاب شد و ۳۰ رأس گوساله دورگ نژاد سمینتال با وزن اولیه ۸/۹±۲۴۹/۵ به دو گروه آزمایشی و شاهد با میانگین وزنی تقریباً یکسان تقسیم شدند و برای هر گروه آزمایشی، سه تکرار پنج راسی در نظر گرفته شد. در گروه شاهد، از کاه معمولی استفاده شد و در گروه آزمایشی، کاه آمونیاکی، جایگزین کاه معمولی شد. دوره عادت‌پذیری در گروه آزمایشی، ۱۴ روز بود که طی آن، به‌تدریج کاه آمونیاکی تا سطح مورد نظر در جیره، جایگزین کاه معمولی شد. جیره غذایی با توجه به میانگین سنی و وزنی گوساله‌ها و با استفاده از جداول احتیاجات

غذایی استاندارد گاوهای گوشتی (NRC, 2000) تنظیم شد و به‌صورت خوراک کامل مخلوط استفاده شد (جدول ۱). طول دوره آزمایش برابر با هشت ماه بود که طی آن، میزان افزایش وزن گوساله‌ها، هر ۳۰ روز یک بار و میزان ماده خشک مصرفی هر روز با جمع‌آوری باقیمانده خوراک، قبل از خوراک‌دهی صبح و اندازه‌گیری ماده خشک آن تعیین شد.

تجزیه و تحلیل داده های مرحله دوم با استفاده از رویه مدل مختلط نرم افزار آماری SAS 9.1 با در نظر گرفتن اثر تیمار به‌عنوان اثر ثابت و وزن اولیه دام‌ها به‌عنوان متغیر کمکی تجزیه شدند. تجزیه داده‌های مربوط به مصرف خوراک و افزایش وزن دام‌ها به‌صورت اندازه‌گیری های تکرار شده در زمان در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون دانکن انجام گرفت.

به‌منظور بررسی اقتصادی جیره‌های مورد استفاده، قیمت اقلام خوراکی بر اساس قیمت روز در زمان شروع آزمایش مورد استفاده قرار گرفت و با افزودن هزینه آمونیاکی کردن کاه به قیمت اولیه، قیمت کاه آمونیاکی محاسبه شد. سپس، هزینه ماده خشک مصرفی برای هر کیلوگرم افزایش وزن گوساله‌های دو گروه محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

اثر آمونیاکی‌کردن بر ترکیب شیمیایی کاه گندم در جدول ۲ و تاثیر آن بر گوارش‌پذیری ماده خشک و ماده آلی کاه در جدول ۳ نشان داده شده است. آمونیاکی‌کردن کاه باعث تغییر قابل توجهی در ماده آلی و خاکستر خام نشد. عدم تغییر ماده آلی کاه در پی آمونیاکی کردن در بررسی‌های مشابه گزارش شده است (Dryden Sadeghi *et al.,* 2015; Sousa *et al.,* 2019; Talebian and Kempton, 1983; Masoudi and Mirshamsollahi, 2022).

پروتئین خام کاه در نتیجه آمونیاکی شدن از ۴/۷۸ به ۱۲/۶۵ درصد (۲/۶ برابر) افزایش یافت. این افزایش، یکی از شناخته‌شده‌ترین نتایج و از اهداف فرآیند آمونیاکی‌کردن کاه است و در تمامی گزارشات مشابه نیز ذکر شده است و

جدول ۱ – اقلام خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره آزمایشی (برای یک گوساله با وزن ۳۰۰ کیلوگرم)

Table 1. Components and chemical composition of experimental diet (for a calf with body weight of 300 kg)

Feed ingredient (% of DM)	Ammoniated straw	Control (straw)
Alfalfa hay, chopped	16	18
Wheat straw	-	18
Ammoniated wheat straw	21	-
Corn silage	8	8
Dried sugar beet pulp	4	4
Barley grain, ground	19.64	17.80
Wheat bran	10	10
Corn grain, ground	13	13
Soybean meal	5.81	8.92
Calcium carbonate	1	1
Vitamin and mineral mix[1]	0.8	0.8
Salt	0.19	0.19
Sodium bicarbonate	0.20	0.20
Antifungal	0.08	0.08
Superphosphate	0.28	-
Chemical composition		
NEm, Mcal/kg of DM	1.48	1.48
NEg, Mcal/kg of DM	0.90	0.90
Dry matter	82	85.5
Organic matter	92.25	92.41
Crude protein	12.8	12.8
Ca	0.73	0.76
P	0.40	0.37
NDF	37.2	39.1
ADF	22.69	25.50
S	0.18	0.20

[1] Contained per kilogram: 450,000 IU of vitamin A, 150,000 IU of vitamin D3, 2500 mg of vitamin E, 220 g Ca, 21 g P, 50 g Mg, 3 g Fe, 2.5 g Mn, 60 mg Co, 4 g Zn, 200 mg I, and 25 mg Se.

علت آن، اتصال نیتروژن به کاه است (Griffith *et al.,* 2016)، که می‌تواند به پروتئین میکروبی تبدیل شده و در تأمین پروتئین دام مشارکت نماید (Muthia *et al.,* 2021)، اگرچه مقدار این افزایش بسته به عوامل متعددی نظیر منبع و سطح آمونیاک مورد استفاده، رطوبت، دما و نوع پسماند متغیر است (Schneider and Flachowsky, 1990; Sadeghi *et al.,* 2015; Talebian Masoudi *et al.,* 2022).

آمونیاکی‌کردن کاه، باعث کاهش مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و همی‌سلولز و افزایش مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) شد. کاهش NDF که در گزارشات متعدد دیگر نیز مشاهده شده است (Saenger *et al.,* 1983; Sadeghi *et al.,* 2015; Talebian Masoudi and Mirshamsollahi, 2022)، یکی از دلایل افزایش مصرف کاه آمونیاکی به‌وسیله نشخوارکنندگان است (Schneider and Flachowsky, 1990; Sousa *et al.,* 2019). در برخی گزارشات نیز کاهش مقدار NDF یا همی-سلولز در پی آمونیاکی کردن کاه مشاهده نشده است (Brand *et al.,* 1991).

آمونیاکی کردن همچنین باعث افزایش مقدار ADF کاه شد که مشابه این اثر، قبلاً نیز گزارش شده است (Cloete *et al.,* 1983; Mudgal *et al.,* 2018; Talebian Masoudi and Mirshamsollahi, 2022). در برخی گزارشات نیز آمونیاکی‌کردن باعث کاهش ADF (Sadeghi *et al.,* 2015; Ma *et al.,* 2020) یا عدم تغییر آن شده است (Schneider and Flachowsky, 1990).

کاهش مقدار همی‌سلولز مشاهده شده در محصول آمونیاکی در این آزمایش، مشابه دیگر گزارشات است (Cloete *et al.*, 1983; Oosting *et al.*, 1994; Sadeghi *et al.*, 2015; Jayanegara *et al.*, 2017; Talebian Masoudi *et al.*, 2022). بیان شده که همی‌سلولز، بیشترین تاثیر را در آمونیاکی شدن می‌پذیرد و بخشی از آن محلول می‌شود که به‌علت افزایش گروه‌های کربوکسیل آزاد در پی شکافتن پیوندهای استری اسیدهای اورونیک در همی‌سلولز است و از دست رفتن گروه‌های استیل، نشان‌دهنده تغییرات شیمیایی رخ داده در بخش همی‌سلولز است (Schneider and Flachowsky, 1990). در برخی مطالعات نیز این کاهش مشاهده نشده است (Brand *et al.*, 1991). آمونیاکی‌کردن کاه همچنین باعث بهبود قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی شد. گوارش‌پذیری ماده خشک کاه و ماده آلی آن به‌ترتیب از ۴۲/۳۵ و ۴۵ درصد در کاه معمولی به ۷۸/۷۵ و ۸۰/۲۷ درصد در کاه آمونیاکی افزایش یافت (جدول ۳).

در یک آزمایش مشابه، افزایش گوارش‌پذیری ماده خشک و ماده آلی کاه به‌ترتیب از ۴۷/۵ و ۴۴/۰۴ درصد در کاه معمولی، با کمینه ۵۱/۶۳ و ۵۴/۵۵ و بیشینه ۶۸/۷۸ و ۶۸/۹۷ درصد در کاه آمونیاکی بسته به سطح گاز و رطوبت مورد استفاده، گزارش شده است (Talebian Masoudi and Mirshamsollahi, 2022). در همین ارتباط، گزارش شده است که آمونیاکی کردن کاه، گوارش‌پذیری ماده خشک آن را به‌واسطه افزایش هضم همی‌سلولز و سلولز، افزایش می-دهد (Mandell *et al.*, 1988). همچنین، بیان شده است که در پی آمونیاکی کردن، گوارش‌پذیری ماده خشک کاه با روش برون‌تنی، ۲۷/۶ درصد بهبود یافته است (Zorrilla-Rios *et al.,* 1985).

جدول ۲– ترکیب شیمیایی و گوارش‌پذیری کاه و کاه آمونیاکی

Table 2. The chemical composition and digestibility of straw and ammoniated straw

Treatments	Chemical composition (% DM)				
	OM	CP	Hemicellulose	ADF	NDF
Straw	89.75	4.78	30.75	38.70	71.33
Ammoniated straw	91.4	12.65	26.25	41.20	66.80

OM: Organic matter; CP: Crude protein

جدول ۳– اثر آمونیاکی کردن کاه بر گوارش‌پذیری ماده خشک و ماده آلی

Table 3. Effect of ammoniating straw on dry matter and organic matter digestibility

Digestibility (%)	Treatments		SEM	*P*-value
	Straw	Ammoniated straw		
DM	42.35	78.75	8.14	<.0001
OM	45.00	80.27	7.89	<.0001

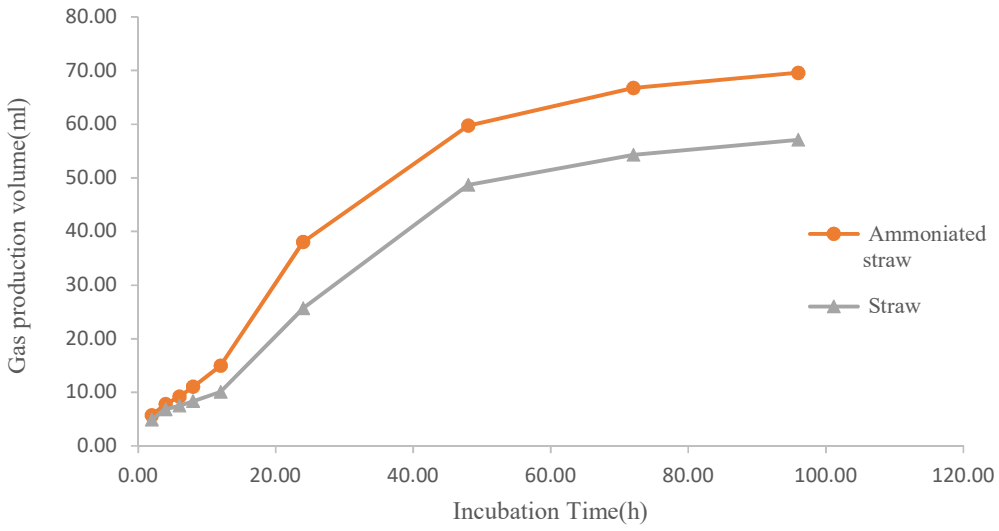
OM: Organic matter

با توجه به محلول شدن بخشی از همی‌سلولز در پی آمونیاکی کردن کاه، سوبسترای بیشتری در دسترس باکتری‌های شکمبه قرار می‌گیرد و سبب افزایش قابلیت هضم محصول آمونیاکی می‌شود (Schneider and Flachowsky, 1990; Sadeghi *et al.*, 2015). در برخی گزارشات نیز، تفاوتی در گوارش‌پذیری ظاهری ماده خشک، پروتئین خام، الیاف خام، الیاف محلول در شوینده خنثی و اسیدی، همی‌سلولز و سلولز به‌دنبال آمونیاکی کردن مشاهده نشده است (Singh and Negi, 1985).

تغییرات گاز تولیدی در کاه و کاه آمونیاکی در زمان‌های مختلف انکوباسیون در شکل ۱ نشان داده شده است. با ادامه زمان انکوباسیون، مقدار تولید گاز در کاه و کاه آمونیاکی به‌طور تدریجی افزایش یافت و برای کاه آمونیاکی از سرعت بیشتری برخوردار بود. همچنین، مقدار تولید گاز نیز با گذشت زمان و در پایان انکوباسیون در محصول آمونیاکی بیشتر بود. نرخ تولید گاز از شروع آزمایش تا ساعت ۱۲ دارای شیب ملایم بود و شیب آن از ساعت ۱۲ تا ساعت ۲۴ افزایش یافت و پس از آن تا پایان زمان انکوباسیون رو به کاهش بود. نرخ تولید گاز و شیب آن در کاه آمونیاکی تا ساعت ۲۴ بیشتر از کاه معمولی بود و پس از آن تا پایان زمان انکوباسیون در هر دو ماده تقریباً مشابه بود.

خصوصیات کینتیک تولید گاز کاه آمونیاکی در جدول ۴ نشان داده شده است. آمونیاکی کردن کاه باعث افزایش تولید گاز و انرژی قابل سوخت و ساز برآورد شده از ۵/۶۹ به ۶/۸ مگاژول در کیلوگرم ماده خشک شد. گزارش شده است که افزایش گاز تولیدی نشان‌دهنده بیشتر بودن انرژی قابل سوخت و ساز، نیتروژن قابل تخمیر و سایر مواد مغذی مورد نیاز فعالیت میکروارگانیسم‌های شکمبه است (Datt and Singh, 1995). بیشتر بودن NDF و کمتر بودن کربوهیدرات‌های غیرساختمانی در کاه عمل‌آوری نشده سبب کاهش تولید گاز می‌شود زیرا تولید گاز دارای همبستگی منفی با میزان دیواره سلولی است (De Boever *et al.*, 2005).

گوارش‌پذیری ماده خشک و NDF، خصوصیات کلیدی برای مصرف و توان تولیدی علوفه‌ها در تغذیه دام هستند (Ma *et al.*, 2020) و انبساط دیواره سلولی و تجزیه آن در پی آمونیاکی کردن، میکروب‌های شکمبه را قادر به حمله، تشکیل کلنی و تجزیه آسان‌تر اجزای الیاف می‌سازند که این موضوع را افزایش تولید گاز و تجزیه‌پذیری کاه آمونیاکی در مقایسه با کاه معمولی تایید می‌نماید (Jayanegara *et al.*, 2017; Muthia *et al.*, 2021).



شکل ۱- نمودار الگوی تولید گاز کاه آمونیاکی و کاه در زمان‌های مختلف انکوباسیون (به‌ازای ۲۰۰ میلی‌گرم نمونه)

Fig. 1. Diagram of gas production pattern of ammonia straw and straw at different incubation times (per 200 mg of sample)

جدول ۴- فراسنجه های تولید گاز کاه و کاه آمونیاکی
Table 3. Gas production parameters of straw and ammoniated straw

Treatments	Gas production parameters					
	Gas production (mL/24 h)	b (mL)	c (mL/h)	DOM (% DM)	ME (MJ/Kg DM)	SCFA (mmol)
Straw	25.71	43.64	0.021	39.25	5.69	0.549
Ammoniated straw	38.06	58.49	0.031	47.87	6.80	0.840

همچنین، آمونیاکی کردن باعث تضعیف پیوندهای هیدروژنی در ملکول کاه می‌شود و در نتیجه، مولکول‌های الیاف و پیوندهای استری منبسط می‌شوند که اتصال باکتری‌ها به کاه آمونیاکی و تجزیه آن در شکمبه دام را تسهیل می‌نماید (Ma *et al.*, 2020).

علاوه بر تاثیر روش قلیایی کردن بر گوارش‌پذیری اجزای دیواره سلولی، افزایش مقدار نیتروژن محصول آمونیاکی نیز در بهبود گوارش‌پذیری محصول آمونیاکی نقش دارد، زیرا کمبود نیتروژن آمونیاکی عامل محدودکننده رشد میکروب‌های شکمبه به‌ویژه انواع هضم‌کننده‌های سلولز است. افزایش قابلیت حل همی‌سلولز در پی آمونیاکی کردن نیز که یکی از محرک‌های هضم سلولز است از دیگر عوامل موثر در این زمینه است (Fahmy and Sundstøl, 1984).

اثر جایگزینی کاه آمونیاکی به‌جای کاه معمولی در جیره گوساله‌های پرواری بر مصرف ماده خشک روزانه، افزایش وزن و ضریب تبدیل در کل دوره، در جدول ۵ و به‌تفکیک طی ماه‌های آزمایش، در جدول ۶ نشان داده شده است.

مصرف ماده خشک روزانه در کل دوره، تفاوت معنی‌داری بین دو گروه شاهد و آزمایشی داشت و در گروه آزمایشی، بیشتر بود ($P<$ ۰/۰۱). از ماه دوم تا پایان آزمایش، مصرف ماده خشک روزانه در گروه آزمایشی بیشتر از گروه شاهد بود و اثر زمان در مصرف ماده خشک روزانه و نیز بر هم کنش اثر زمان و اثر تیمار، معنی‌دار بود ($P<$ ۰/۰۱). افزایش مصرف کاه آمونیاکی فرآوری شده با اوره یا آمونیاک در مقایسه با کاه معمولی به‌وسیله محققان متعددی گزارش شده است (Sundstøl, 1984; Kraiem *et al.*, 1991). همچنین، گزارش شده است که جایگزینی کاه آمونیاکی با کاه معمولی در جیره گوساله‌های پرواری، میانگین مصرف ماده خشک روزانه را از ۹/۵۳ کیلوگرم در روز به ۹/۹۶ کیلوگرم افزایش داد (Talebian Masoudi and Mirshamsollahi, 2022).

عوامل متعددی نظیر تغییر خصوصیات فیزیکی و همچنین بهبود گوارش‌پذیری، شامل نرخ و میزان هضم و سرعت عبور از لوله گوارش، کاه آمونیاکی در مقایسه با کاه معمولی، به عنوان دلیل بهبود افزایش مصرف اختیاری کاه آمونیاکی به‌وسیله دام ذکر شده‌اند. آمونیاکی کردن کاه بر خصوصیات فیزیکی آن اثر می‌گذارد و حساسیت آن را به شکستگی مکانیکی افزایش می‌دهد. در نتیجه، اندازه ذرات بلعیده شده حین جویدن و نشخوار کردن، سریع‌تر کاهش می‌یابد (Zorrilla-Rios *et al*., 1985; Mudgal *et al.*, 2018).

در خوراک‌های با کیفیت کم نظیر کاه، مصرف اختیاری عامل اصلی تعیین‌کننده تولید دام است که خود تابع ترکیب شیمیایی، خصوصیات فیزیکی، نرخ و میزان هضم و عبور آن از لوله گوارش است. بنابراین، افزایش نرخ و میزان تجزیه کاه آمونیاکی نسبت به کاه معمولی از جمله دلایل افزایش مصرف آن و بهبود رشد دام‌ها برشمرده شده است و افزایش مصرف اختیاری در دام‌هایی که از کاه آمونیاکی استفاده می‌کنند، پاسخی است که به‌خوبی مستند شده است (Zorrilla-Rios *et al.*, 1985; Mandell *et al.*, 1988; Conway *et al.*, 2019).

افزایش وزن روزانه دام‌ها و میانگین وزن پایان دوره دام‌ها در گروه آزمایشی در کل دوره و در تمامی ماه‌های آزمایش، به‌شکل معنی‌داری بیشتر از گروه شاهد بود. همچنین، اثر زمان و برهم کنش زمان و تیمار نیز در این خصوص معنی-دار بود ($P<$ ۰/۰۱).

افزایش مصرف اختیاری کاه آمونیاکی و بهبود گوارش-پذیری آن به‌عنوان دلایل بهبود افزایش وزن دام‌ها گزارش شده است. همچنین، لیگنین‌زدایی و حذف منومرهای لیگنین که فعالیت میکروبی در شکمبه را مهار می‌کنند و افزایش انرژی قابل هضم از دلایل آن ذکر شده است (Flachowsky *et al*., 1999; Conway *et al*., 2019).

افزایش وزن روزانه در جیره‌های حاوی کاه آمونیاکی جایگزین شده با کاه معمولی در پی افزایش مصرف و بهبود گوارش‌پذیری آن مشاهده شده است (Faulkner *et al.*, 1985; Talebian Masoudi *et al.*, 2022). همچنین، وزن روزانه گاوهای گوشتی به‌دنبال مصرف کاه کتان و بقایای

ذرت آمونیاکی در جیره، افزایش یافته است (Mann *et al*., 1988). در بره‌ها نیز مصرف کاه آمونیاکی در مقایسه با کاه معمولی سبب بهبود افزایش وزن روزانه شده است (Kraiem *et al*., 1991).

ضریب تبدیل غذایی در کل دوره و ماه‌های آزمایش (به‌استثنای ماه چهارم و هشتم) به‌شکل معنی‌داری در گروه آزمایشی، بهتر بود و اثر زمان و برهم کنش زمان و تیمار نیز معنی‌دار بود ($P<$ ۰/۰۱). بهبود ضریب تبدیل در دام‌های مصرف‌کننده کاه آمونیاکی ناشی از بهبود گوارش‌پذیری آن و افزایش مصرف مواد مغذی قابل هضم در جیره حاوی این ماده است. در گوساله های هلشتاین نیز مصرف کاه آمونیاکی عمل‌آوری شده با اوره یا بی‌کربنات آمونیوم سبب بهبود افزایش وزن دام‌ها و ضریب تبدیل خوراک شده است (Tengyun, 2000) و جایگزینی کاه آمونیاکی با کاه معمولی در جیره گوساله‌های هلشتاین نیز ضریب تبدیل غذایی را به‌صورت معنی‌داری بهبود بخشید (Talebian Masoudi *et al*., 2022). گزارشاتی نیز وجود دارد که مصرف کاه آمونیاکی در جیره دام‌ها در مقایسه با کاه معمولی باعث تفاوتی در افزایش وزن دام‌ها و ضریب تبدیل خوراک نشده است (Rath *et al*., 2001). بنابراین، نتایج به‌کارگیری محصول آمونیاکی در جیره می‌تواند تحت تاثیر عوامل مختلفی نظیر روش آمونیاکی کردن، سطح مصرف، سایر اجزای جیره (به‌خصوص ماده آلی قابل هضم و انرژی قابل تخمیر) و عوامل مربوط به دام مورد آزمایش باشد. برای مثال، گزارش شده است که در مقایسه دو محصول آمونیاکی، با اوره (پنج درصد) یا گاز آمونیاک (سه درصد)، کاه آمونیاکی شده با گاز آمونیاک باعث برتری هشت درصدی در عملکرد وزن زنده دام شد (Dolberg and Finlayson, 1995).

همچنین، به‌منظور بهره‌برداری کامل از ظرفیت جیره غذایی حاوی کاه آمونیاکی، رعایت برخی موارد ضروری است که یکی از آنها، نیاز به مکمل پروتئین عبوری از شکمبه است و در حالی‌که بیان شده، ماهیت دقیق پاسخ به آن هنوز در حد یک حدس علمی است، در مورد اصل پاسخ‌های تولید شده در حیوانات، شکی وجود ندارد (Dolberg and Finlayson, 1995).

جدول ۵- اثر تغذیه جیره‌های آزمایشی بر مصرف ماده خشک، افزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل غذایی در کل دوره

Table 4. Effect of feeding experimental diets on dry matter intake, daily weight gain, and feed conversion ratio throughout the experimental period

Items	Treatments		SEM	*P*-value		
	Ammoniated straw	Straw		Treatment	Time	Treatmen×Time
Initial body weight (kg)	248.33	250.73				
Dry matter intake (kg/d)	8.99	8.66	0.14	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Daily weight gain (kg)	1.48	1.33	0.01	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Finishing body weight (kg)	440.67	423.98	6.49	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Feed conversion ratio	6.01	6.43	0.07	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

SEM: Standard error of the means.

جدول ۶- اثر تغذیه جیره های آزمایشی بر مصرف ماده خشک، افزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل غذایی در ماه های آزمایش

Table 5. Effect of feeding experimental diets on dry matter intake, daily weight gain, and feed conversion ratio of calves by experimental months

Items	Treatments	Month								SEM
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Dry matter intake (kg/d)	Straw	5.70	6.40^{b}	7.21^{b}	8.07^{b}	9.26^{b}	9.95^{b}	10.78^{b}	11.88^{b}	0.14
	Ammoniated Straw	5.69	6.52^{a}	7.52^{a}	8.37^{a}	9.46^{a}	10.60^{a}	11.60^{a}	12.54^{a}	
P-value		0.763	0.0002	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	
Daily gain (kg)	Straw	1.14^{b}	1.19^{b}	1.32^{b}	1.36^{b}	1.40^{b}	1.26^{b}	1.42^{b}	1.53^{b}	0.01
	Ammoniated Straw	1.23^{a}	1.34^{a}	1.46^{a}	1.43^{a}	1.68^{a}	1.46^{a}	1.60^{a}	1.65^{a}	
P-value		0.025	< 0.0001	< 0.0001	0.001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	
Feed conversion ratio	Straw	4.99^{a}	5.34^{a}	5.38^{a}	5.92	6.60^{a}	7.86^{a}	7.55^{a}	7.76	0.07
	Ammoniated Straw	4.65^{b}	4.84^{b}	5.13^{b}	5.82	5.62^{b}	7.23^{b}	7.21^{b}	7.55	
P-value		0.030	< 0.0001	0.011	0.298	< 0.0001	< 0.0001	0.009	0.126	

$^{a-b}$ Means in the same column with different superscripts are significantly different (P<0.01). SEM: Standard error of the means.

نتایج بررسی اقتصادی جیره‌های مورد استفاده در گروه شاهد و آزمایشی در جدول ۷ نشان داده شده است. قیمت هر کیلوگرم کاه معمولی در زمان آزمایش، ۳۲۰۰ تومان، هزینه آمونیاکی کردن هر کیلوگرم کاه، ۵۰۰ تومان و قیمت تمام شده کاه آمونیاکی ۳۷۰۰ تومان به‌ازای هر کیلوگرم بود. استفاده از کاه آمونیاکی باعث کاهش قیمت جیره به میزان ۲۰۲۰ ریال در هر کیلوگرم شد و با توجه به مقدار ماده خشک مصرفی برای هر کیلوگرم افزایش وزن دو گروه شاهد و آزمایشی، هزینه خوراک برای هر کیلوگرم افزایش وزن در گروه آزمایشی، ۴۲۰۵۶/۸ ریال کاهش یافت.

جدول ۷- قیمت جیره‌های آزمایشی و هزینه افزایش وزن گوساله‌ها (در سال ۱۴۰۱)

Table 6. Price of experimental diets and cost of calf weight gain (in 2022)

Items	Treatments	
	Ammoniated Straw	Straw
Diet price (Rial/kg)	69210	71230
Feed conversion ratio	6.01	6.43
Cost of feed (Rial/kg weight gain)	415952.1	458008.9

مشابه این اثر یعنی کاهش هزینه جیره حاوی کاه آمونیاکی در مقایسه با کاه معمولی در بره‌های پرواری نیز گزارش شده است (Rath *et al*., 2001). همچنین، گزارش شده است که کاه عمل‌آوری شده را می‌توان به‌طور کامل جایگزین سیلاژ ذرت در جیره تلیسه‌های هلشتاین کرد، بدون این که اثر منفی بر عملکرد آنها داشته باشد و هزینه هر کیلوگرم افزایش وزن با این جایگزینی کاهش می‌یابد (Sadeghi *et al.,* 2014).

به‌دلیل اجرای این پروژه در دامداری خصوصی و جهت پیش‌گیری از تغییر گسترده جیره و بروز هرگونه مشکل یا ضرر و زیان احتمالی دامدار، سطح استفاده از کاه آمونیاکی در این آزمایش، ۲۱ درصد در نظر گرفته شد، در حالی‌که امکان افزایش این سطح وجود داشت که می‌توانست مزیت اقتصادی بیشتری را ایجاد نماید. در آزمایشی مشابه، با سطح مصرف کاه آمونیاکی برابر با ۱۸/۸ درصد، استفاده از کاه آمونیاکی باعث کاهش قیمت جیره به میزان ۱۸۷۰ ریال در هر کیلوگرم شد و قیمت خوراک برای هر کیلوگرم افزایش وزن در گروه آزمایشی، ۱۶۶۹۴ ریال کاهش یافت (Talebian Masoudi *et al*., 2022).

با توجه به افزایش قابل توجه قیمت ملزومات به‌ویژه گاز آمونیاک و هزینه حمل آن تا واحد در سال ۱۴۰۱ نسبت به آزمایش قبلی که در سال ۱۴۰۰ اجرا شد، مشاهده می‌شود که به‌دلیل افزایش سطح مصرف کاه آمونیاکی و کاهش قیمت جیره، هنوز هم استفاده از کاه آمونیاکی فرآوری شده با این روش دارای صرفه اقتصادی در سطح بهره‌بردار است. این روش در سطح ملی و نگاه کلان‌تر نیز با افزایش مواد مغذی قابل هضم بقایای کشاورزی (انرژی قابل سوخت و ساز و پروتئین خام)، به‌نوعی تولید خوراک از مسیر افزایش بهره‌وری است و بدون مصرف آب و سایر نهاده‌های کشاورزی، مواد مغذی بیشتری را برای دام فراهم می‌آورد که ضمن کاهش اتکا به خوراک‌های رایج باعث کاهش رقابت انسان و دام برای غذا، حفظ محیط زیست و پایداری بیشتر تولید می‌شود.

در همین ارتباط، برآورد شده که حدود شش میلیون تن کاه آمونیاکی می‌تواند بیش از ۳۰۰ هزار تن گوشت لاشه تولید نماید (Dolberg and Finlayson, 1995)، که نشان می‌دهد چنانچه حدود ۲۰ درصد کاه تولیدی در کشور، آمونیاکی شده و به مصرف دام برسد، نیازی به واردات گوشت نخواهیم داشت.

نتیجه‌گیری کلی

آمونیاکی کردن با گاز آمونیاک، روشی موثر با کاربری ساده برای فرآوری مقدار زیاد کاه است و باعث افزایش مقدار انرژی قابل سوخت و ساز، پروتئین خام و گوارش‌پذیری کاه می‌شود. صرفه اقتصادی این روش بستگی به هزینه تمام شده محصول آمونیاکی دارد که به‌طور عمده، تابع قیمت گاز آمونیاک و هزینه حمل آن است.

فهرست منابع

Ahmadi, K., Ebadzadeh, H. R., Hatami, F., Mohammadnia Afrozi, S., Esfandiaripour, A., & Abbas Taghani, R. (2022). Agricultural statistics of the crop year 2018-2019, the first volume: Crops. Ministry of Jihad Agriculture, Planning and Economic Deputy, Information and Communication Technology Center. P. 89. [In Persian]

AOAC. (2005). Official Methods of Analysis. Vol. I. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.

Brand, A. A., Cloete, S. W. P., & Franck, F. (1991). The effect of supplementing untreated, urea-supplemented and urea-ammoniated wheat-straw with maize-meal and/or fish-meal in sheep. *South African Journal of Animal Science*, *21*(1), 48-54.

Cloete, S. W. P., De Villiers, T. T., & Kritzinger, N. M. (1983). The effect of ammoniation by urea on the nutritive value of wheat straw for sheep. *South African Journal of Animal Science*, *13*(3), 143-146.

Conway, A. C., King, T. M., Jolly-Breithaupt, M. L., MacDonald, J. C., Klopfenstein, T. J., & Drewnoski, M. E. (2019). Effect of harvest method and ammoniation of baled corn residue on intake and digestibility in lambs. *Translational Animal Science*, *3*(1), 42-50. doi: 10.1093/tas/txz013

Datt C., & Singh G. (1995). Effect of protein supplementation on in vitro digestibility and gas production of wheat straw. *Indian Journal of Dairy Science*, *48*, 357-361.

De Boever, J. L., Aerts, J. M., Vanacker, J. M., & De Brabander, D. L. (2005). Evaluation of the nutritive value of maize silages using a gas production technique. *Animal Feed Science and Technology*, *123*, 255-265. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2005.04.019

Dolberg, F., & Finlayson, P. (1995). Treated straw for beef production in China. *World Animal Review*, *82*(1), 14.

Dryden, G. M., & Kempton, T. J. (1983). Digestion of organic matter and nitrogen in ammoniated barley straw. *Animal Feed Science and Technology*, *10*(1), 65-75. doi: 10.1016/0377-8401(83)90006-8

Fahmy, S. T. M., & Sundstøl, F. (1984). The effect of urea and intact protein supplementation on the in vitro digestibility of untreated or alkali-treated barley straw. *Zeitschrift für Tierphysiologie Tierernährung und Futtermittelkunde*, *52*(1-5), 118-124. doi: 10.1111/j.1439-0396.1984.tb00821.x

Faulkner, D. B., Llamas, G. L., Ward, J. K., & Klopfenstein, T. J. (1985). Improving the intake and nutritive value of wheat straw for beef cows. *Animal Feed Science and Technology*, *12*(2), 125-132. doi: 10.1016/0377-8401(85)90058-6

Flachowsky, G., Kamra, D. N., & Zadrazil, F. (1999). Cereal straws as animal feed-possibilities and limitations. *Journal of Applied Animal Research*, *16*(2), 105-118. doi: 10.1080/09712119.1999.9706272

Griffith, C. L., Ribeiro Jr, G. O., Oba, M., McAllister, T. A., & Beauchemin, K. A. (2016). Fermentation of ammonia fiber expansion treated and untreated barley straw in a rumen simulation technique using rumen inoculum from cattle with slow versus fast rate of fiber disappearance. *Frontiers in Microbiology*, *7*, 1839. doi: 10.3389/fmicb.2016.01839

Jayanegara, A., Krisnawan, N., Widyawati, Y., & Sudarman, A. (2017). Ammoniation of rice straw and supplementation of Paraserianthes falcataria and Sapindus rarak on in vitro rumen fermentation and methane production. *Buletin Peternakan*, *41*(4), 420-430. doi: 10.21059/buletinpeternak.v41i4.25549

Kraiem, K., Abdouli, H., & Goodrich, R. D. (1991). Comparison of the effects of urea and ammonia treatments of wheat straw on intake, digestibility and performance of sheep. *Livestock Production Science*, *29*(4), 311-321. doi: https://doi.org/10.1016/0301-6226(91)90106-Z

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. doi: 10.3390/ani10101854

Mandell, I. B., Christison, G. I., Nicholson, H. H., & Coxworth, E. C. (1988). The effect of variation in the water content of wheat straw before ammoniation on its nutritive value for beef cattle. *Animal Feed Science and Technology*, *20*(2), 111-124. doi: 10.1016/0377-8401(88)90035-1

Mann, M. E., Cohen, R. D. H., Kernan, J. A., Nicholson, H. H., Christensen, D. A., & Smart, M. E. (1988). The feeding value of ammoniated flax straw, wheat straw and wheat chaff for beef cattle. *Animal Feed Science and Technology*, *21*(1), 57-66. doi: 10.1016/0377-8401(88)90019-3

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 and Development*, *28*, 7-55.

Muthia, D., Laconi, E.B., Ridla, M., Jayanegara, A., Ridwan, R., Fidriyanto, R., Abdelbagi, M., & Ramdani, H. (2021). Effect of combining autoclave and ammoniation on nutritional value and in vitro digestibility of rice straw. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, *788*(1), 012052. IOP Publishing. doi: 10.1088/1755-1315/788/1/012052

Mudgal, V., Mehta, M. K., & Rane, A. S. (2018). Lentil straw (Lens culinaris): An alternative and nutritious feed resource for kids. *Animal Nutrition*, *4*(4), 417-421. doi: 10.1016/j.aninu.2018.04.009

National Research Council. (2000). Nutrient requirements of beef cattle. 7th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC, USA.

Oosting, S. J., Vlemmix, P. J. M., & Van Bruchem, J. (1994). Effect of ammonia treatment of wheat straw with or without supplementation of potato protein on intake, digestion and kinetics of comminution, rumen degradation and passage in steers. *British Journal of Nutrition*, *72*(1), 147-165. doi: 10.1079/BJN19940016

Rath, S., Verma, A. K., Singh, P., Dass, R. S., & Mehra, U. R. (2001). Performance of growing lambs fed urea ammoniated and urea supplemented wheat straw based diets. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *14*(8), 1078-1084.

Sadeghi, S., Valizadeh, R., Naserian, A., & Tahmasbi, A. (2014). Effects of replacing corn silage with varying levels of ammonia gassed wheat straw on performance, fermentation parameters and Blood Metabolites in Holstein heifers. *Iranian Journal of Animal Science Research*, *5*(4), 325-334. [In Persian]

Sadeghi, S., Valizadeh, R., Naserian, A., & Tahmasbi, A. (2015). Nutritive value of wheat straw treated with gaseous or liquid ammonia trough nylon bag and *in vitro* gas production techniques. *Iranian Journal of Animal Science Research*, *7*(3), 257-266. [In Persian]

Saenger, P. F., Lemenager, R. P., & Hendrix, K. S. (1983). Effects of anhydrous ammonia treatment of wheat straw upon *in vitro* digestion, performance and intake by beef cattle. Journal of Animal Science, *56*(1), 15-20. doi: doi.org/10.2527/jas1983.56115x

Schneider, M., & Flachowsky, G. (1990). Studies on ammonia treatment of wheat straw: Effects of level of ammonia, moisture content, treatment time and temperature on straw composition and degradation in the rumen of sheep. *Animal Feed Science and Technology*, *29*(3-4), 251-264. doi: 10.1016/0377-8401(90)90031-3

Singh, B., & Negi, S. S. (1985). Utilization of ammoniated wheat straw by sheep. *Indian Journal of Animal Nutrition*, *2*(1), 31-34.

Sousa, G. O. C., Rodrigues, R. C., Lima, J. R. L., Lima, N. M., Miranda, B. E. C., Jesus, A. P. R., Parente, H. N., & Costa, C. D. S. (2019). Nutritional value of dehydrated maize straw ammoniated with urea. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, *20*. doi: 10.1590/S1519-9940200132019

Sundstøl, F. (1984). Ammonia treatment of straw: methods for treatment and feeding experience in Norway. *Animal Feed Science and Technology*, *10*(2-3), 173-187. doi: 10.1016/0377-8401(84)90007-5

Talebian Masoudi, A. R., & Mirshamsollahi, A. (2022). Evaluation of the nutritional value of ammoniated wheat straw by anhydrous ammonia in fattening calves feeding. *Research on Animal Production*, *13*(37), 95-104. [In Persian]

Talebian Masoudi, A. R., Pourmation, R., Mirshamsollahi, A., & Mirabdulhagh, A. (2022). Effects of anhydrous ammonia treatment of wheat straw on fattening calves' performance in Markazi province, Iran. Final Report of Research Plan. Publications of Animal Science Research Institute, Iran. [In Persian]

Tengyun, G. (2000). Treatment and utilization of crop straw and stover in China. *Livestock Research for Rural Development*, *12*, 1.

Tilley, J. M. A., & Terry, R. A. (1963). A two stage technique for the indigestion of forage crops. *Journal of British Grassland Society*, *18*, 104-111. doi: 10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x

Van Soest, P. J., & Wine, R. H. (1967). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds IV. Determination of plant cell-wall constituents. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, *58*, 50-55. doi: 10.1093/jaoac/50.1.50

Van Soest, P. J., Robertson, G. B., & Lewis, B. A. (1991). Symposium: Carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, *74*, 3583-3597.

Yang, K., Qing, Y., Yu, Q., Tang, X., Chen, G., Fang, R., & Liu, H. (2021). By-product feeds: Current understanding and future perspectives. *Agriculture*, *11*(3), 207. doi: 10.3390/agriculture11030207

Zorrilla-Rios, J., Owens, F. N., Horn, G. W., & McNew, R. W. (1985). Effect of ammoniation of wheat straw on performance and digestion kinetics in cattle. *Journal of Animal Science*, *60*(3), 814-821. doi: 10.2527/jas1985.603814x