تحقیقات دام و طیور
دوره هفتم، شماره دوم، اسفند ۱۴۰۴
شماره صفحه: ۱۲۰-۱۱۰
doi: 10.22077/JLR.2026.4102

اثر کاه کنجد عمل‌آوری شده با بخار با فشار پایین، اسید سولفوریک و آنزیم ناتوزیم بر هضم‌پذیری و فراسنجه‌های تولید گاز در شرایط آزمایشگاه

حمید بانشی[۱]، طاهره محمدآبادی[۲]، خلیل میرزاده[۲]، مرتضی چاجی[۳] و محمود قاسمی‌نژاد[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد تغذیه دام، ۲- استادیاران گروه علوم دامی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
۳- دانشیار گروه علوم دامی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، ۴- استادیار گروه ماشین‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
*نویسنده مسؤول: *t.mohammadabadi@gmail.com*

تاریخ دریافت:۱۴۰۴/۰۶/۰۵ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۰**

چکیده

این آزمایش به منظور بررسی اثر بخار آب تحت فشار پایین، اسید سولفوریک و مخلوط آنزیمی ناتوزیم بر قابلیت هضم و فرآسنجه‌های تولید گاز کاه کنجد در شرایط آزمایشگاه انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل عمل‌آوری کاه کنجد با دو سطح صفر و یک بار بخار آب در دمای ۱۳۰ درجه به مدت ۱۲۰ دقیقه، دو سطح صفر و ۲/۴ درصد اسید سولفوریک تجاری و دو سطح صفر و ۳ گرم در کیلوگرم ماده خشک آنزیم اگزوژنوس بودند. ترکیب شیمیایی، هضم‌پذیری آزمایشگاهی و فراسنجه‌های تولید گاز نمونه‌ها تعیین شد. عمل‌آوری‌های انجام شده سبب کاهش معنی‌دار ماده خشک، پروتئین خام، فیبر نامحلول در شوینده خنثی (*NDF*)، فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (*ADF*) و مقدار لیگنین کاه کنجد شد (*P*<۰/۰۵). عمل‌آوری با اسید، بخار و آنزیم باعث کاهش ۴ درصدی میزان لیگنین شد، عمل‌آوری با آب مقدار *ADF* نمونه‌ها را از ۴۶/۸۹ درصد در تیمار شاهد به ۲۶/۴۸ درصد کاهش داد. تولید گاز، تجزیه-پذیری دیواره سلولی و همچنین قابلیت هضم الیاف نامحلول در شوینده خنثی تحت تأثیر عمل‌آوری‌های انجام شده قرار گرفت (*P*<۰/۰۵). بیشترین پتانسیل تولید گاز (۵۵/۵۳ میلی‌لیتر) مربوط به کاه کنجد عمل‌آوری شده با اسید- بخار- آنزیم و بیشترین نرخ تولید گاز (۰/۰۲۸۳ میلی‌لیتر بر ساعت) متعلق به کاه کنجد عمل‌آوری شده با بخار- آنزیم بود. کاه کنجد عمل‌آوری شده با اسید-بخار- آنزیم بیشترین قابلیت هضم *NDF* (۵۵/۴۵ درصد) و *ADF* (۴۵/۸۳ درصد) را نشان داد. نتایج این آزمایش نشان داد که عمل‌آوری کاه کنجد با اسید- بخار- آنزیم بهترین اثر را بر کاهش محتوای لیگنین نمونه‌ها داشته و از طرفی تجزیه دیواره سلولی، پتانسیل تولید گاز، توده میکروبی و قابلیت هضم *ADF* و *NDF* کاه کنجد عمل‌آوری شده با این تیمار وضعیت مناسب‌تری نسبت به سایر نمونه‌ها داشته است.

کلمات کلیدی: کاه کنجد، بخار آب تحت فشار، اسید سولفوریک، آنزیم ناتوزیم، تولید گاز

نگارنده پاسخگو: طاهره محمدآبادی. آدرس: خوزستان، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین، گروه علوم دامی

مقدمه

کمبود خوراک دام، در بسیاری از مناطق جهان، طی نیم قرن اخیر، موجب بالا رفتن سهم هزینه تغذیه در دامپروری گردیده است و درآمدهای ناشی از تولید فرآورده‌های دامی را تحت تأثیر قرار داده، برای بهبود تولیدات دامی بهره‌برداری مناسب از پسماندها و تولیدات جانبی کشاورزی به عنوان خوراک در تغذیه نشخوارکنندگان امری اجتناب ناپذیر است (نگس و همکاران، ۲۰۰۷). ساختمان لیگنوسلولزی بقایای زراعی سبب تجزیه کند دیواره سلولی آنها توسط میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌های شکمبه می‌شود (افضل‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹). کاه کنجد یکی از این منابع می‌باشد که می‌توان پس از عمل‌آوری مناسب آن را به عنوان یک ماده خوراکی، جایگزین بخش علوفه‌ای جیره نمود و مقدار تولید کاه کنجد در جهان حدود ۱/۶ تا ۱/۷ تن در هکتار برآورد شده است (آرگاوی و همکاران، ۲۰۱۳). ماده خشک، پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی (*NDF*)، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (*ADF*)، خاکستر، چربی خام، کلسیم، فسفر و انرژی خام کاه کنجد به ترتیب ۹۵/۳، ۵/۰۵، ۵۷/۶۴، ۴۲/۹۴، ۹/۸۷، ۲/۲۹، ۱/۲۸، ۱/۱۶ درصد و انرژی خام ۴۱۳۱ کالری در هر گرم ماده خشک تخمین زده شده است (کمالی و همکاران، ۱۳۸۷). در آزمایشی میانگین قابلیت هضم ماده خشک و پروتئین خام کاه کنجد ۵۱/۶ و ۶۶/۷ درصد و مجموع مواد مغذی قابل هضم آن ۴۴/۵۲ درصد گزارش شده است (عالم‌زاده و همکارن، ۱۳۸۰). کاه کنجد بدلیل وجود کمپلکس‌های کربوهیدرات و لیگنین قابلیت هضم پائینی دارد. با استفاده از موادی مانند اوره، هیدروکسید سدیم و آنزیم می‌توان قابلیت هضم آن را بهبود داد (دانش‌مسگران و همکاران، ۲۰۱۰). افزودن مخلوط آنزیم‌های اگزوژنوس به کاه کنجد باعث افزایش میزان تخمیر، تولید گاز، قابلیت هضم ماده آلی، نیتروژن آمونیاکی و رشد و فعالیت باکتری‌های بی‌هوازی شکمبه شد (محمدآبادی و چاجی، ۲۰۱۱). در مطالعه‌ای مشخص شد خیساندن کاه جو بعلت بهبود دادن بافت فیزیکی کاه سبب خوش‌خوراکی و افزایش مصرف شد (افضل‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹). عمل‌آوری کاه کنجد با اسید سولفوریک (دانش‌مسگران و همکاران، ۲۰۱۰)، سود و اوره (ملک‌خواهی و همکاران، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۴) باعث کاهش *ADF*، *NDF* و افزایش میزان قابلیت هضم ماده خشک و تولید گاز گردید.

عمل‌آوری با بخار آب تحت فشار سبب هیدرولیز جزئی همی سلولز و محلول شدن آن و آزاد شدن مواد قابل هضم از بخش لیگنینی و به دنبال آن افزایش هضم‌پذیری، تولید گاز و هضم‌پذیری ماده آلی و انرژی قابل متابولیسم پیت نیشکر شده است (محمدآبادی و همکاران، ۱۳۹۱). یکی از مکانیسم‌های اثر بخار تحت فشار بالا (۱۹-۲۳ بار) آزاد شدن اسیدهای درون سلولی و هضم پیوندهایی است که با این اسیدها پیوند برقرار کرده‌اند. توکلی و همکاران (۱۳۸۷) بیان کردند که عمل‌آوری پیت خام نیشکر با بخار آب تحت فشار سبب کاهش ماده خشک، لیگنین و دیواره فاقد همی‌سلولز شد. با توجه به اینکه بخار تحت فشار بالا سبب افزایش هزینه می‌شود و از طرفی در همه جا امکان چنین عمل‌آوری وجود ندارد، لذا در این آزمایش از اسید در کنار بخار با فشار پایین استفاده گردید.

با توجه به اینکه اطلاعات در رابطه با استفاده از بخار آب تحت فشار پایین به همراه اسید و آنزیم برای عمل‌آوری کاه کنجد محدود است، بنابراین هدف انجام این آزمایش تاثیر عمل‌آوری کاه کنجد با اسید سولفوریک، بخار آب تحت فشار پایین و مخلوط آنزیمی ناتوزیم بر ترکیبات شیمیایی، بهبود هضم‌پذیری و فراسنجه‌های تولید گاز بود.

مواد و روش‌ها

کاه کنجد مورد استفاده از مزرعه آموزشی و تحقیقاتی دانشگاه رامین خوزستان تهیه گردید و به اندازه‌های حدود ۳ تا ۵ سانتیمتر خرد شده و با دو سطح اسید (بدون اسید و ۲/۴ درصد ماده خشک)، دو سطح بخار آب تحت فشار پایین (بدون فشار بخار و یا تقریبا یک بار بخار به مدت ۱۲۰ دقیقه در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس) و دو سطح مخلوط آنزیمی اگزوژنوس ناتوزیم(بدون آنزیم و ۳ گرم در کیلوگرم ماده خشک) با آزمایش فاکتوریل ۲×۲×۲ در قالب طرح کاملاً تصادفی عمل‌آوری شد (آنزیم در مرحله انجام تکنیک تولید گاز و هضم دو مرحله‌ای استفاده شد). در این آزمایش ترکیب شیمیایی کاه کنجد عمل‌آوری شده با بخار و اسید شامل اندازه‌گیری الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، ماده خشک، خاکستر و پروتئین خام با روش‌های استاندارد *AOAC* (۲۰۰۰) تعیین شد و الیاف نامحلول در شوینده خنثی با روش ون سوست و همکاران (۱۹۹۱) تخمین زده شد (همچنین جهت تعیین میزان لیگنین از روش گورینگ و ون سوست، ۱۹۷۰ استفاده گردید).

مایع شکمبه مورد نیاز برای تعیین هضم‌پذیری و فراسنجه‌های تولید گاز از ۴ راس گوسفند عربی قبل از خوراک‌دهی صبح از طریق لوله مری گرفته شد و با هم مخلوط گردید. جهت برآورد هضم‌پذیری آزمایشگاهی از روش هضم دو مرحله‌ای تلی و تری (۱۹۶۳) استفاده شد. جهت تعیین فرآسنجه‌های تولید گاز طبق روش منک و استینگس (۱۹۸۸)،

۰/۳ گرم نمونه آزمایشی در داخل ویال‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری به مدت ۱۲۰ ساعت با مایع شکمبه و بزاق مصنوعی به نسبت ۱ به ۲ انکوبه شدند و حجم گاز تولیدی در زمان‌های ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲ ، ۹۶ و ۱۲۰ ساعت اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از تولید گاز نمونه‌ها با استفاده از معادله نمایی ارسکوف و مکدونالد برازش شدند تا فراسنجه‌های تولید گاز برآورد گردند.

در این معادله: $y= (1-e^{-ct})$ ، y: تولید گاز از ماده خوراکی در زمان t، b: تولید گاز از بخش قابل تخمیر و c: ثابت تولید گاز می‌باشند.

پس از پایان انکوباسیون، محتوای سرنگ‌ها با محلول شوینده خنثی به مدت یک ساعت جوشانده شد. سپس محلول صاف و باقی‌مانده در آون خشک و به کوره منتقل و خاکستر شد. در نهایت ماده آلی واقعا هضم شده محاسبه شد و بر اساس آن عامل جدا کننده (*Partitioning factor*)، توده میکروبی و راندمان توده میکروبی با استفاده از روابط زیر اندازه‌گیری شد (بلومل و همکاران، ۱۹۹۷).

میلی‌لیتر گاز تولید شده / میلی‌گرم ماده آلی حقیقی هضم شده = Pf

(Pf - ۲/۲)× گاز تولیدی =توده میکروبی

ماده آلی واقعا تجزیه شده/ توده میکروبی = راندمان سنتز توده میکروبی

برای محاسبه تجزیه دیواره سلولی، محتوای سرنگ‌های تخلیه و سپس صاف شدند و به مدت ۲۴ ساعت در آون خشک گردیدند. با کم کردن ماده اولیه و مواد باقیمانده بعد از آون، میزان تجزیه دیواره سلولی محاسبه شد (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۶).

داده‌های حاصل در قالب طرح کاملا تصادفی با آزمایش فاکتوریل و با استفاده از نرم افزار *SAS 9.2* آنالیز شدند.

مدل آماری طرح:

$$Yijk= \mu+ Ai+ Bj+ Tk+ aj\times bj\times aj\times tk+ bj\times tk+ ai\times bj\times tk\times\sum ij$$

$Yijk$= مقدار هر مشاهده، μ = میانگین کل مشاهدات، A_i = اثر اسید، B_j = اثر بخار، T_k = اثر آنزیم، $aj\times bj$ =اثر متقابل اسید و بخار، $aj\times tk$ = اثر متقابل اسید و آنزیم، $bj\times tk$ = اثر متقابل بخار و آنزیم و $ai\times bj\times t_k$ = اثر متقابل اسید، بخار و آنزیم می‌باشد. همچنین جهت مقایسه میانگین‌هایی که اختلاف معنی‌دار داشتند از آزمون دانکن در سطح معنی داری ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی: ترکیب شیمیایی نمونه‌ها قبل و بعد از عمل‌آوری در جدول ۱ نشان داده شده است، عمل‌آوری باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار ترکیبات شیمیایی نمونه‌ها شد ($P<۰/۰۵$). ماده خشک، پروتئین خام، *NDF*، *ADF*، لیگنین (*ADL*) و خاکستر کاه کنجد به ترتیب ۹۶/۰۹، ۶/۰۲، ۵۵/۹۲، ۴۶/۸۹، ۹/۰۱ و ۸/۰۲ درصد اندازه‌گیری شد که با نتایج مطالعات محققین دیگر (عالم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۰، کمالی و همکاران، ۱۳۸۷ و آرگاوی و همکاران، ۲۰۱۳) مطابقت دارد. بیشترین تاثیر بر ماده خشک نمونه‌ها مربوط به اسید- بخار بود، کاه کنجد عمل‌آوری شده با آب نیز بیشترین مقدار پروتئین خام را به خود اختصاص داد. کمترین میزان *NDF* (۴۰/۵۳ درصد) مربوط به تیمار عمل‌آوری شده با اسید و بخار و کمترین میزان *ADF* (۲۶/۴۸ درصد) مربوط به تیمار عمل‌آوری شده با آب بود.

عمل‌آوری کاه کنجد با مواد شیمیایی مانند سود و اوره (ملک‌خواهی و دانش‌مسگران، ۲۰۱۴) و همچنین عمل‌آوری سرشاخه خرما با بخار آب تحت فشار (توکلی و همکاران، ۱۳۸۷) سبب کاهش ماده خشک شد که با نتایج حاضر مطابقت دارد. عمل‌آوری سبب کاهش پروتئین خام نمونه‌ها شد که با نتایج دانش مسگران و همکاران (۲۰۱۰) که نشان دادند عمل‌آوری کاه کنجد با اسید سولفوریک تأثیری بر مقدار پروتئین خام ندارد مغایرت دارد. بدلیل بالا بودن *NDF* و *ADL* در کاه کنجد، عمل‌آوری شیمیایی از طریق سست کردن یا شکستن پیوندهای استری، مقادیر این ترکیبات را کاهش می‌دهد (محمدآبادی و همکاران، ۱۳۹۱ و ملکخواهی و دانش-مسگران، ۲۰۱۴). در همین رابطه محققین ذکر کردند که عمل‌آوری شیمیایی و فیزیکی ترکیبات لیگنوسلولزی (مانند پیت خام نیشکر)، سبب کاهش مقادیر *NDF* و *ADL* شد (محمدآبادی و چاجی، ۲۰۱۱). عمل‌آوری‌ها سبب کاهش مقدار خاکستر نمونه‌ها گردید، بیشترین مقدار خاکستر مربوط به تیمار عمل‌آوری شده با اسید سولفوریک و کمترین میزان نیز مربوط به تیمار عمل‌آوری شده با آب بود. افزایش مقدار خاکستر تیمار حاوی اسید احتمالا بخاطر وجود مواد معدنی مانند گوگرد در اسید می‌باشد (زهرا ساریسیسک، ۲۰۰۹). نتایج دیگران نیز نشان داد که عمل‌آوری کاه کنجد با خاکستر قلیایی *Rabba* و همچنین سود و اوره سبب افزایش خاکستر می‌شود (حامد و همکاران، ۲۰۰۸، ملک‌خواهی و دانش‌مسگران، ۲۰۱۴).

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی کاه کنجد عمل‌آوری شده (درصد)

تیمار	اسید*	بخار**	*DM*	*CP*	*NDF*	*ADF*	*ADL*	*Ash*
۱	۰	۰	۹۴/۱۱^{b}	۵/۱۷^{b}	۴۲/۱۸^{b}	۲۶/۴۸^{c}	۶/۵۵^{b}	۶/۰۱^{b}
۲	۰	۱	۹۲/۶۶^{d}	۴/۱۹^{c}	۴۴/۳۶^{b}	۳۵/۱۳^{b}	۵/۹۳^{b}	۶/۶۷^{b}
۳	۲/۴	۰	۹۳/۴۲^{c}	۳/۱۴^{d}	۳۸/۰۶^{b}	۲۸/۱۷^{c}	۵/۳۱^{b}	۸/۰۳^{a}
۴	۲/۴	۱	۹۲/۶۱^{d}	۳/۶۴^{dc}	۴۰/۵۳^{b}	۳۴/۸۸^{b}	۵/۱۰^{b}	۷/۶۹^{a}
شاهد			۹۶/۰۹^{a}	۶/۰۲^{a}	۵۵/۹۲^{a}	۴۶/۸۹^{a}	۹/۰۱^{a}	۸/۰۲^{a}
SEM			۰/۱۶۵۳	۰/۲۱۵۲	۳/۲۰۵۰	۱/۵۹۴۵	۰/۷۴۶	۰/۲۹۰۲
P value			۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۲۱۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۹۷	۰/۰۰۱۸

*: اسید سولفوریک ۲/۴ درصد ماده خشک، **: حدود یک بار بخار آب تحت فشار در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۲۰ دقیقه، تیمار ۱: کاه کنجد عمل-آوری شده با آب، تیمار ۲: کاه کنجد عمل‌آوری شده با بخار، تیمار ۳: کاه کنجد عمل‌آوری شده با اسید، تیمار ۴: کاه کنجد عمل‌آوری شده با اسید و بخار، شاهد: کاه کنجد بدون عمل‌آوری، *SEM*: خطای استاندارد میانگین‌ها، *P value*: سطح احتمال معنی‌داری، در هر ستون میانگین‌های دارای حروف غیر مشابه اختلاف آماری معنی‌داری دارند ($P<۰/۰۵$).

فراسنجه‌های تولید گاز:

با توجه به جدول ۲، پتانسیل تولید گاز و تجزیه‌پذیری دیواره سلولی تیمارهای آزمایشی تحت تاثیر اثرات اصلی روش‌های عمل‌آوری قرار گرفتند ($P<۰/۰۵$). افزودن ۲/۴ درصد اسید سولفوریک به کاه کنجد سبب افزایش پتانسیل تولید گاز نسبت به تیمار فاقد اسید شد. عمل‌آوری با بخار، پتانسیل تولید گاز نمونه‌ها را تنها به طور عددی افزایش داد. نتایج نشان داد که بین عمل‌آوری‌های صورت گرفته بیشترین پتانسیل تولید گاز (۴۴/۵۰ میلی‌لیتر) مربوط به عمل‌آوری با آنزیم و کمترین (۴۰/۵۵ میلی‌لیتر) نیز در اثر عمل‌آوری با بخار آب بدست آمد. موافق با نتایج آزمایش حاضر عمل‌آوری کاه کنجد با اسید سولفوریک سبب افزایش قابلیت هضم و تولید گاز گردید که دلیل آن از بین رفتن پیوندهای سلولزی ذکر گردید (دانش مسگران ۲۰۱۰). محققین گزارش کردند افزودن آنزیم فیبرولیتیک اگزوژنوس به علوفه خشک جیره گوسفندان سبب افزایش تجزیه‌پذیری ماده خشک و تولید گاز شد (لی و همکاران، ۲۰۱۳ و گیلاردو و همکاران ۲۰۰۸).

فرامرزی‌گرمرودی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که افزودن آنزیم اگزوژنوس به جیره غذایی گاوهای نر اخته سبب افزایش قابلیت هضم ماده خشک و در نتیجه افزایش پتانسیل تولید گاز شد. عمل‌آوری پیت خام نیشکر با بخار آب تحت فشار سبب افزایش تجزیه‌پذیری دیواره سلولی و در نتیجه سبب افزایش تولید گاز پیت نیشکر شد (چاجی و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که نرخ تولید گاز، پارتیشنینگ فاکتور (*pf*) و توده میکروبی تولید شده تحت تاثیر اثرات اصلی عمل‌آوری‌های انجام شده قرار نگرفتند ($P>۰/۰۵$) ولی راندمان سنتز توده میکروبی تحت تأثیر اثرات اصلی عمل‌آوری‌های صورت گرفته قرار گرفت ($P<۰/۰۵$). بیشترین راندمان سنتز توده میکروبی مربوط به عمل‌آوری کاه کنجد با اسید و کمترین نیز متعلق به عمل‌آوری با آنزیم بود. پارتیشنینگ فاکتور یا *Pf* بیان کننده نسبت تجزیه واقعی سوبسترا به حجم گاز تولیدی در دوره‌های زمانی انکوباسیون می‌باشد، همچنین منعکس کننده تنوعی از تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیر به ازای هر واحد سوبسترا تجزیه شده می‌باشد (بلومل و همکاران، ۱۹۹۷). علت بالاتر بودن راندمان توده میکروبی توسط میکرواورگانیسم‌های شکمبه را شاید بتوان به تولید گاز پایین تیمار فرآوری شده با آنزیم نسبت داد. اسید سبب سست شدن و شکسته شدن پیوندهای لیگنوسلولزی می‌شود، لذا ماده خوراکی بیشتری در دسترس میکروارگانیسم‌ها قرار گرفته و در نتیجه سریع‌تر تکثیر می‌یابند (روغنی و ضمیری، ۲۰۰۹).

سومارات و همکاران (۲۰۰۰) بیان کردند که رابطه منفی بین محتوای الیاف بویژه لیگنین با تولید گاز وجود دارد که این ارتباط منفی ممکن است بدلیل کاهش فعالیت میکروبی باشد، لذا تولید گاز کمتر شده و راندمان سنتز میکروبی افزایش یافته است. از طرفی گوگرد نیز یک فاکتور مهم برای رشد میکروبی می‌باشد. نتایج آزمایش حاضر نشان می‌دهد که افزودن اسید سولفوریک نه تنها اثر منفی بر میکرواورگانیسم‌ها بویژه باکتری‌ها ندارد بلکه احتمالا به دلیل وجود گوگرد در ساختمان آن اثر مثبت بر رشد و در نتیجه هضم مواد مغذی داشته که این خود سبب افزایش توده میکروبی گردیده است. رفیعی طاقانکی و همکاران (۱۳۹۲) بیان کردند که راندمان تولید توده

میکروبی در اثر عمل‌آوری پیت خام نیشکر با بخار آب افزایش می‌یابد. همچنین نشان داده شده که عمل‌آوری سرشاخه نیشکر با ۲/۴ درصد اسید سولفوریک، سبب افزایش راندمان توده میکروبی گردیده است که جدا از نوع ماده عمل‌آوری شده با نتایج آزمایش حاضر هماهنگی دارد (شریفی، ۱۳۹۲).

جدول ۲- اثرات اصلی سطوح مختلف اسید سولفوریک، بخار آب تحت فشار و آنزیم بر فرآسنجه‌های تولید گاز کاه کنجد

		پتانسیل تولید گاز (میلی‌لیتر)	ثابت نرخ تولید گاز (میلی‌لیتر بر ساعت)	Pf (میلی-گرم)	توده میکروبی (میلی‌گرم)	راندمان سنتز توده میکروبی (درصد)	تجزیه‌پذیری دیواره سلولی(درصد)
اسید*	۰	۳۸/۳۴^{a}	۰/۰۲۱۱	۴/۵۹	۴۰/۱۷	۵۹/۰۸^{b}	۴۶/۶۳^{b}
	۲/۴	۴۲/۱۹^{a}	۰/۰۱۵۸	۵/۲۹	۵۲/۵۴	۶۱/۰۲^{a}	۵۶/۸۱^{a}
آنزیم*	۰	۳۶/۰۴^{a}	۰/۰۱۹۱	۵/۰۲	۴۴/۷۱	۶۳/۱۱^{a}	۵۰/۸۲^{b}
	۳	۴۴/۵۰^{b}	۰/۰۱۷۸	۴/۸۶	۴۸/۰۰	۵۷/۰۰^{b}	۵۲/۶۲^{a}
بخار*	۰	۳۹/۹۸^{a}	۰/۰۱۹۵	۴/۷۲	۴۱/۶۱	۶۰/۵۶^{a}	۵۰/۱۰^{b}
	۱	۴۰/۵۵^{a}	۰/۰۱۷۴	۵/۱۶	۵۱/۱۰	۵۹/۵۴^{b}	۵۳/۳۳^{a}
SEM		۲/۶۴۵۸	۰/۰۰۱۹	۰/۶۵۴۸	۱۲/۴۳۵۳	۰/۰۱۴۴	۰/۱۸۱۹
P value		۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱

اسید: اسید سولفوریک ۲/۴ درصد ماده خشک، بخار: یکبار بخار آب تحت فشار در دمای ۱۳۰ درجه به مدت ۱۲۰ دقیقه، آنزیم: ۳ گرم در کیلوگرم ماده خشک، *SEM*: خطای استاندارد میانگین‌ها، *P value*: سطح احتمال معنی‌داری، در هر ستون میانگین‌های دارای حروف غیر مشابه اختلاف آماری معنی‌داری دارند ($P<۰/۰۵$).

اثرات متقابل عمل‌آوری‌های انجام شده بر فرآسنجه‌های تولید گاز در جدول ۳ نشان داده شده است. عمل‌آوری‌های صورت گرفته موجب بوجود آمدن اختلاف معنی‌داری در پتانسیل تولید گاز و نرخ ثابت تولید گاز بین تیمارهای آزمایشی گردید ($P<۰/۰۵$). بهترین پتانسیل تولید گاز (۵۵/۵۳ میلی‌لیتر) از بخش قابل تخمیر مربوط به تیمار کاه کنجد عمل‌آوری شده با اسید- بخار- آنزیم بود، در حالیکه کمترین مقدار تولید گاز (۳۰/۴۹ میلی‌لیتر) نیز مربوط به تیمار عمل‌آوری با بخار بود. بیشترین نرخ ثابت تولید گاز مربوط به تیمار عمل‌آوری با بخار- آنزیم (۰/۰۲۸۳ میلی‌لیتر بر ساعت) و کمترین آن مربوط به تیمار عمل‌آوری شده با اسید سولفوریک- آنزیم (۰/۰۱۲۹ میلی‌لیتر بر ساعت) بود.

تیمارهای عمل‌آوری شده با بخار و آب بدلیل داشتن محتوای *NDF* و لیگنین بیشتر (جدول ۱)، پتانسیل تولید گاز کمتری را نسبت به سایر تیمارها نشان دادند. محققین بیان کردند که محتوی فیبر بویژه لیگنین و دیواره سلولی لیگنینی شده اثر منفی بر تولید گاز در شرایط آزمایشگاهی دارد که این همبستگی منفی بین تولید گاز و دیواره سلولی ممکن است بدلیل کاهش فعالیت میکروبی، در نتیجه افزایش شرایط نامناسب در طول زمان انکوباسیون نمونه‌ها باشد (سومارات و همکاران، ۲۰۰۰). در آزمایشی استفاده از اسید فرمیک توانست پیوندهای لیگنوسلولزی بین ترکیبات ساختمانی سیلاژ ذرت را از بین برده و باعث افزایش قابلیت هضم و پتانسیل تولید گاز در گوسفند شود (روغنی و ضمیری ۲۰۰۹). افزودن آنزیم باعث افزایش مقدار آنزیم در شکمبه شده و با همکوشی با آنزیم‌های موجود در شکمبه دام سبب افزایش قابلیت هضم و در نتیجه افزایش پتانسیل تولید گاز شد (مورگاوی و همکاران ۲۰۰۰).

با توجه به نتایج بیشترین مقدار تجزیه‌پذیری دیواره سلولی مربوط به تیمار عمل‌آوری با اسید- بخار- آنزیم و کمترین مقدار نیز مربوط به تیمار شاهد بود. استفاده از اسید پیوندهای بین سلولز، همی‌سلولز و لیگنین را تحت تاثیر قرار داده و با شکستن این پیوندها، موجب افزایش هضم‌پذیری ماده خشک و الیاف خام می‌گردد (مکدونالد و همکاران، ۱۹۹۱، لیو و ارسکوف، ۲۰۰۰). مصرف آنزیم‌های فیبرولیتیک، باعث افزایش ظرفیت تجزیه‌کنندگی شکمبه می‌شود که این می‌تواند بدلیل افزایش اتصال میکروبهای شکمبه به ذرات غذایی (وانگ و همکاران، ۲۰۰۱)، تحریک جمعیت میکروبی شکمبه و اثر همکوشی با میکروب‌های تجزیه کننده فیبر در شکمبه باشد (بوچمین و همکاران، ۲۰۰۳). با توجه به جدول ۳ میزان *pf* و توده میکروبی تولیدی تیمارهای عمل‌آوری شده تحت تاثیر نوع عمل‌آوری‌ها قرار نگرفتند ($P>۰/۰۵$) ولی، راندمان سنتز توده میکروبی تحت تاثیر عمل‌آوری‌ها انجام شده قرار گرفت به نحوی که تیمار عمل‌آوری شده با بخار بیشترین راندمان سنتز توده میکروبی را داشت ($P<۰/۰۵$).

میزان بالاتر Pf نشان دهنده این است که به همان نسبت، ماده تجزیه شده بیشتری به توده میکروبی تبدیل شده یا راندمان سنتز پروتئین میکروبی بالاتر است. بلومل و همکاران (۱۹۹۷) گزارش کردند که با افزایش تولید متان، پارتیشنینگ فاکتور کاهش یافت.همچنین فرامرزی‌گرمرودی و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که افزودن آنزیم‌های فیبرولیتیک اگزوژنوس به جیره غذایی دام‌ها باعث کاهش معنی‌دار تولید متان شد. با توجه به نتایج آزمایش حاضر می‌توان چنین نتیجه گرفت که فرآوری با اسید سولفوریک و بخار آب تحت فشار باعث افزایش قابلیت هضم و تولید گاز شده (ملک‌خواهی و همکاران، ۲۰۱۲ و چاجی و محمدآبادی، ۲۰۱۲) و از طرفی افزودن آنزیم سبب کاهش تولید متان شد (گیرالدو و همکاران، ۲۰۰۷) که این عوامل می‌توانند سبب افزایش Pf و توده میکروبی گردند.

تحقیقات نشان داد عمل‌آوری پیت خام نیشکر با بخار آب تحت فشار باعث افزایش توده میکروبی و درصد راندمان تولید توده میکروبی شد که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد (رفیعی طاقانکی و همکاران، ۱۳۹۲).

در مطالعه‌ای دیگر نیز عمل‌آوری سرشاخه نیشکر با ۲/۴ درصد اسید سولفوریک باعث افزایش توده میکروبی و درصد راندمان تولید توده میکروبی شد (شریفی، ۱۳۹۲). اسید سولفوریک و بخار آب تحت فشار نیز باعث افزایش هضم‌پذیری پیت خام نیشکر و تولید گاز گردید (چاجی و محمدآبادی، ۲۰۱۲). خسروپور (۱۳۹۱) گزارش کرد که عمل‌آوری سرشاخه نیشکر با آنزیم اگزوژنوس باعث افزایش تولید توده میکروبی گردید.

هضم‌پذیری آزمایشگاهی

اثرات اصلی عمل‌آوری با بخار آب تحت فشار، اسید سولفوریک و آنزیم اگزوژنوس در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که هضم‌پذیری ماده خشک تیمارهای آزمایشی تحت تأثیر عمل‌آوری با اسید قرار گرفت ($P<۰/۰۵$). تأثیر مثبت افزودن اسید بر افزایش قابلیت هضم به این علت است که تیمارهای شیمیایی مانند اسیدها می‌توانند ساختار طبیعی سلولز و سدهای استری لیگنین را از بین برده و باعث کاهش میزان NDF شده و در نهایت باعث افزایش استفاده زیستی آنها بوسیله میکروارگانیسم‌ها شوند (روغنی و ضمیری، ۲۰۰۹). فرامرزی گرمرودی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که عمل‌آوری کاه کنجد با مواد شیمیایی (اوره و سود) سبب افزایش قابلیت هضم ماده خشک گردید. اثر افزودن آنزیم بر تیمارهای آزمایشی معنی‌دار بود (جدول ۴)، افزودن آنزیم به

جدول ۳- اثرات متقابل عمل‌آوری با اسید، بخار و آنزیم اگزوژنوس بر فرآسنجه‌های تولید گاز کاه کنجد

تیمار	اسید*	بخار*	آنزیم*	پتانسیل تولید گاز(میلی‌لیتر)	ثابت نرخ تولید گاز (میلی‌لیتر بر ساعت)	Pf* (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)	توده میکروبی (میلی‌گرم)	راندمان سنتز توده میکروبی(درصد)	تجزیه دیواره سلولی (درصد)
۱	۰	۰	۰	۳۹/۸۸^{ab}	۰/۰۱۹۳^{ab}	۴/۶۹	۴۴/۲۱	۵۶/۵۲^{dc}	۴۶/۴۰^{cd}
۲	۰	۰	۳	۴۵/۸۷^{ab}	۰/۰۱۷۰^{ab}	۴/۱۱	۳۴/۸۳	۵۴/۹۷^{dc}	۴۵/۳۹^{c}
۳	۰	۱	۰	۳۰/۴۹^{b}	۰/۰۲۰۱^{ab}	۵/۴۰	۴۶/۰۰	۶۹/۵۸^{a}	۴۶/۴۳^{cd}
۴	۰	۱	۳	۳۷/۱۴^{b}	۰/۰۲۸۳^{a}	۴/۱۶	۳۵/۶۳	۵۵/۲۶^{dc}	۴۸/۲۹^{d}
۵	۲/۴	۰	۰	۳۴/۷۴^{b}	۰/۰۲۰۶^{ab}	۵/۰۲	۴۴/۲۱	۶۲/۰۰^{abc}	۵۲/۴۳^{c}
۶	۲/۴	۰	۳	۳۹/۴۵^{b}	۰/۰۱۲۹^{b}	۵/۰۷	۴۱/۸۲	۶۸/۷۶^{a}	۵۶/۲۱^{b}
۷	۲/۴	۱	۰	۳۹/۰۵^{b}	۰/۰۱۶۵^{ab}	۴/۹۶	۴۳/۰۵	۶۴/۳۳^{ab}	۵۸/۰۲^{b}
۸	۲/۴	۱	۳	۵۵/۵۳^{a}	۰/۰۱۳۱^{b}	۶/۱۰	۷۹/۷۳	۴۹/۰۰^{d}	۶۰/۵۹^{a}
شاهد				۳۳/۲۸^{bc}	۰/۰۱۲۷^{b}	۴/۱۰	۴۲/۷۲	۵۸/۶۴^{bc}	۴۵/۰۹^{c}
SEM				۵/۰۱۹۳	۰/۰۰۳۷	۱/۲۳۴۲	۲۳/۴۵۴۵	۲/۷۱۵۹	۰/۵۹۱۳
P value				۰/۰۷۷۱	۰/۱۵۷۵	۰/۹۵۱۶	۰/۹۳۸۲	۰/۰۰۶۰	۰/۰۰۰۱

اسید: اسید سولفوریک ۲/۴ درصد ماده خشک، بخار: یکبار بخار آب تحت فشار در دمای ۱۳۰ درجه به مدت ۱۲۰ دقیقه، آنزیم: ۳ گرم در کیلوگرم ماده خشک، تیمار ۱: کاه کنجد عمل‌آوری شده با آب، تیمار ۲: کاه کنجد عمل‌آوری شده با آنزیم، تیمار ۳: کاه کنجد عمل‌آوری شده با بخار، تیمار ۴: کاه کنجد عمل‌آوری شده با بخار و آنزیم، تیمار ۵: کاه کنجد عمل‌آوری شده با اسید، تیمار ۶: کاه کنجد عمل‌آوری شده با اسید- آنزیم، تیمار ۷: کاه کنجد عمل‌آوری شده با اسید- بخار، تیمار ۸: کاه کنجد عمل‌آوری شده با اسید- بخار- آنزیم، شاهد: کاه کنجد بدون عمل‌آوری. Pf: پارتیشنینگ فاکتور، SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها، P value: سطح احتمال معنی‌داری، در هر ستون میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه اختلاف آماری معنی‌داری دارند ($P<۰/۰۵$).

علت همکوشی مثبت بین آنزیم افزوده شده و آنزیم‌های موجود در شکمبه سبب افزایش هضم‌پذیری مواد الیافی شده است (مورگاوی و همکاران، ۲۰۰۰). موافق با نتایج آزمایش حاضر، محمدآبادی و چاجی (۲۰۱۱) بیان کردند که افزودن آنزیم اگزوژنوس به کاه کنجد سبب افزایش قابلیت هضم ماده خشک در شرایط آزمایشگاهی گردید که با یافته‌های وانگ و همکاران (۲۰۰۴) نیز مطابقت دارد. اثرات اصلی عمل‌آوری با بخار آب تحت فشار بر هضم‌پذیری ماده خشک تیمارهای آزمایشی معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$). عمل‌آوری با بخار آب تحت فشار سبب افزایش قابلیت هضم ماده خشک از ۵۴/۰۷ به ۵۷/۸۳ درصد نسبت به تیمار فاقد بخار شد. در عمل‌آوری با بخار آب، قسمت عمده بخش همی‌سلولزی هیدرولیز شده و سبب کاهش میزان *NDF* شده که به دنبال آن قابلیت دسترسی بخش سلولزی برای هیدرولیز آنزیمی افزایش می‌یابد (محمدآبادی و همکاران، ۱۳۹۱). قشلاقچای و همکاران (۱۳۸۴) بیان کردند که عمل‌آوری کاه گندم با بخار آب تحت فشار سبب افزایش قابلیت هضم آزمایشگاهی شد. قابلیت هضم *ADF* و *NDF* تیمارهای آزمایشی تحت تاثیر اثرات اصلی عمل‌آوری‌های انجام شده قرار نگرفتند ($P>۰/۰۵$).

جدول ۴- اثرات اصلی سطوح مختلف اسید سولفوریک، بخار آب و آنزیم اگزوژنوس بر هضم‌پذیری آزمایشگاهی کاه کنجد (درصد)

تیمار	سطح	ماده خشک	فیبر نامحلول در شوینده خنثی	فیبر نامحلول در شوینده اسیدی
اسید*	۰	۵۰/۹۴^{b}	۴۷/۳۲۳	۴۱/۷۱
	۲/۴	۶۰/۹۶^{a}	۵۰/۱۳	۴۳/۱۵
آنزیم*	۰	۵۲/۹۳^{a}	۴۷/۴۶	۴۱/۹۵
	۳	۵۸/۹۸^{b}	۴۹/۸۱	۴۲/۴۰
بخار*	۰	۵۴/۰۷^{a}	۴۸/۱۰	۴۱/۹۸
	۱	۵۷/۸۳^{a}	۴۹/۳۵	۴۲/۳۸
SEM		۰/۸۷	۰/۹۹	۰/۳۴
P value		۰/۰۰۷۵	۰/۰۸۲۴	۰/۱۰۰۱

اسید: اسید سولفوریک ۲/۴ درصد ماده خشک، آنزیم: آنزیم اگزوژنوس ۳ گرم در کیلوگرم ماده خشک، بخار: بخار آب تحت فشار به مدت ۱۲۰دقیقه در دمای ۱۳۰درجه سانتیگراد، *SEM*: خطای استاندارد میانگین‌ها، در هر ستون میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه اختلاف آماری معنی‌داری دارند ($P<۰/۰۵$).

همانطور که در جدول ۵ نمایش داده شده هضم‌پذیری ماده خشک و الیاف نامحلول در شوینده خنثی (*NDF*) و اسیدی (*ADF*) کاه کنجد تحت تاثیر اثرات متقابل عمل‌آوری‌های انجام شده قرار گرفت ($P<۰/۰۵$). بیشترین میزان هضم‌پذیری ماده خشک (۶۶/۳۷ درصد) و بیشترین هضم‌پذیری *NDF* (۵۵/۴۵ درصد) مربوط به عمل‌آوری با اسید- بخار- آنزیم و کمترین نیز متعلق به تیمار شاهد بود. بیشترین میزان تجزیه‌پذیری *ADF* (۴۵/۸۳ درصد) در اثر عمل‌آوری با اسید- بخار- آنزیم بدست آمد. موافق با نتایج آزمایش حاضر عمل آوری پیت خام نیشکر با ۱۲۰دقیقه بخار آب تحت فشار در دمای ۱۳۴ درجه و همچنین ۱۸ گرم در کیلوگرم ماده خشک، اسید سولفوریک سبب افزایش تجزیه‌پذیری دیواره سلولی گردید (چاجی و همکاران، ۲۰۱۱). قشلاقچای و همکاران (۱۳۸۴) نشان دادند که عمل‌آوری کاه گندم با بخار آب تحت فشار باعث افزایش معنی داری در قابلیت هضم کاه گندم، به سبب کاهش دیواره سلولی بدون همی‌سلولز، لیگنین، الیاف خام و دیواره سلولی شد. ملک خواهی و دانش‌مسگران (۲۰۱۴) گزارش کردند که عمل‌آوری کاه کنجد با اوره و سود باعث افزایش قابلیت هضم ماده خشک و الیاف نامحلول در شوینده خنثی در شرایط آزمایشگاهی شد که با نتایج دانش‌مسگران و همکاران (۲۰۱۰) و حامد و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد. مصرف آنزیم‌های فیبرولیتیک، باعث افزایش ظرفیت تجزیه‌کنندگی شکمبه می‌شود که می‌تواند بدلیل افزایش اتصال میکروبهای شکمبه به ذرات غذایی (وانگ و همکاران، ۲۰۰۱)، تحریک جمعیت میکروبی شکمبه و اثر همکوشی مثبت با میکروب‌های تجزیه کننده فیبر در شکمبه باشد (بوچمین و همکاران ۲۰۰۳). فرامرزی گرمرودی و همکاران (۲۰۱۴) ذکر کردند که ارتباط مثبتی بین افزودن آنزیم اگزوژنوس و قابلیت هضم *NDF* و دیواره سلولی در شرایط آزمایشگاهی وجود دارد. عمل‌آوری کاه گندم با آنزیم فیبرولیتیک اگزوژنوس و همچنین بخار آب تحت فشار سبب کاهش اتصلات لیگنین-کربوهیدرات شده و در نتیجه افزایش

قابلیت هضم ماده خشک را بدنبال داشت (وانگ و همکاران ۲۰۰۴). افضل‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) تجزیه‌پذیری کاه جو خیسانده شده را در زمان‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت مورد ارزیابی قرار دادند و بیان داشتند این نوع عمل‌آوری سبب افزایش قابلیت هضم ماده خشک کاه جو شد ولی نتایج مطالعه‌ای دیگر نشان داد عمل‌آوری با آب تأثیری بر قابلیت هضم ماده خشک در شرایط آزمایشگاهی نداشت، ولی باعث افزایش قابلیت هضم الیاف نامحلول در شوینده خنثی شد (توسلی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۷).

جدول ۵- اثرات متقابل عمل‌آوری با اسید، بخار و آنزیم اگزوژنوس بر هضم‌پذیری آزمایشگاهی کاه کنجد

تیمار	اسید*	بخار*	آنزیم*	ماده خشک	*NDF*	*ADF*
۱	۰	۰	۰	۴۷/۲۸^{d}	۴۰/۷۸^{dc}	۴۳/۳۴^{b}
۲	۰	۰	۳	۵۲/۶۷^{bc}	۴۲/۷۷^{d}	۳۹/۷۳^{cd}
۳	۰	۱	۰	۴۸/۹۱^{dc}	۵۱/۰۸^{ab}	۴۲/۲۸^{b}
۴	۰	۱	۳	۵۴/۹۰^{b}	۵۱/۲۲^{ab}	۴۱/۵۰^{cb}
۵	۲/۴	۰	۰	۴۹/۹۶^{bcd}	۴۷/۴۰^{bc}	۴۲/۱۰^{cb}
۶	۲/۴	۰	۳	۶۶/۳۷^{a}	۵۱/۷۸^{ab}	۴۲/۷۶^{b}
۷	۲/۴	۱	۰	۶۵/۵۵^{a}	۴۹/۳۳^{ab}	۴۱/۹۱^{cb}
۸	۲/۴	۱	۳	۶۱/۹۸^{a}	۵۵/۴۵^{a}	۴۵/۸۳^{a}
شاهد				۳۵/۱۸^{e}	۴۱/۷۰^{d}	۳۸/۱۴^{d}
SEM				۱/۷۴	۱/۹۹	۰/۷۵
P value				۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۱۱	۰/۰۰۲۲

اسید: اسید سولفوریک ۲/۴ درصد ماده خشک، آنزیم: آنزیم اگزوژنوس ۳ گرم در کیلوگرم ماده خشک، بخار: بخار آب تحت فشار به مدت ۱۲۰دقیقه در دمای ۱۳۰درجه سانتیگراد، تیمار۱: کاه کنجد عمل‌آوری شده با آب، تیمار ۲: عمل‌آوری شده با آنزیم، تیمار ۳: عمل‌آوری شده با بخار، تیمار ۴: عمل‌آوری با بخار و آنزیم، تیمار ۵: عمل‌آوری با اسید، تیمار ۶: عمل‌آوری با اسید- آنزیم، تیمار ۷: عمل‌آوری با اسید- بخار، تیمار ۸، عمل‌آوری با اسید- بخار- آنزیم، تیمار ۹: بدون عمل‌آوری، *SEM*: خطای استاندارد میانگین‌ها، *P value*: سطح احتمال معنی‌داری، در هر ستون میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه اختلاف آماری معنی‌داری دارند ($P<۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری

میزان ماده خشک، *NDF*، *ADF* و لیگنین کاه کنجد در اثر عمل‌آوری‌های انجام شده کاهش یافتند. بیشترین مقدار تولید گاز و تجزیه‌پذیری دیواره سلولی تیمارها مربوط به عمل‌آوری شده با اسید- بخار- آنزیم بود. همچنین بیشترین راندمان سنتز توده میکروبی نیز متعلق به عمل‌آوری با بخار بود. نتایج این آزمایش نشان داد که عمل‌آوری‌های انجام شده روی کاه کنجد سبب بهبود ارزش تغذیه‌ای این منبع علوفه‌ای شده است. در نهایت با توجه به این نکته که این فاکتورهای بررسی شده ممکن است در دام زنده نتایج دیگری داشته باشد، لذا انجام این آزمایش‌ها در دام زنده نیز مفید واقع خواهد شد.

منابع

افضل‌زاده، ا.، ه، قربانی فارمد.، م، دانش‌مسگران. و ع، خادم. ۱۳۸۹. استفاده از کاه جو خیسیده و یونجه در تغذیه گاوهای شیرده. مجله تولیدات دامی، دوره ۱۲، شماره ۲، پاییز ۸۹. ص ۵۰-۳۷.

توکلی، م.، م، زاهدی‌فر.، ک، کردکوی. و ف، فرودی. ۱۳۸۷. اثر دما، رطوبت و مدت زمان عمل‌آوری با بخار آب تحت فشار بر ترکیبات شیمیایی، تجزی‌پذیری و تخمیرپذیری سرشاخه خرما. فصلنامه دانش کشاورزی ایران. ج پنجم، ش چهارم، ۳۶۷-۳۵۷.

خسروپور، و. ۱۳۹۱. بررسی تاثیر عمل‌آوری سیلاژ سرشاخه نیشکر با روش‌های شیمیایی و آنزیمی بر بهبود ارزش تغذیه‌ای آن در نشخوارکنندگان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.

رفیعی طاقانکی،م.، م، چاجی.، ط، محمدآبادی. و م، ساری. ۱۳۹۲. مقایسه قابلیت هضم پیت خام نیشکر عمل‌آوری شده با بخار آب تحت فشار توسط باکتری‌ها یا میکروارگانیسم‌های شکمبه گاو هلشتاین و گاومیش خوزستان. مجله پژوهش در نشخوارکنندگان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ج اول، ش اول. ۵۷-۵۳.

شریفی، ا. ۱۳۹۲. مقایسه قابلیت هضم سرشاخه نیشکر سیلو شده با اوره + ملاس و اسید سولفوریک تجاری توسط باکتری‌های شکمبه گاو هلشتاین و گاومیش خوزستان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.

عالم‌زاده، ب.، س، نوروزی. و ع، کردونی. ۱۳۸۰. تعیین ترکیبات شیمیایی و ضرایب هضم کاههای ماش، کنجد، گندم، جو و برنج در استان خوزستان. پژوهش و سازندگی. ص ۴۶-۴۹.

قشلاقچای، ن.، م، زاهدی‌فر.، ف، فرودی.، ک، کردکوی. و ه، منصوری. ۱۳۸۴. مطالعه ترکیبات شیمیایی و قابلیت هضم آزمایشگاهی کاه گندم عمل‌آوری شده با بخار آب تحت فشار.

کمالی، ا.، م، دشتی‌زاده.، ع، کبیری‌فرد.، م، صادقی. و س، صادقی. ۱۳۸۷. تعیین ارزش غذایی کاه کنجد استان بوشهر جهت استفاده در تغذیه دام.

محمدآبادی، ط.، م، چاجی. و م، بوجارپور. ۱۳۹۱. اثر عمل‌آوری پیت خام نیشکر با فشار بخار بر فراسنجه‌های تولید گاز با استفاده از میکروارگانیسم‌های جداسازی شده شکمبه، نشریه پژوهشهای علوم دامی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد. ج چهارم، ش سوم، ص ۲۴۰- ۲۴۶

AOAC, 2000. Official Methods of Analysis. 7th Edn., Official Methods of Analysis of AOAC International, Gaithersburg,, M.D. USA.

Aregawi. T. Animut G. and Kassa. H. 2013. Utilizattion and nutritive of sesame (Sesamum indicum L.) straw as feed for livestock in the North western Lowlands of Ethiopia. Livestock Research for Rural Development 25 (7): 2013.

Beauchemin, K. A., Colombatto, D., Morgavi, D. P., and Yang, W. Z. 2003. Use of exogenous fibrolytic enzymes to improve feed utilization by ruminants. Journal of Animal Science, 81 (14 suppl 2): E37-E47.

Blümmel, M., Steingass, H., and Becker, K. 1997. The relationship between in vitro gas production, in vitro microbial biomass yield and N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. British Journal of Nutrition, 77(06): 911-921.

Chaji, M., and Mohammadabadi, T. 2012. Determination of rumen fungi growth on steam-treated sugarcane pith by quantitative competitive polymerase chain reaction. Animal Nutrition and Feed Technology, 12(1): 47-53.

Chaji, M., Mohammadabadi, T., and Aghaei, A. 2011. Fermenting cell walls of processed sugarcane pith by ruminal bacteria, protozoa and fungi. International Journal of Agricultural and Biology, 13: 283-286.

Faramarzi-Garmroodi, A., Mesgaran, M. D., Parand, E., and Vakili, A. R. (2014). In vitro effect of the adding of an exogenous enzyme blend (Natuzyme®) on rumen microbial fermentation and methane production of diets containing different NDF concentrations. A Qatar Foundation Academic Journal.

Giraldo, L. A., Tejido, M. L., Ranilla, M. J., Ramos, S., and Carro, M. D. 2008. Influence of direct-fed fibrolytic enzymes on diet digestibility and ruminal activity in sheep fed a grass hay-based diet. Journal of Animal Science, 86(7): 1617-1623.

Goering, H. K., and Van Soest, P. J. (1970). Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). Agric. Handbook, No. 379, ARS-USDA, Washington, DC.

Hamed, A. H., and Elimam, M. E. 2008. Degradation of sorghum stover treated with Rabaa ash alkali in the rumen of Nubian goats. Gezira Journal of Agricultural Science, 6:(2):1344-1348.

Li, C. Y., Cao, Y. C., Li, S. Z., Xu, M., Liu, C. J., Yu, Z. P., and Yao, J. H. 2013. Effects of Exogenous Fibrolytic Enzyme on in vitro ruminal fermentation and microbial populations of substrates with different forage to concentrate ratios. Journal of Animal and Veterinary Advances, 12(10):1000-1006.

Liu, J. X., and Ørskov, E. R. 2000. Cellulase treatment of untreated and steam pre-treated rice straw effect on in vitro fermentation characteristics. Animal feed science and technology, 88(3): 189-200.

Malekkhahi, M., and Mesgaran, M. D. 2014. Effect of Chemical Treatment of Sesame Stover with NaOH and Urea on Chemical Composition and In vivo Rumen Digestion in Sheep. Notulae Scientia Biologicae, 6(1): 36-40.

Malekkhahi, M., Danesh Mesgaran, M., and 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

McDonald, P., Henderson, A.R., and Heron, S.J.E. 1991. The Biochemistry of Silage. 2nd Ed. Marlow, UK: Chalcombe Publications.

Menke, K. H., and 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(1): 7-55.

Mesgaran, M. D., Malakkhahi, M., Moussavi, A. H., Vakili, A., and Tahmasbi, A. 2010. In situ ruminal degradation and in vitro gas production of chemically treated sesame stover. Journal of Animal and Veterinary advances, 9(17): 2256-2260.

Mohammadabadi, T., and Chaji, M. 2011. Effect of exogenous enzyme on in vitro fermentation of sesame straw by rumen bacteria culture. Journal of Applied Animal Research, 39(2): 161-163.

Morgavi, D. P., Beauchemin, K. A., Nsereko, V. L., Rode, L. M., Iwaasa, A. D., Yang, W. Z., and Wang, Y. 2000. Synergy Between Ruminal Fibrolytic Enzymes and Enzymes from Trichoderma Longibrachiatum. Journal of Dairy Science, 83(6): 1310-1321.

Negesse, T., Patra, A.K., Dawson, L.J., Tolera, A., Merkel, R.C., Sahlu, T. and Goetsch, A.L. 2007. Performance of Spanish and Boer × Spanish doelings consuming diets with different levels of broiler litter, Small Ruminant Research, 69: 187-197.

Orskov, E. R., and McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. The Journal of Agricultural Science, 92(02): 499-503.

Rowghani, E., and Zamiri, M. J. 2009. The effects of a microbial inoculant and formic acid as silage additives on chemical composition, ruminal degradability and nutrient digestibility of corn silage in sheep. Iranian Journal of Veterinary Research, 10(2): 110-118.

*Sommart, K., Parker, D. S., and Rowlinson, P. M. Wanapat M. 2000. Fermentation characteristics and microbial proteinsynthesis in an in vitro system using cassava, rice straw and dried ruzi grass as substrates. Asian-Australian Journal of Animal Science, 13***:** *1084-1093.*

Tilley, J. M. A., and Terry, R. A. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. Grass and forage, 18(2): 104-111.

*Van Soest, P. J., Robertson, J. B., and Lewis, B. A. (1991). Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. Journal of Dairy Science, 74(10)***:** *3583-3597.*

Wang, Y., McAllister, T. A., Rode, L. M., Beauchemin, K. A., Morgavi, D. P., Nsereko, V. L., and Yang, W. 2001. Effects of an exogenous enzyme preparation on microbial protein synthesis, enzyme activity and attachment to feed in the Rumen Simulation Technique (Rusitec). British Journal of Nutrition,85(03): 325-332.

Wang, Y., Spratling, B. M., ZoBell, D. R., Wiedmeier, R. D., and McAllister, T. A. 2004. Effect of alkali pretreatment of wheat straw on the efficacy of exogenous fibrolytic enzymes. Journal of animal science, 82(1): 198-208.

Zahrasaricicek, B. 2009. The effects of different additives on silage Gag Production fermentation Kinetics and silage quality. Ozean Journal of Applied science. 2(1): 11-18.

Zhang, Y., Gao, W. and Meng, Q. 2006. Fermentation of plant cell walls by ruminal bacteria, protozoa and fungi and their interaction with fibre particle size. Archive Journal of Animal Nutrition, 61 (2): 114 – 125.

Livestock Research (LR)
Vol.7, No.2, March, 2026
p. 110-120
doi: 10.22077/JLR.2026.4102

Birjand University

Effect of sesame straw processed by low steam, sulfuric acid and Natozyme enzyme on digestibility and in vitro gas production

H. Baneshi[1], T. Mohammadabadi[2], Kh. Mirzadeh[2], M. Chaji[3] and M. Ghasemi Nejad[4].
1- M.Sc. Student, Department of Animal Science, College of Animal Science and Food Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khouzestan, Ahwaz, Mollasani - Iran
2- Assistant Professor, Department of Animal Science, College of Animal Science and Food Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khouzestan, Ahwaz, Mollasani - Iran
3- Associated Professor, Department of Animal Science, College of Animal Science and Food Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khouzestan, Ahwaz, Mollasani – Iran
4- Assistant Professor, Department of Mechanization and Agriculture Machine, College of Agricultural Engineering, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khouzestan, Ahwaz, Mollasani - Iran
**Corresponding Author Email: t.mohammadabadi@gmail.com*

Submitted: 27 August 2025 **Accepted: 9 February 2026**

Abstract
This experiment was conducted to investigate the effect of processing with low steam pressure, sulfuric acid and Natozyme enzyme mixture on digestibility and in vitro gas production parameters of sesame straw. Experimental treatments were two levels of 0 and one bar steam pressure in 120 min and 130 °c, two levels of 0 and 2.4% sulfuric acid, and two levels of 0 and 3 gr/kg/DM exogenous enzyme. Chemical composition, in vitro digestibility and gas production parameters of the samples were determined. Processing caused to significant decrease of dry matter, crude protein, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and lignin content of sesame straw (P< 0.05). Processing by acid, steam and enzyme decreased the lignin by 4%. Processing by water decreased the ADF content of samples from 46.89% in the control treatment to 26.48%. Processing influenced gas production, cell wall degradability and digestibility of neutral detergent fiber (P<0.05). The greatest potential of gas production (53.55 mL) was related to the sesame straw processed by acid - steam - enzyme and the greatest rate of gas production (0.0283 ml/h) was belonged to the sesame straw processed by steam– enzyme. Sesame straw processed by acid- steam- enzyme had the greatest digestibility of NDF (55.45%) and ADF (45.83%). Therefore the result of this experiment showed processing of sesame straw by acid- steam- enzyme had the best effect on decrease of lignin content of samples. Also cell wall degradability, potential of gas production, microbial biomass and digestibility of ADF and NDF of sesame straw processed with this treatment was more appropriate than the other treatments.

Keywords: *Sesame straw, Steam pressure, Acid sulfuric, Natozyme enzyme, Gas production.*