



بررسی ارزش تغذیه‌ای بقایای باقلای عمل‌آوری شده با برخی ترکیبات شیمیایی با استفاده از روش‌های برون‌تنی و تکنیک کیسه‌های نایلونی

آذین علایی^۱، فرزاد قنبری^۲، جواد بیات کوهسار^۳ و فریبا فریور^۳

۱ و ۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس
۲- استادیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، (نویسنده مسؤل: farzadghanbari@yahoo.com)
تاریخ دریافت: ۹۸/۵/۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۷/۲۲
صفحه: ۱۹ تا ۲۹

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی ارزش تغذیه‌ای بقایای باقلای عمل‌آوری شده با برخی ترکیبات شیمیایی با استفاده از روش‌های برون‌تنی و تکنیک کیسه‌های نایلونی انجام شد. تیمارها شامل بقایای باقلای عمل‌آوری نشده (شاهد) و عمل‌آوری شده با آب (۲/۵ لیتر به ازای هر کیلوگرم ماده خشک)، اکسید کلسیم (۱۶۰ گرم به ازای هر کیلوگرم ماده خشک)، پراکسید هیدروژن (۵۷ میلی‌لیتر به ازای هر کیلوگرم ماده خشک) و هیدروکسید سدیم (۵۰ گرم به ازای هر کیلوگرم ماده خشک) بودند. ترکیب شیمیایی نمونه‌ها با استفاده از روش‌های استاندارد تعیین شد. آزمایش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای با استفاده از تکنیک کیسه‌های نایلونی انجام شد. قابلیت هضم برون‌تنی نمونه‌ها با استفاده از روش کشت بسته تعیین شد. عمل‌آوری بر ترکیب شیمیایی بقایای باقلا موثر بود. به جز آب، سایر تیمارها باعث افزایش خاکستر و کاهش ماده آلی شدند ($p=0/0001$). تیمار اکسید کلسیم بیشترین تاثیر را بر صفات مورد اشاره داشت. مقدار پروتئین خام در همه تیمارها کاهش یافت ($p=0/0001$). کمترین مقدار در تیمارهای اکسید کلسیم و هیدروکسید سدیم مشاهده شد. مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در تیمارهای اکسید کلسیم و پراکسید هیدروژن بیشتر از سایر تیمارها بود ($p=0/0017$). به جز اکسید کلسیم و آب، سایر تیمارها باعث افزایش تجزیه‌پذیری مؤثر در نرخ‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت در بقایای باقلا شدند ($p<0/0001$). تیمار پراکسید هیدروژن بیشترین تأثیر را در افزایش مقدار تجزیه‌پذیری مؤثر داشت. تیمار هیدروکسید سدیم مقدار قابلیت هضم ماده خشک ($p=0/0001$) و ماده آلی ($p=0/0029$) را افزایش داد. همچنین تیمارهای اکسید کلسیم و پراکسید هیدروژن باعث افزایش بازده تولید میکروبی شدند ($p=0/0016$). به‌طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تیمارهای هیدروکسید سدیم و پراکسید هیدروژن بیشترین تأثیر را در بهبود ارزش تغذیه‌ای بقایای باقلا داشتند.

واژه‌های کلیدی: عمل‌آوری، ترکیبات شیمیایی، قابلیت هضم، تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای، بقایای باقلا

مقدمه

از نظر فیزیکی ساختمان الیاف را متورم کرده و از لحاظ شیمیایی نیز پیوند استری بین لیگنین با سلولز را می‌شکنند. این فرایند، حمله‌ی میکروارگانیزم‌های شکمبه به کربوهیدرات‌های ساختاری را آسان‌تر نموده و در نتیجه تجزیه‌پذیری و خوش‌خوراکی محصول را افزایش می‌دهد. معمول‌ترین مواد قلیایی مورد استفاده در عمل‌آوری هیدروکسید سدیم، آمونیاک و اوره می‌باشند. در مزارع، انجام عمل‌آوری شیمیایی کاربردی‌تر بوده و روش استفاده از آن‌ها نسبتاً ساده و مقرون به‌صرفه‌تر است. هرچند این مواد مضر نیستند، ولی احتیاط کردن برای استفاده از آن‌ها ضروری است (۳۲). مطالعات انجام گرفته با استفاده از تکنیک‌های پراش پرتو ایکس^۱ و اشعه مادون قرمز تبدیل فوریه^۲ نشان از کاهش بلورینگی سلولز و حذف لیگنین و همی‌سلولز در بقایای زراعی بوده است (۸).

بابایی و همکاران (۷) مشاهده کردند که عمل‌آوری با پراکسید هیدروژن سبب افزایش خاکستر، کاهش ماده آلی، افزایش پروتئین خام و کاهش الیاف خام بقایای ماش شد. در یک آزمایش، هیدروکسیدسدیم باعث بهبود فراسنجه‌های تخمیری و گوارش‌پذیری بقایای سویا شد (۶). اکسید کلسیم (آهک)، به دلیل مزایای زیادی که دارد، برای عمل‌آوری مواد لیگنوسلولزی پیشنهاد شده‌است. این ترکیب در مقایسه با

امروزه با توجه به کمبود منابع خوراکی اصلی و هزینه بالای جیره، توجه ویژه‌ای به استفاده از بقایای حاصل از برداشت محصولات زراعی به‌عنوان اقلام خوراکی ارزان قیمت و جایگزین در تغذیه دام شده است. این ترکیبات که عمدتاً شامل برگ‌ها، غلاف دانه‌ها و ساقه هستند، به‌عنوان منابع مهم کربوهیدرات و انرژی در جیره نشخوارکنندگان قابل استفاده‌اند (۲). اما کارایی استفاده از بقایای زراعی به دلیل ساختار بیولوژیکی پیچیده و مقدار کم پروتئین محدود است. ترکیبات لیگنوسلولزی بخش مهمی از دیواره سلولی بقایای زراعی را تشکیل می‌دهند. در این ترکیبات، وجود پیوندهای قوی فیزیکی و شیمیایی بین لیگنین و سلولز، ارزش تغذیه‌ای آن‌ها را کاهش می‌دهد. لیگنین به‌صورت مانعی سلولز را در برابر تجزیه میکروبی محفوظ نگه می‌دارد (۲۷).

ارزش تغذیه‌ای مواد خوراکی لیگنوسلولزی را می‌توان با روش‌های عمل‌آوری فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بهبود بخشید (۵). روش‌های شیمیایی در عمل‌آوری محصولات فرعی زراعی را می‌توان به سه دسته قلیاها، عوامل اکسیداتیو و اسیدها تقسیم کرد. از بین عوامل شیمیایی، قلیاها از نظر کاربردی بیشتر مورد قبول واحدهای دامپروری قرار گرفته‌اند. مواد قلیایی به‌داخل دیواره سلولی جذب می‌شوند. بدین ترتیب

سپس درون کیسه‌های پلاستیکی ریخته شده و به مدت ۷۲ ساعت در شرایط بی‌هوازی نگهداری شدند (۱۵). برای عمل‌آوری با پراکسید هیدروژن، ابتدا نمونه‌های بقایا با هیدروکسید سدیم پیش تیمار شدند. بدین صورت که ۱۰۰ گرم هیدروکسید سدیم در ۰/۵ لیتر آب حل شد. سپس این محلول به ۴ لیتر آب افزوده و روی ۲ کیلوگرم از بقایا اضافه شد. نیم ساعت بعد، ۱۱۴ میلی‌لیتر آب اکسیژنه با درجه خلوص ۳۵ درصد در نیم لیتر آب حل شده و به این مخلوط اضافه شد. این مخلوط به خوبی هم زده شد. بقایا درون کیسه‌های پلاستیکی و به مدت ۱۸ روز در شرایط بی‌هوازی نگهداری شدند. به منظور عمل‌آوری با آب، مقدار ۲ کیلوگرم از بقایا با ۵ لیتر آب مخلوط شد. سپس به مدت ۲۴ ساعت درون کیسه‌های پلاستیکی و در شرایط بی‌هوازی نگهداری شدند (۱۸). پس از طی مدت زمان عمل‌آوری، کیسه‌های حاوی نمونه‌های مختلف باز شده و در معرض هوا خشک شدند. سپس نمونه‌گیری از آن‌ها جهت انجام آزمایش‌های مورد نظر انجام گرفت (۵).

ترکیب شیمیایی نمونه‌ها مطابق روش استاندارد AOAC (۴) تعیین شد. ماده خشک به وسیله قرار دادن نمونه‌ها در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید. خاکستر با استفاده از کوره الکتریکی برآورد شد. مقدار چربی خام با استفاده از دستگاه سوکسله اندازه‌گیری شد. مقدار پروتئین خام نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اتوکدالال تعیین شد (نیتروژن $\times 6/25$). اندازه‌گیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی با استفاده از دستگاه فایبرتک^۲ و بر اساس روش ون سوست (۴۳) انجام شد.

اندازه‌گیری قابلیت هضم تیمارهای مختلف بر اساس روش کشت بسته^۳ انجام شد (۴۲). بدین منظور، ابتدا نمونه‌ها به اندازه یک میلی‌متر آسیاب و سپس خشک شدند. مایع شکمبه قبل از خوراک‌دهی صبح از چهار رأس گوسفند نر نژاد دالاق ($45 \pm 2/5$ کیلوگرم) دارای فیستولای شکمبه‌ای جمع‌آوری شد. سپس این مایع به وسیله پارچه مخصوص صاف، و در یک ارلن درب‌دار ریخته شد. بزاق مصنوعی نیز در شرایط بی‌هوازی تهیه شد و در دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. داخل هر یک از ویال‌های شیشه‌ای، ۵۰۰ میلی‌گرم از هر نمونه ریخته شده و ۵۰ میلی‌لیتر از مخلوط بزاق مصنوعی و مایع شکمبه به نسبت ۲ به ۱ به داخل هر ویال اضافه شد. سپس به مدت ۱۰ ثانیه به داخل هر ویال شیشه‌ای گاز دی‌اکسید کربن وارد شده و درب آن به کمک درپوش لاستیکی و پوشش آلومینیومی بسته شد. سپس ویال‌ها درون حمام آب گرم در دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، تمامی ویال‌ها از حمام آب گرم خارج شده و به ظرف حاوی یخ منتقل شدند. نمونه‌های موجود در هر ویال، با استفاده از پارچه مخصوص صاف شده و محتویات هضم نشده از فاز مایع جدا شدند. سپس pH فاز مایع نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. پس از صاف کردن محتویات کشت ۲۴ ساعته، نمونه‌های حاصل به مدت ۴۸ ساعت در آون ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس قابلیت هضم ظاهری نمونه‌ها محاسبه شد.

هیدروکسید سدیم ارزان‌تر و سالم‌تر بوده و ماده شیمیایی ضعیف‌تری نسبت به آن است. بنابراین استفاده از آن نیاز به وسایل ایمنی خاصی ندارد (۹). کلسیم باقی‌مانده در بقایای عمل‌آوری شده با اکسید کلسیم، نه تنها مشکل‌ساز نیست، بلکه نیاز به مکمل کلسیم در جیره را نیز کاهش می‌دهد (۵). یکی از روش‌های عمل‌آوری که به طور سنتی در واحدهای دامپروری مورد استفاده قرار می‌گیرد، خیساندن نمونه است (۱۸). قربانی (۱۹) مشاهده کرد که خیساندن کاه گندم به مدت ۲۴ ساعت قبل از خوراک‌دهی، تاثیر مثبتی بر تجزیه‌پذیری و خوش خوراکی آن داشت. افضل‌زاده و همکاران (۱) استفاده از کاه جو خیسانده را تا سطح ۱۲ درصد در جیره گاوهای متوسط تولید پیشنهاد کردند.

حبوبات گروه مهمی از محصولات زراعی بوده که در الگوی کاشت بسیاری از کشورهای در حال توسعه از جمله ایران وجود دارند. بقایای حاصل از حبوبات مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی کمتر، و در مقابل نسبت محتوی سلولی قابل هضم بیشتری نسبت به بقایای غلات دارند. به همین دلیل قابلیت هضم و انرژی قابل متابولیسم آن‌ها بیشتر از بقایای غلات می‌باشد (۳۵).

با قلا^۱ به عنوان یکی از حبوبات اصلی، در بسیاری از کشورهای دنیا در سطح وسیعی کشت می‌شود. سطح زیر کشت این محصول در ایران بیش از ۳۵۰۰۰ هکتار است که ۳۶ درصد آن در استان گلستان کشت می‌شود. دانه باقلا به عنوان محصول اصلی برای مصارف انسانی مورد استفاده قرار گرفته و بقایای آن که شامل بوته سبز به همراه غلاف‌های نارس آن می‌باشند، به عنوان فرآورده‌های فرعی در تغذیه دام مورد استفاده قرار می‌گیرند (۳۱). در مقایسه با سایر بقایای زراعی، مطالعات صورت گرفته در خصوص ارزش تغذیه‌ای بقایای باقلا محدود است.

هدف از انجام این پژوهش، بررسی ارزش تغذیه‌ای بقایای باقلای عمل‌آوری شده با آب، هیدروکسید سدیم، پراکسید هیدروژن و اکسید کلسیم بر ترکیب شیمیایی، تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و قابلیت هضم برون تنی بقایای باقلا بود.

مواد و روش‌ها

بقایای باقلا از مزارع شهرستان علی آباد استان گلستان جمع‌آوری و آماده‌سازی شدند. عمل‌آوری شیمیایی نمونه‌ها با استفاده از تیمارهای اکسید کلسیم، پراکسید هیدروژن، آب و هیدروکسید سدیم انجام گرفت. یک نمونه هم بدون عمل‌آوری و به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. به منظور عمل‌آوری با اکسید کلسیم، ابتدا هر کیلوگرم از بقایا با ۲ لیتر آب مخلوط شد. سپس ۱۶۰ گرم اکسید کلسیم به صورت پودر روی بقایای خیسانده شده پاشیده شده و به مدت ۱ ساعت کاملاً مخلوط شد. سپس نمونه‌ها درون کیسه‌های پلاستیکی ۲ لایه ریخته شده و به خوبی فشرده شدند. کیسه‌ها به مدت ۱۴ روز در شرایط بی‌هوازی نگهداری شدند. در عمل‌آوری با هیدروکسید سدیم، ۵۰ گرم از این ماده در یک لیتر آب مقطر حل شده و بر روی یک کیلوگرم ماده خشک بقایای باقلا اسپری شد. این مخلوط به خوبی هم زده شد.

در این رابطه ERD: تجزیه‌پذیری موثر و k : نرخ عبور می‌باشند. بخش‌های a و b و c در رابطه قبلی معرفی شدند. تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ترکیب شیمیایی و قابلیت هضم برون‌تنی در قالب طرح کاملاً تصادفی و داده‌های حاصل از آزمایش تجزیه‌پذیری با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. پردازش داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (۳۳) و رویه GLM انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار^۱ استفاده شد.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی

تأثیر تیمارهای اکسید کلسیم، پراکسید هیدروژن، هیدروکسید سدیم و آب بر ترکیب شیمیایی بقایای باقلا در جدول ۱ نشان داده شده است. مقایسه میانگین‌ها حاکی از اختلاف معنی‌دار بین تیمارها بود ($p=0/0017$ و $p=0/0001$). مقدار ماده خشک در تیمار شاهد ۹۶/۳۶ درصد به‌دست آمد. تیمار اکسید کلسیم مقدار این صفت را افزایش و تیمارهای پراکسید هیدروژن و هیدروکسید سدیم مقدار آن را کاهش دادند (به ترتیب ۹۷/۱۷، ۹۵/۳۷، ۹۵/۳۹ درصد). مشابه با این نتایج، در یک پژوهش عمل‌آوری با اکسید کلسیم و هیدروکسید سدیم به ترتیب باعث افزایش و کاهش ماده خشک کاه سویا شد (۵). در یک پژوهش دیگر، تیمار پراکسید هیدروژن باعث کاهش مقدار ماده خشک بقایای ماش شد (۷). محلولیت اکسید کلسیم در آب کم بوده و در مقایسه با سایر ترکیبات شیمیایی مانند هیدروکسید سدیم نیاز به مقدار بیشتری از این ماده برای عمل‌آوری است. به همین دلیل رسوب باقی‌مانده حل نشده اکسید کلسیم بر روی نمونه‌ها، باعث افزایش مقدار ماده خشک آن شده است (۱۳).

مقدار خاکستر و ماده آلی در تیمار شاهد به ترتیب ۹ و ۹۱ درصد ماده خشک به‌دست آمد. به جز آب، سایر تیمارها باعث افزایش مقدار خاکستر و کاهش ماده آلی شدند. تیمار اکسید کلسیم دارای بیشترین مقدار خاکستر و کمترین مقدار ماده آلی بود (به ترتیب ۲۵ و ۷۵ درصد ماده خشک). همسو با نتایج این پژوهش، خوروش و همکاران (۲۳) در بررسی تأثیر غلظت‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ گرم در کیلوگرم ماده خشک اکسید کلسیم بر ترکیب شیمیایی کاه سویا، گزارش کردند که محتوای ماده آلی و خاکستر با افزایش مقدار اکسید کلسیم به ترتیب کاهش و افزایش یافت. دلیل این افزایش ورود کلسیم به نمونه عمل‌آوری شده عنوان شده است. همچنین سلطانی و همکاران (۳۶) افزایش قابل توجه خاکستر را در بقایای نخود زراعی عمل‌آوری شده با تیمارهای هیدروکسید سدیم و پراکسید هیدروژن مشاهده کردند.

قیاسوند و همکاران (۱۸) گزارش کردند در کاه کلزای عمل‌آوری شده با هیدروکسید سدیم، درصد ماده آلی کاهش و درصد خاکستر افزایش یافت. با توجه به ماهیت شیمیایی هیدروکسید سدیم، افزایش مقدار خاکستر در تیمارهای عمل‌آوری شده با این ترکیب دور از انتظار نیست. از آن جایی‌که عمل‌آوری با پراکسید هیدروژن نیاز به مقدار قابل توجهی هیدروکسید سدیم به منظور حفظ pH در محدوده‌ی

مقدار نیتروژن آمونیاکی نمونه‌ها با استفاده از روش فنل-هیپوکلیت تعیین شد (۱۲). بدین‌منظور از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۳۰ نانومتر جهت قرائت جذب نوری استفاده شد. محاسبه توده میکروبی تولید شده با استفاده از رابطه ۱ انجام شد (۲۴).

$$MB = GP \times (PF - 2/2)$$

در این رابطه، MB: تولید توده میکروبی (میلی‌گرم)، GP: مقدار تولید گاز خالص بعد از ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر) و PF: عامل تفکیک (میلی‌گرم در میلی‌لیتر) می‌باشند. عامل تفکیک برابر با نسبت میلی‌گرم ماده آلی حقیقی هضم شده بر میلی‌لیتر حجم گاز خالص تولیدی می‌باشد. بازده مقدار توده میکروبی با تقسیم توده میکروبی تولید شده بر مقدار ماده آلی حقیقی قابل تخمیر در پایان زمان انکوباسیون (۲۴ ساعت) محاسبه شد.

آزمایش تجزیه‌پذیری با استفاده از تکنیک کیسه‌های نایلونی انجام گرفت (۲۶). بدین‌منظور از ۳ راس گوسفند نر نژاد دالاق دارای فیستولای شکمبه‌ای استفاده شد. دام‌ها مطابق استاندارد تکنیک کیسه‌های نایلونی، در سطح نگهداری تغذیه شدند. نمونه‌های بقایای باقلای عمل‌آوری نشده و عمل‌آوری شده توسط آسیاب چکشی آزمایشگاهی دارای غربال ۳ میلی‌متری آسیاب شدند. سپس ۳ گرم از هر نمونه داخل کیسه‌های نایلونی از جنس داکرون (ابعاد ۱۰×۲۰ سانتی‌متر و قطر منافذ ۴۵ تا ۵۰ میکرون) قرار داده شد. زمان‌های ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت به‌منظور انکوباسیون کیسه‌های نایلونی حاوی نمونه‌ها در شکمبه در نظر گرفته شدند. پس از پایان یافتن هر زمان انکوباسیون، کیسه‌های حاوی مواد باقی‌مانده از طریق فیستولا از شکمبه خارج شده و به مدت ۳۰ دقیقه در ماشین لباسشویی با آب سرد شسته شدند. در ضمن برای برآورد مقدار ناپدید شدن مواد خوراکی در زمان صفر یا مقدار مواد محلول در آب، کیسه‌های حاوی نمونه‌های مواد خوراکی بدون انکوباسیون شکمبه‌ای، شستشو شدند. پس از شستشو، کیسه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۶۵ درجه خشک شدند. در نهایت با تعیین مقدار نمونه باقی‌مانده در کیسه‌ها، درصد تجزیه‌پذیری ماده خشک محاسبه شد. برآورد فرآیندهای مختلف تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک بقایای باقلا با استفاده از روابط غیرخطی ارسکوف و مکدونالد (۲۹) انجام شد (رابطه‌های ۲ و ۳). بدین‌منظور از نرم‌افزار *Fit curve* استفاده شد.

$$P = a + b(1 - e^{-ct}) \quad (2)$$

در این رابطه P: پتانسیل تجزیه‌پذیری ماده خشک، a : بخش سریع تجزیه، b : بخش کند تجزیه، e : عدد نپر، c : ثابت نرخ تجزیه و t : مدت زمان قرار دادن نمونه در شکمبه می‌باشند.

رابطه (۳)

$$ERD = a + \left[\frac{b \times c}{c \times k} \right]$$

در این پژوهش مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی در میان تیمارهای مختلف یکسان بود ($p=0/0670$). هر چند که در تیمارهای اکسید کلسیم و آب مقدار آن از لحاظ عددی کمتر از شاهد بود (به ترتیب $55/33$ و $54/66$ درصد ماده خشک در برابر $58/66$ درصد ماده خشک). مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در تیمارهای اکسید کلسیم و پراکسید هیدروژن نسبت به شاهد افزایش یافت (به ترتیب 54 و $59/33$ درصد ماده خشک در برابر 42 درصد ماده خشک). قیاسوند و همکاران (۱۸) گزارش کردند که عمل‌آوری با هیدروکسید سدیم تأثیری بر الیاف نامحلول در شوینده اسیدی نداشت. در یک مطالعه تیمار هیدروکسید سدیم تأثیر بر مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی کاه سویا نداشت. اما اکسید کلسیم مقدار آن را افزایش داد (۵). افزایش الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی می‌تواند به این دلیل باشد که ابتدا اجزایی از کاه که به سرعت حل می‌شوند، برای استفاده در تولید توده زیستی مورد متابولیسم قرار می‌گیرند (۳۶). برخلاف نتایج این تحقیق، در یک پژوهش تیمار پراکسید هیدروژن باعث کاهش مقدار الیاف خام در بقایای ماش شد که دلیل آن حذف بخش عمده لیگنین و مقادیر کمی از همی سلولز در طول عمل‌آوری شیمیایی بیان شد (۷). در یک پژوهش استفاده از 10 درصد هیدروکسید سدیم به‌عنوان پیش تیمار قلبایی، مقدار لیگنین و همی سلولز را در بقایای نخل به ترتیب به میزان $47/31$ و $68/07$ درصد کاهش داد (۸).

۱۱/۵ دارد، در نتیجه افزودن هیدروکسید سدیم به کاه به علت اثرات باقی‌مانده این ماده، منجر به افزایش درصد خاکستر خام آن می‌شود (۱۸). مقدار پروتئین خام در بقایای باقلای شاهد $10/50$ درصد ماده خشک به دست آمد. تمام تیمارها باعث کاهش مقدار پروتئین خام شدند. کمترین مقدار این صفت در تیمارهای پراکسید هیدروژن و اکسید کلسیم مشاهده شد (به ترتیب $6/74$ و $7/17$ درصد ماده خشک). بر خلاف پژوهش حاضر، در مطالعه سلطانی و همکاران (۳۶) تیمارهای آب، پراکسید هیدروژن و هیدروکسید سدیم مقدار پروتئین خام را افزایش دادند. مطابق با پژوهش حاضر، قیاسوند و همکاران (۱۸) در بررسی تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری بر ترکیب شیمیایی کاه کلزا مشاهده کردند که کاه کلزای عمل‌آوری شده با هیدروکسید سدیم و هیدروکسید سدیم + پراکسید هیدروژن، درصد پروتئین خام کمتری نسبت به شاهد داشتند. افزودن هیدروکسید سدیم به کاه باعث افزایش درصد خاکستر خام آن شده و این خود می‌تواند باعث کاهش درصد پروتئین خام (به علت کاهش مواد آلی) شود. اصلانیان (۵) در بررسی اثرات عمل‌آوری اکسید کلسیم و هیدروکسید سدیم بر کاه سویا گزارش کرد که عمل‌آوری با این تیمارها باعث کاهش مقدار پروتئین خام در کاه سویا شد. خوروش و همکاران (۲۳) با بررسی تأثیر اکسید کلسیم بر روی ترکیب شیمیایی کاه سویا، کاهش در محتوای پروتئین خام را به دلیل جدا شدن نیتروژن از اجزای تشکیل‌دهنده کاه بیان داشتند.

جدول ۱- تأثیر اکسید کلسیم، پراکسید هیدروژن، هیدروکسید سدیم و آب بر ترکیب شیمیایی بقایای باقلا (درصد ماده خشک)

Table 1. Effect of calcium oxide, hydrogen peroxide, sodium hydroxide and water on chemical composition of *vicia faba* residues (% DM)

تیمارها	ماده خشک	خاکستر	ماده آلی	پروتئین خام	الیاف نامحلول در شوینده خنثی	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی
شاهد	۹۶/۳۶ ^b	۹/۰۰ ^d	۹۱/۰۰ ^a	۱۰/۵۰ ^a	۵۸/۶۶ ^{ab}	۴۲/۰۰ ^b
اکسید کلسیم	۹۷/۱۷ ^a	۲۵/۰۰ ^a	۷۵/۰۰ ^d	۷/۷۰ ^{cd}	۵۵/۳۳ ^b	۵۴/۰۰ ^a
پراکسید هیدروژن	۹۵/۳۷ ^c	۲۱/۰۸ ^b	۷۸/۹۰ ^c	۶/۷۴ ^d	۶۰/۰۰ ^a	۵۹/۳۳ ^a
آب	۹۶/۶۳ ^{ab}	۹/۰۸ ^d	۹۰/۹۱ ^a	۹/۲۸ ^b	۵۴/۶۶ ^b	۴۴/۰۰ ^b
هیدروکسید سدیم	۹۵/۳۹ ^c	۱۵/۰۰ ^c	۸۵/۰۰ ^b	۷/۸۸ ^c	۶۰/۰۰ ^a	۴۶/۰۰ ^b
اشتباه معیار میانگین	۰/۲۰۰	۰/۹۲۰	۰/۹۲۰	۰/۲۴۰	۱/۶۴۰	۲/۳۲۰
اختلاف معنی‌داری	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۶۷۰	۰/۰۰۱۷

در هر ستون، اعداد با حروف غیر مشابه از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند ($p < 0/05$).

تجزیه پذیری

انکوباسیون کمتر از شاهد بود. ضمن این‌که در سایر زمان‌ها اختلاف معنی‌داری با گروه شاهد دیده نشد. تجزیه‌پذیری ماده خشک در تیمارهای هیدروکسید سدیم و شاهد اختلاف معنی‌داری با هم نداشت.

فراسنجه‌های مختلف تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر شکمبه‌ای ماده خشک تیمارهای مختلف در جدول ۳ گزارش شده‌اند. نتایج نشان داد که عمل‌آوری شیمیایی علی‌رغم عدم تأثیر بر بخش‌های سریع تجزیه ($p=0/3860$)، کند تجزیه ($p=0/4690$)، پتانسیل تجزیه‌پذیری ($p=0/6760$) و ثابت نرخ تجزیه ($p=0/7050$)، بر تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک بقایای باقلا مؤثر بود ($p < 0/0001$). بیشترین مقدار تجزیه‌پذیری مؤثر در نرخ‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت

میانگین حداقل مربعات تجزیه‌پذیری ماده خشک بقایای باقلای عمل‌آوری نشده و عمل‌آوری با مواد شیمیایی در زمان‌های مختلف انکوباسیون شکمبه‌ای (جدول ۲) نشان داد که بین تیمارها اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($p=0/0100$ ، $p=0/0007$ ، $p < 0/0001$ ، $p=0/0039$ ، $p=0/0001$ ، $p=0/0453$ و $p=0/0054$ به ترتیب برای زمان‌های ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶ ساعت انکوباسیون).

تیمار پراکسید هیدروژن باعث افزایش تجزیه‌پذیری در زمان‌های ۳ تا ۹۶ ساعت انکوباسیون نسبت به شاهد شد. اما اکسید کلسیم در زمان‌های مورد اشاره مقدار این صفت را کاهش داد. مقدار تجزیه‌پذیری ماده خشک در تیمار عمل‌آوری شده با آب در زمان‌های ۶، ۲۴ و ۴۸ ساعت

در تیمار پراکسید هیدروژن، و کمترین مقدار آن در تیمار اکسید کلسیم مشاهده شد.

در مواد لیگنوسولوزی، سلولز یک پلیمر خطی از گلوکز بوده که با همی سلولز پیوند برقرار کرده و توسط لیگنین احاطه شده است. لیگنین یک کمپلکس سه بعدی از ماتریکس پلی آروماتیک بوده که از دسترسی آنزیم‌ها به برخی از نقاط پلیمر سلولز جلوگیری می‌کند. عمل‌آوری مواد لیگنوسولوزی در درجه اول به منظور افزایش دسترسی به سطح سلولز و تبدیل سلولز به گلوکز صورت می‌گیرد. عمل‌آوری مواد الیافی با ترکیبات شیمیایی، موجب متورم شدن دیواره سلولی، کاهش بلورینگی و انسجام سلولز می‌شود. چنین موادی موجب می‌شوند که عوامل هیدروکسیل واحدهای گلوکز موجود در مولکول سلولز، در معرض واکنش قرار گرفته و شدت بلورینگی در سلولز پایین آید. این امر اثر پوشاندگی موادی مثل لیگنین و سیلیس را بر سلولز کاهش می‌دهد. بدین ترتیب آمادگی دیواره سلولی را برای هیدرولیز افزایش می‌دهند (۲۰). به‌طور کلی به‌نظر می‌رسد که عمل‌آوری شیمیایی مواد لیگنوسولوزی برخی از بازدارنده‌های شیمیایی و فیزیکی هضم از جمله پیوند لیگنوسولوزی را از بین می‌برد. به‌عبارت دیگر مواد قلیایی سبب برداشت موانع فیزیکی می‌شوند که در نتیجه مواد حاوی انرژی مثل سلولز و همی سلولز از لیگنین آزاد شده و به‌عبارت دیگر سطح تماس الیاف لیگنوسولوزی با آنزیم‌های میکروبی افزایش می‌یابد (۴۱). چوداری (۱۵) با بررسی اثرات اکسید کلسیم، هیدروکسید سدیم و پراکسید هیدروژن بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای گاو گندم گزارش کرد که در همه زمان‌های انکوباسیون مقدار ناپدید شدن ماده خشک، ماده آلی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی در گاوهای عمل‌آوری شده به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیش‌تر از شاهد بود. تیمار پراکسید هیدروژن بیش‌ترین ناپدید شدن ماده خشک، ماده آلی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی را داشت. در این پژوهش بیان شد که تیمارهای شیمیایی از طریق تغییر ترکیبات شیمیایی دیواره سلولی گاو گندم، تجزیه‌پذیری آن را افزایش دادند. همچنین مقدار این افزایش به نوع ماده شیمیایی استفاده شده بستگی داشت. سلیم و همکاران (۳۴) بیان کردند که در اثر ورود عوامل

الکی به‌داخل دیواره سلولی و شکستن پیوندهای استری میان لیگنین و همی سلولز و سلولز، توانایی میکروارگانیزم‌های شکمبه برای حمله به ساختار کربوهیدرات‌ها بیشتر شده و تجزیه‌پذیری ماده خشک گاو افزایش می‌یابد. در این پژوهش، تیمار آب باعث کاهش مقدار تجزیه‌پذیری ماده خشک در بقایای باقلا شد. نتایج این پژوهش با مطالعه توسلی‌نیا و همکاران (۴۰) که تأثیر تیمارهای هیدروکسید سدیم، اوره و آب را بر گاو کلزا بررسی کردند، مطابقت دارد. علت آن شاید با پایین بودن مقدار استفاده شده و کوتاه بودن مدت عمل‌آوری شده مرتبط باشد. افزودن ترکیبات قلیایی (هیدروکسید سدیم) به بقایا باعث صابونی شدن پیوندهای استری بین اسیدهای فنولیک و پلی ساکاریدهای باند شده با لیگنین می‌شود. این باعث افزایش قابلیت‌هضم دیواره سلولی می‌شود که در نتیجه آن بخشی از پیوندها شکسته می‌شود (۲۱). قیاسوند و همکاران (۱۸) نشان دادند که بخش‌های کند تجزیه، ثابت نرخ تجزیه، پتانسیل تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک و ماده آلی گاو کلزا در اثر عمل‌آوری با هیدروکسید سدیم + پراکسید هیدروژن و نیز آب نسبت به شاهد افزایش یافت. یون‌های هیدروکسیل باعث متورم شدن سلولز، شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی بین سلولز و همی سلولز و هیدرولیز پیوندهای استری پلی ساکاریدهای دیواره سلولی شده و در نتیجه منجر به محلولیت لیگنین و همی سلولز می‌شوند (۲۲). بابایی و همکاران (۷) گزارش کردند که تیمار پراکسید هیدروژن تأثیری بر مقدار تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک در نرخ‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد بقایای ماش نداشت. اصلانیان (۵) افزایش در تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک گاو سویا را در اثر عمل‌آور با تیمارهای هیدروکسید سدیم و اکسید کلسیم مشاهده کرد. کان و همکاران (۱۶) گزارش کردند که تیمارهای شیمیایی، تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک ترکیبات لیگنوسولوزی را افزایش می‌دهند. محلول‌های قلیایی پلی ساکاریدها را در دامی معمولی تجزیه می‌کنند و همچنین باعث شکسته شدن پیوند لیگنین با سلولز می‌شوند. آن‌ها همچنین نسبت سلولز نامنظم را به سلولز کریستاله افزایش داده و چون سلولز بخشی از ماده خشک است، بدین نحو باعث افزایش تجزیه‌پذیری ماده خشک می‌شوند.

جدول ۲- تأثیر اکسید کلسیم، پراکسید هیدروژن، هیدروکسید سدیم و آب بر روند تجزیه‌پذیری ماده خشک بقایای باقلا در زمان‌های مختلف انکوباسیون (درصد)

Table 2. Effect of calcium oxide, hydrogen peroxide, sodium hydroxide and water on dry matter degradability trend of *vicia faba* residues at different times of incubation (percent)

تیماها	صفر	۳	۶	۱۲	۲۴	۴۸	۷۲	۹۶
شاهد	۲۱/۲۷ ^a	۲۷/۱۴ ^{ab}	۳۰/۳۵ ^b	۳۴/۷۲ ^b	۳۶/۵۳ ^b	۳۸/۶۸ ^b	۳۹/۷۸ ^{ab}	۴۰/۸۴ ^{cb}
اکسید کلسیم	۱۷/۳۱ ^a	۱۹/۱۹ ^c	۱۸/۰۵ ^d	۲۴/۳۳ ^c	۲۵/۱۲ ^d	۲۳/۱۸ ^d	۲۶/۰۶ ^c	۲۹/۷۴ ^d
پراکسید هیدروژن	۲۳/۲۴ ^a	۳۰/۵۶ ^a	۳۵/۴۴ ^a	۴۶/۷۰ ^a	۴۴/۱۴ ^a	۴۶/۷۳ ^a	۵۲/۴۱ ^a	۵۱/۴۵ ^a
آب	۲۱/۹۳ ^a	۲۳/۷۸ ^{cb}	۲۵/۵۰ ^c	۲۷/۷۰ ^{cb}	۳۰/۵۴ ^c	۳۲/۱۹ ^c	۳۶/۳۵ ^{cb}	۳۸/۰۸ ^c
هیدروکسید سدیم	۲۲/۶۸ ^a	۲۸/۲۵ ^{ab}	۳۰/۶۹ ^b	۳۴/۱۷ ^b	۳۷/۸۹ ^b	۳۹/۷۴ ^b	۴۰/۹ ^{ab}	۴۶/۷۳ ^{ab}
اشتباه معیار میانگین	۳/۴۶۱	۱/۴۳۴	۱/۱۳۸	۲/۴۱۶	۰/۸۸۲	۱/۹۵۸	۴/۰۶۴	۲/۴۴۳
اختلاف معنی‌داری	۰/۴۸۰۰	۰/۰۱۰۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳۹	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۷	۰/۰۴۵۳	۰/۰۰۵۴

در هر ستون اعداد با حروف غیر مشابه از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند ($p < 0.05$).

جدول ۳- تأثیر اکسید کلسیم، پراکسید هیدروژن، هیدروکسید سدیم و آب بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک بقایای باقلا

Table 3. Effect of calcium oxide, hydrogen peroxide, sodium hydroxide and water on degradability parameters and dry matter effective degradability of *vicia faba* residues

تیماها	بخش سریع تجزیه (درصد)	بخش کند تجزیه (درصد)	پتانسیل تجزیه‌پذیری (درصد)	ثابت نرخ تجزیه (درصد در ساعت)	تجزیه‌پذیری مؤثر (درصد) در نرخ عبور (درصد در ساعت)
شاهد	۲۱/۷۹	۱۸/۲۸	۰/۱۰	۴۰/۰۸	۳۱/۷۰ ^b
اکسید کلسیم	۱۷/۵۱	۱۷/۵۵	۰/۰۷	۳۵/۰۷	۲۱/۱۰ ^d
پراکسید هیدروژن	۲۲/۶۳	۲۷/۸۳	۰/۱۲	۵۰/۴۷	۳۸/۷۳ ^a
آب	۲۲/۰۴	۲۰/۸۱	۰/۰۴	۴۲/۸۵	۲۶/۸۶ ^c
هیدروکسید سدیم	۲۴/۲۸	۱۹/۷۱	۰/۰۶	۴۴/۰۰	۳۲/۰۶ ^b
اشتباه معیار میانگین	۳/۱۴۰	۵/۴۸۶	۰/۰۴۲	۶/۲۷۲	۰/۷۲۹
اختلاف معنی‌داری	۰/۳۸۶۰	۰/۴۶۹۰	۰/۶۷۶۰	۰/۷۰۵۰	<۰/۰۰۰۱

در هر ستون، اعداد با حروف غیر مشابه از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند ($p < 0.05$).

فراسنجه‌های تخمیری

تأثیر عمل‌آوری شیمیایی بر قابلیت هضم، pH، نیتروژن آمونیاکی و فراسنجه‌های تخمیری بقایای باقلا در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس مقایسات میانگین، بین تیمارها اختلاف معنی‌دار وجود داشت. عمل‌آوری با هیدروکسید سدیم باعث افزایش قابلیت هضم ماده خشک ($p = 0.0001$) و ماده آلی ($p = 0.0029$) نسبت به شاهد شد (به ترتیب ۵۶/۰۰ درصد در برابر ۵۱/۰۰ درصد، و ۵۷/۰۰ درصد در برابر ۴۷/۰۰ درصد). تیمار پراکسید هیدروژن قابلیت هضم ماده خشک را افزایش داد (۵۶/۰۰ درصد)، اما تأثیری بر قابلیت هضم ماده آلی نداشت (۴۷/۰۰ درصد). این صفات در تیمار آب اختلافی با شاهد نداشتند (به ترتیب ۴۹/۰۰ و ۴۷/۰۰ درصد)، اما در تیمار اکسید کلسیم نسبت به شاهد کاهش پیدا کردند (به ترتیب ۴۰/۰۰ و ۳۹/۰۰ درصد).

عمل‌آوری مواد الیافی با ترکیبات شیمیایی، موجب تورم دیواره سلولی، کاهش بلورینگی و انسجام سلولز می‌شود. چنین موادی عوامل هیدروکسیل واحدهای گلوکز در مولکول سلولز را در معرض واکنش قرار داده و شدت بلورینگی سلولز را کاهش می‌دهند. این امر اثر پوشاندگی موادی مثل لیگنین و سیلیس را بر سلولز کاهش داده و آمادگی دیواره سلولی را برای هیدرولیز افزایش می‌دهد (۱۴). همچنین اثر بازدارندگی اسیدهای فتلی نیز در هضم کربوهیدرات‌های ساختمانی

به‌وسیله ترکیبات شیمیایی حذف یا محدود می‌شود. بیان شده است که ترکیبات شیمیایی، گروه‌های استیل و ارونیک‌اسید را از روی همی‌سلولز جدا می‌کنند. این گروه‌ها دسترسی آنزیم به همی‌سلولز و سلولز را کاهش می‌دهند. بنابراین با حذف آن‌ها طی عمل‌آوری شیمیایی، انتظار می‌رود که میزان هیدرولیز آنزیمی افزایش یابد (۱۳). به همین دلیل بهبود چشمگیری در قابلیت هضم سلولز در کاه عمل‌آوری شده با مواد شیمیایی صورت می‌گیرد. هیدروکسید سدیم باعث شکسته شدن پیوندهای بین لیگنین و کربوهیدرات‌های دیواره سلولی شده و قابلیت استفاده از آن‌ها را برای باکتری‌های هضم‌کننده بیشتر می‌نماید. این امر باعث افزایش قابلیت هضم می‌شود (۴۷). همسو با نتایج این پژوهش، در یک مطالعه تیمارهای هیدروکسید سدیم و پراکسید هیدروژن باعث افزایش قابلیت هضم برون تنی ماده خشک و ماده آلی بقایای نخود زراعی شدند (۳۶). ساندستوت (۳۹) گزارش کرد که استفاده از هیدروکسید سدیم قابلیت هضم ماده آلی کاه چاودار را در شرایط برون تنی از ۴۶۰ گرم در کیلوگرم به ۷۶۰ گرم در کیلوگرم افزایش داد. در مطالعه آل- مسری (۳) و یلچی و همکاران (۴۷)، افزایش قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی در نتیجه استفاده از هیدروکسید سدیم گزارش شده‌است. اما در مطالعه دانش‌مسرگان و همکاران (۱۷)، بهبودی در قابلیت هضم ماده آلی در اثر افزودن هیدروکسید

و تشکیل کربنات سدیم شده و در نتیجه pH کاه افزایش می‌یابد. pH مایع شکمبه، تعادلی از غلظت اسیدهای چرب فرار عمده در شکمبه (استات، پروپیونات، بوتیرات و لاکتات)، آمونیاک، بافر و بزاق است. هرچه مقدار تخمیر شکمبه‌ای افزایش یابد، محصولات فرعی حاصل از آن یعنی اسیدهای چرب فرار نیز افزایش یافته که این باعث کاهش pH شکمبه می‌گردد. در نتیجه pH شکمبه شاخصی از مقدار تخمیر شکمبه است (۴۶).

غلظت نیتروژن آمونیاکی یکی از مؤلفه‌های مهم در تخمین مصرف ماده خشک و قابلیت هضم الیاف می‌باشد. در این پژوهش، غلظت نیتروژن آمونیاکی شکمبه در تیمارهای اکسید کلسیم و هیدروکسید سدیم (به ترتیب ۲/۱۷ و ۲/۴۳ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر) نسبت به شاهد (۳/۰۹ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر) کاهش یافت ($p=0/0004$). مطابق با نتایج این مطالعه، اصلانیان و همکاران (۶) گزارش کردند که استفاده از اکسید کلسیم و هیدروکسید سدیم مقدار نیتروژن آمونیاکی را در کاه سویا کاهش داد.

مقدار عامل تفکیک در بقایای باقلای شاهد ۳/۴۴ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به دست آمد. تیمارهای اکسید کلسیم (۴/۴۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) و پراکسید هیدروژن (۴/۹۷ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) باعث افزایش مقدار این صفت شدند ($p=0/0014$).

در پژوهش حاضر، عامل تفکیک بقایای باقلا در محدوده‌ی ۳/۱۱-۴/۹۷ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به دست آمد. بولوم و همکاران (۱۱) مقدار عامل تفکیک را در خوراک‌های متعارف در محدوده ۴/۴۱-۲/۷۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر گزارش کردند. بالاتر بودن عامل تفکیک از محدوده متعارف، نشان دهنده وجود عامل ضد تغذیه‌ای در نمونه خوراکی است. دلیل افزایش عامل تفکیک در اثر حضور عوامل ضد تغذیه‌ای آن است که این مواد ممکن است در جریان تخمیر و هضم از نمونه خوراکی شسته شده و در ناپدید شدن ماده خشک سهیم شوند، بدون آن‌که در فرآیند تولید گاز نقش داشته باشند. یا این‌که این عوامل ممکن است سبب جلوگیری از حلالیت سایر ترکیبات به خصوص پروتئین‌ها شده باشند. این در واقع سبب رقیق شدگی مواد مغذی شده و در ازای قابلیت هضم به دست آمده، تولید گاز و تولید پروتئین میکروبی شکل نگرفته است (۲۵).

بازده گاز تولیدی پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون در تیمار شاهد ۲۴۷/۸۸ میلی‌لیتر بر گرم ماده خشک به دست آمد. به جز آب (۲۸۶/۰۰ میلی‌لیتر بر گرم ماده خشک)، سایر تیمارها سبب کاهش مقدار این صفت شدند ($p<0/0001$).

تکنیک‌هایی مانند تولید گاز به‌طور غیر مستقیم وضعیت کلی تخمیر را نشان می‌دهند. مقدار گاز تولیدی وابسته به ترکیبات شیمیایی آن ماده غذایی می‌باشد. محققان گزارش کرده‌اند که بین الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی، و نرخ و حجم گاز تولیدی همبستگی منفی وجود دارد (۳۷). منابع خوراکی با الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی بالا، دارای پتانسیل تولید گاز کمتری هستند. با افزایش الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی، نسبت کربوهیدرات‌های

سدیم حاصل نشد. همچنین یلجی و همکاران (۴۷) گزارش کردند که عمل‌آوری کاه سویا با هیدروکسید سدیم، در بالا بردن قابلیت هضم آن مؤثر است. این محققین بیان کردند که هیدروکسید سدیم باعث شکسته شدن پیوندهای بین لیگنین و کربوهیدرات‌های دیواره سلولی شده و قابلیت استفاده از آن‌ها را برای باکتری‌های هضم‌کننده بیش‌تر می‌کند. این امر باعث افزایش قابلیت هضم می‌شود. چوداری (۱۴) بیان کرد که عمل‌آوری کاه گندم با پراکسید هیدروژن، قابلیت هضم ماده خشک آن را افزایش داد. این پژوهشگر علت افزایش قابلیت هضم را ناشی از افزایش نرخ و مقدار تجزیه‌پذیری کاه گندم توسط میکروارگانیسم‌های شکمبه بیان کرد. پراکسید هیدروژن باعث شکافتن پیوندهای استری بین لیگنین و همی‌سلولز از دیواره سلولی می‌شود. بنابراین کاه به ذرات کوچک تبدیل شده و محتویات الیاف از هم پاشیده و به‌صورت معلق در می‌آیند. سان و همکاران (۳۸) گزارش کردند که علت تغییر در ساختار سلولز در اثر تیمار پراکسید هیدروژن را به کاهش درصد بلورینگی آن نسبت داد. در رابطه با تأثیر اکسید کلسیم بر مواد الیافی، شرایط عمل‌آوری (حرارت، رطوبت، زمان و ...) بسیار مهم است (۴۳). شرایط مناسب برای عمل‌آوری با آهک هنوز به‌درستی شناخته نشده‌است. استفاده از اکسید کلسیم برای عمل‌آوری با وجود مزایای فراوانی که دارد، در عمل با محدودیت‌های فراوانی نیز همراه است. اکسید کلسیم ماده شیمیایی ضعیف‌تری نسبت به هیدروکسید سدیم بوده و تأثیر آن بر دیواره سلولی کمتر است. محلولیت اکسید کلسیم در آب کم بوده و در مقایسه با هیدروکسید سدیم مدت بیشتری برای عمل‌آوری با آن لازم است (۳۰). در این پژوهش، پایین‌ترین مقدار قابلیت هضم ماده آلی و ماده خشک در بقایای باقلا در تیمار اکسید کلسیم مشاهده شد. مطابق آنچه در شرایط آزمایش مشاهده شد، محلول اکسید کلسیم بر روی بقایای باقی ماند که به‌دلیل ماهیت نامحلول بودن، سبب رقیق نشدن مواد مغذی و تأثیر بر قابلیت هضم و دیگر فراسنجه‌های مورد اندازه‌گیری شد. خوروش و همکاران (۲۳) تأثیر اکسید کلسیم و هیدروکسید کلسیم را بر قابلیت هضم برون‌تنی کاه سویا بررسی کردند. در نتایج مشاهده شد که تیمارهای اعمال شده علی‌رغم این‌که دیواره سلولی کاه سویا را کاهش دادند، اما تأثیری بر قابلیت هضم برون‌تنی آن نداشتند.

تمامی تیمارها سبب افزایش pH محیط کشت بقایای باقلا شدند ($p<0/0001$). به‌عبارتی تیمارها pH محیط شکمبه را به سمت قلیایی شدن پیش بردند. مطابق با این نتایج، اصلانیان (۵) مشاهده کرد که تمامی تیمارهای شیمیایی (اکسید کلسیم و هیدروکسید سدیم)، pH محیط کشت را افزایش دادند. زمان استفاده از اکسید کلسیم، ذرات آن بر روی بقایا رسوب کرده و به‌دلیل ماهیت قلیایی همانند بافر در مقابل pH پایین محیط کشت مقاومت می‌کند. تراچ و همکاران (۴۴) بیان کردند زمانی که اکسید کلسیم طی عمل‌آوری با آب ترکیب می‌شود، سریعاً به هیدروکسید کلسیم تبدیل می‌شود. ون‌سوسنت (۴۵) بیان کرد که عمل‌آوری با هیدروکسید سدیم باعث ترکیب سدیم با کربن‌های دیواره کاه

معنی‌دار نبود. در پژوهش سلطانی و همکاران (۳۶)، تیمارهای آب، پراکسید هیدروژن و هیدروپرومیک اسید مقدار توده میکروبی تولید شده و بازده آن را افزایش دادند. همبستگی منفی بین تولید گاز و تولید توده میکروبی مشاهده شده است (۳۶) که کاهش بازده گاز تولیدی همراه با افزایش توده میکروبی تولید شده و بازده آن در پژوهش حاضر موید همین نکته است. تخمیر سوبسترا توسط میکرو ارگانسیم‌های شکمبه، تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیر، گاز و پروتئین میکروبی را در پی دارد. پروتئین میکروبی تولید شده به‌عنوان منبع پروتئین و بازده پروتئین میکروبی تولید شده در تغذیه نشخوارکنندگان اهمیت زیادی دارد. عواملی از جمله پروتئین خام و محتویات کربوهیدرات‌های خوراک، مقدار پروتئین میکروبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۰). بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، عمل‌آوری با تیمارهای هیدروکسید سدیم و پراکسید هیدروژن باعث بهبود فراسنجه‌های تجزیه پذیری و قابلیت هضم برون‌تنی بقایای باقلا شد. پیشنهاد می‌شود که تأثیر این تیمارها از طریق آزمایش‌های عملکردی نیز مورد بررسی قرار گیرد.

محلول کاهش یافته، در نتیجه هضم‌پذیری، تخمیر و تولید گاز نیز کاهش می‌یابد. مواد شیمیایی می‌توانند با نفوذ در دیواره سلولی، پیوندهای استری بین لیگنین، سلولز و همی‌سلولز را شکسته و به‌طور فیزیکی ساختار الیاف را متورم سازند این فرآیندها حمله میکروارگانسیم‌های شکمبه را به کربوهیدرات‌ها آسان‌تر کرده و در نتیجه فرآیند آنزیمی سریع‌تر پیش می‌رود (۳۴). در این پژوهش، به‌جز آب، سایر تیمارها باعث کاهش مقدار گاز تولیدی پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون در بقایای باقلا شدند.

مقدار توده‌ی میکروبی تولید شده در تیمار شاهد ۷۸/۲۶ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک به‌دست آمد. تیمارهای پراکسید هیدروژن (۱۰۵/۲۲ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) و هیدروکسید سدیم (۱۱۱/۳۰ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) مقدار آن را افزایش دادند ($p=0/0690$). توده میکروبی تولید شده در تیمارهای اکسید کلیم و آب اختلافی با شاهد نداشت (به‌ترتیب ۷۵/۰۰ و ۶۳/۵۹ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک). مقدار بازده‌ی توده میکروبی تولید شده در پایان ۲۴ ساعت انکوباسیون در تیمار شاهد ۰/۳۶ به‌دست آمد. تیمارهای اکسید کلسیم (۰/۵۰) و پراکسید هیدروژن (۰/۵۵) باعث افزایش این صفت شدند ($p=0/0016$). اختلاف سایر تیمارها با شاهد

جدول ۴- تأثیر تیمارهای اکسید کلسیم، پراکسید هیدروژن، هیدروکسید سدیم و آب بر قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی، نیتروژن آمونیاکی، pH و فراسنجه‌های تخمینی بقایای باقلا

Table 4. Effect of calcium oxide, hydrogen peroxide, sodium hydroxide and water treatments on dry matter and organic matter digestibility, ammoniacal nitrogen, pH and estimated parameters of *vicia faba* residues

تیمارها	قابلیت هضم ماده خشک (درصد)	قابلیت هضم ماده آلی (درصد)	نیتروژن آمونیاکی محیط کشت (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	pH محیط کشت	عامل تفکیک (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)	بازده تولید گاز در پایان ۲۴ ساعت انکوباسیون (میلی‌لیتر بر گرم ماده خشک)	توده میکروبی تولید شده در پایان ۲۴ ساعت انکوباسیون (میلی‌گرم بر گرم ماده خشک)	بازده توده میکروبی تولید شده در پایان ۲۴ ساعت انکوباسیون
شاهد	۵۱/۰۰ ^b	۴۷/۰۰ ^b	۳/۰۹ ^b	۶/۷۳ ^c	۳/۴۴ ^{cd}	۲۴۷/۸۸ ^b	۷۸/۲۶ ^b	۰/۳۶ ^{cb}
اکسید کلسیم	۴۰/۰۰ ^c	۳۹/۰۰ ^c	۲/۱۷ ^d	۶/۸۴ ^a	۴/۴۵ ^{ab}	۱۶۶/۹۹ ^d	۷۵/۰۰ ^b	۰/۵۰ ^a
پراکسید هیدروژن	۵۶/۰۰ ^a	۴۷/۰۰ ^b	۳/۸۴ ^a	۶/۸۵ ^a	۴/۹۷ ^a	۱۳۶/۱۰ ^d	۱۰۵/۲۲ ^a	۰/۵۵ ^a
آب	۴۹/۰۰ ^b	۴۷/۰۰ ^b	۲/۷۸ ^{cb}	۶/۷۸ ^b	۳/۱۱ ^d	۲۸۶/۰۰ ^a	۶۳/۵۹ ^b	۰/۳۹ ^c
هیدروکسید سدیم	۵۶/۰۰ ^a	۵۷/۰۰ ^a	۲/۴۳ ^{cd}	۶/۸۷ ^a	۴/۱۳ ^{cb}	۲۱۰/۰۳ ^c	۱۱۱/۳۰ ^a	۰/۴۵ ^{ab}
اشتباه معیار میانگین	۱/۵۰ ^۱	۲/۱۹۰	۰/۱۷۰	۰/۰۱۰	۰/۲۳۰	۱۰/۰۷۰	۱۱/۷۷۰	۰/۰۳۳
اختلاف معنی‌داری	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۰۴	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱۴	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۶۹۰	۰/۰۰۱۶

در هر ستون اعداد با حروف غیر مشابه از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند ($p<0/05$).

منابع

1. Afzalzade, A., H. Ghorbani, M. DaneshMesgaran and A. Khadem. 2010. Soaked straw and alfalfa utilization in dairy cattle ration. *Journal of Animal production*, 12: 37-50 (In Persian).
2. Alemu, T., P. Chairatanyuth, P. Vijchulata and S. Tudsri. 2006. Production and Utilization of crop residue in three agro ecological zones of Eastern Shoa Zone, Ethiopia. *Kasetsart Journal*, 40: 643-651.
3. Al-Masri, M.R. 2005. Nutritive value of some agricultural wastes as affected by relatively low gamma irradiation levels and chemical treatments. *Animal Feed Science and Technology*, 96: 1737-1741.
4. AOAC. 2005. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC. USA.
5. Aslanian, A. 2014. Effects of processing with gamma ray, calcium oxide and sodium hydroxide on nutritional value of soybean straw. MSc Thesis. Gonbad Kavous University. 115 pp (In Persian).
6. Aslanian, A., F. Ghanbari, J. Bayat Kouhsar and B. Karimi Shahraki. 2015. Effects of processing with gamma ray, sodium hydroxide and calcium oxide on gas production parameters and digestibility of soybean straw. *Journal of Animal Production*, 2: 235-248 (In Persian).
7. Babayi, M., F. Ghanbari, A. M. Gharehbash and J. Bayat Kouhsar. 2016. 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: 441-454 (In Persian).
8. Barlianti, V., D. Dahnum, H. Hendarsyah and H. Abimanyu. 2015. Effect of alkaline pretreatment on properties of lignocellulosic oil palm waste. *Procedia Chemistry*, 16: 195-201.
9. Basiri, Sh. 2007. Processing and enrichment of fruit and vegetables wastes. Islamic Azad University, Shabestar branch, 159 pp (In Persian).
10. Blummel, M. and E.R. Orskov. 1993. Composition of *in vitro* gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting food intake in cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 40: 109-119.
11. Blummel, M., H. Steingass and K. Becker. 1997. The relationship between gas production, microbial biomass yield and 15N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. *British Journal of Nutrition*, 77: 911-921.
12. Broderick, G.A. and J.H. Kang. 1980. Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and *in vitro* media. *Journal of Animal Science*, 63: 64-75.
13. Chang, V.S. and M.T. Holtzaple. 2000. Fundamental factors affecting biomass enzymatic reactivity. *Applied Biochemistry and Biotechnology- part A. Enzyme Engineering and Biotechnology*, 86: 5-37.
14. 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: 315-328.
15. Chaudhry, A.S. 2000. Rumen degradation *in sacco* in sheep of wheat straw treated with calcium oxide, sodium hydroxide and sodium hydroxide plus hydrogen peroxide *Animal Feed Science and Technology*, 83: 313-323.
16. Cone, J.W., W. Cline Theil, A. Malestein and A.T. VantKlooster. 1989. Degradation of starch by incubation with rumen fluid. A comparison of different starch sources. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 49: 173-183.
17. Danesh Mesgaran, M., M. Malakkhahi, B. Heravi Moussavi, A.R. Vakili and A. Tahmasbi. 2010. *In situ* ruminal degradation and *in vitro* gas production of chemically treated sesame stover. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9: 2256-2260.
18. Ghiasvand, M., K. Rezayazdi and M. Dehghan Banadaki. 2011. The effects of different processing methods on chemical composition and ruminal degradability of canola straw and its effect on fattening performance of male Holstein calves. *Journal of Animal Science Researches (Agricultural Science)*, 22: 93-104 (In Persian).
19. Ghorbani, H. 2007. Study of replacing part of alfalfa hay with straw treated by soaking in dairy cattle ration. MSc Thesis. University of Tehran (In Persian).
20. Harmsen, P., W. Huijgen, L. Bermudez and R. Bakker. 2010. A review of physical and chemical pretreatment processes for lignocellulosic biomass. *Food and Biobased Research*, 1184: 1-54.
21. Hidenori, A.B.E. and Y. Masaaki. 2000. Effects of ammonation on dry matter digestibility of grasses and legums. *Journal of Animal Science*, 9: 7-21.
22. Izdorczyk, M.S., L.J. Macri and A.W. MacGregor. 1998. Structural and physicochemical properties of barley non-starch polysaccharides. Alkali extractable β -glucans and arabinoxylans. *Carbohydrate Polymers*, 35: 259-269.
23. Khorvash, M., S. Kargar, T. Yalchi and G.R. Ghorbani. 2010. Effect 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.
24. Makkar H.P.S. 2010. "In vitro screening of feed resources for efficiency of microbial protein synthesis" in "In vitro screening of plant resources for extra-nutritional attributes in ruminants: nuclear and related methodologies". Springer, Dordrecht, 107-144.

25. Makkar, H.P.S., M. Blummel and K. Becker. 1995. Formation of complexes between polyvinyl pyrrolidones or polyethylene glycols and tannins, and their implication in gas production and true digestibility in *in vitro* techniques. *British Journal of Nutrition*, 73: 897-913.
26. Mehrez, A.Z. and E.R. Orskov. 1997. A study of the artificial bag technique for determining the digestibility of feed in the rumen. *Journal of Agricultural Science*, 88: 645-650.
27. Mosir, N., C. Wyman, B. Dale, R. Elander, Y.Y. Lee, M. Holtzaple and M. Ladisch. 2005. Feature of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresour. Technology*, 96: 673-686.
28. Nigus, A., M. Yusuf and J. Animut. 2014. Substitution effect of faba bean (*Vicia Faba L.*) hull to wheat bran on body weight change and carcass characteristics of Afar sheep fed hay as basal diet. *Agricultural Science, Engineering and Technology*, 2: 1-11.
29. Orskov, E.R. and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agriculture Science*, 92: 499-503.
30. Owen, E., T. Klopfenstein and N.A. Urio. 1984. Treatment with other chemicals in straw and other fibrous by-product as feed. Sundstol and Owened. Elsevier Science publishers, Amsterdam, 248-273.
31. Pasandi, M. 2014. Determination of digestibility and utilization of ensiled broad bean stover on performance of fattening lambs. *Animal Science Journal (Pajouhesh and Sazandegi)*, 17-24 (In Persian).
32. Sarnklong, C., J.W. Cone, W. Pellikaan and W.H. Hendriks. 2010. Utilization of rice straw and different treatments to improve its feed value for ruminants: A Review. *Asian- Australian Journal of Animal Science*, 23: 680-692.
33. SAS. 2003. SAS User's Guide: Statistics, Version 9.1 Edition. SAS Institute, Cary, NC, USA.
34. Selim, A.S.M., J. Pan, T. Takano, T. Suzuki, S. Koike, Y. Kobayashi and K. Tanaka. 2004. Effect of ammonia treatment on physical strength of rice straw, distribution of straw particles and particle associated bacteria in sheep rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 115: 117-128.
35. Sherasia, P.L., M.R. Garg and B.M. Bhandari. 2017. Pulses and their by-products in animal feed. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, 222 pp.
36. SoltaniNaseri, K., F. Ghanbari, J. Bayatkouhsar and F. Taliey. 2018. Effect of chemical and biological processing methods on chemical composition, gas production parameters and *in vitro* digestibility of *cicer Arietinum* wastes. *Research on Animal production*, 9: 72-82.
37. Sommart, K., D.S. Parker, P. Rowlinson and M. Wanapat. 2000. Fermentation characteristics and microbial protein synthesis in an *in vitro* system using cassava, rice straw and dried ruzi grass as substrates. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 13: 1084-1093.
38. Sun, R.C., J. Tomkinson, Y.X. Wang and B. Xiao. 2000. Physico- chemical and structural characterization of hemicellulose from wheat straw by alkaline prodeextraction. *Polymer*, 41: 47-57.
39. Sundstut, F. 1988. Straw and other fibrous by-products as feed. *Livestock Production Science*, 19: 137-157.
40. TavasoliNia, A.R., R. Valizadeh, R. Vakili and S. Sobhani Rad. 2008. Effect of canola straw processed with different levels of sodium hydroxide and urea on performance of Kordish male lambs. 3th Iranian Animal Science Congress, 1-4 (In Persian).
41. Teymouri Chamebon, A., A. Teymori Yanesari, Y. Chashnidel and A. Gafary Sayadi. 2017. Study of chemical composition, quality and ruminal degradability parameters of silaged orange pulp with wheat straw and urea. *Research on Animal production*, 8: 84-95.
42. Theodorou, M. K., B. A. Williams, M. S. Dhanoa, A. B. McAllan and J. France. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 48: 185-97.
43. Trach, N. X. 2000. Treatment and supplementation of rice straw for ruminant feeding in Vietnam. Doctor Scientarium Thesis. Agricultural University of Norway. As, Norway. 174 pp.
44. Trach, N.X., M. Mo and C. Xuan Dan. 2001. Effects of treatment of rice straw with lime and urea on its chemical composition, gas production and *in sacco* degradation characteristics. *Livestock Research for Rural Development*, 13: 117-134.
45. Van Soest, P.J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Cornell University Press, Ithaca, New York, 374 pp.
46. Van Soest, P.J. 1982. *Nutritional ecology of the ruminant*. O&B Books, Corvallis, OR.
47. Yalchi, T., Sh. Kargar, M. Khorvash and G.R. Ghorbani. 2012. Effect of sodium hydroxide on chemical composition and *in vitro* digestibility of soybean straw. 3th Iranian Animal Science Congress, 1069-1073.

Evaluation of Nutritional Value of *Vicia Faba* Residues Processed With Some Chemical Compounds Using *In Vitro* and Nylon Bag Techniques

Azin Alaei¹, Farzad Ghanbari², Javad Bayat Kouhsar³ and Fariba Farivar³

1 and 3- Graduated M.Sc. Student and Assistant Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University

2- Assistant Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University (Corresponding author: farzadghanbari@yahoo.com)

Received: July 25, 2019

Accepted: October 14, 2019

Abstract

This research was conducted to evaluate the nutritional value of *vicia faba* residues processed with some chemical compounds using *in vitro* and nylon bag techniques. Treatments included unprocessed *vicia faba* residues (control) and processed with water (2.5 lit/kg DM), calcium oxide (160 g/kg DM), hydrogen peroxide (57 ml/kg DM) and sodium hydroxide (50 g/kg DM). The chemical compositions of the samples were identified using the standard methods. Ruminal degradability trial was performed using the nylon bag technique. *In vitro* digestibility of samples was determined by the batch culture method. Processing was effective on the chemical composition of *vicia faba* residues. Except for water, the other treatments increased Ash and decreased organic matter ($p=0.0001$). Calcium oxide had the highest effect on the mentioned traits. Crude protein amount was decreased in all treatments ($p=0.0001$). The lowest amount was observed in calcium oxide and sodium hydroxide treatments. The amount of acid detergent fiber in calcium oxide and hydrogen peroxide treatments was higher than other treatments ($p=0.0017$). Except for calcium oxide and water, the other treatments increased effective rumen degradability of *vicia faba* residues at rumen outflow rates of 2, 5 and 8 percent/hour ($p<0.0001$). The hydrogen peroxide had the greatest effect on increase of effective rumen degradability. Sodium hydroxide treatment increased dry matter ($p=0.0001$) and organic matter ($p=0.0029$) digestibility. Also, calcium oxide and hydrogen peroxide increased the efficiency of microbial yield ($p=0.0016$). Totally, the results of this research showed that the sodium hydroxide and hydrogen peroxide treatments had the greatest effect on improving the nutritional value of *vicia faba* residues.

Keywords: Processing, Chemical Compounds, Digestibility, Ruminal Degradability, *Vicia Faba* Residues