نشریه پژوهش‌های علوم دامی/ جلد ۲۶ شماره ۱/ سال۱۳۹۵

تأثیر فرآوری اکسیداتیو با آهک در راکتور فرآوری‌کننده، برگوارش‌پذیری برگ خشک خرما به روش برون‌تنی

عباس رجائی‌راد[۱]، محسن ساری[۲*]، محمدجواد ضمیری[۳]، مرتضی چاجی[۴] و سمیه سالاری[۲]

تاریخ دریافت: ۹۳/٦/٤ تاریخ پذیرش: ۹٤/۷/۲۵

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم دامی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
[۲] استادیار گروه علوم دامی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
[۳] استاد بخش علوم دامی دانشگاه شیراز
[٤] دانشیار گروه علوم دامی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
[*] مسئول مکاتبه: Email: m.sari@ramin.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعاتی: فرآوری اکسیداتیو با آهک می‌تواند روش مناسبی برای فرآوری پسماندهای لیگنوسلولزی در تغذیه نشخوارکنندگان باشد. **هدف**: در این مطالعه تأثیر فرآوری اکسیداتیو با آهک بر گوارش‌پذیری برگ خشک خرما مورد بررسی قرار گرفته است. **روش کار**: این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چینش فاکتوریل ۳×۳ با ۹ تیمار در دماهای ٤۰، ۸۰ و ۱۰۰ درجه‌سانتی‌گراد و زمان‌های ۸۰، ۱٦۰ و ۲٤۰ دقیقه به همراه ٦/۹ بار فشار اکسیژن و ٦۰۰ میلی‌لیتر آب در راکتور دو جداره فرآوری کننده انجام شد. **نتایج**: افزایش دما و زمان فرآوری سبب کاهش لیگنین برگ خام از ۱۳/۳ درصد به ۳/٦ درصد در برگ فرآوری شده در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲٤۰ دقیقه شد (P<۰/۰۱). بیشترین درصد دیواره سلولی و دیواره سلولی بجز همی‌سلولز در نمونه‌های فرآوری شده در دمای ٤۰ درجه سانتی‌گراد و زمان۸۰ دقیقه به ترتیب برابر با ۸٤/۹ درصد و ٦۰/۵ درصد بود. با افزایش دما و زمان فرآوری، پتانسیل تولید گاز از بخش قابل تخمیر افزایش یافت (P<۰/۰۱). گوارش‌پذیری ماده آلی برگ خام ۲۱/۹ درصد بود و با فرآوری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و برای ۲٤۰ دقیقه، به ٤۰/۱ درصد رسید. فرآوری برگ خرما موجب افزایش انرژی قابل متابولیسم و تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیر شد. **نتیجه‌گیری نهایی**: یافته‌ها نشان دادند که فرآوری اکسیداتیو همراه با گرمادهی، بهبود ارزش تغذیه‌ای برگ خرما را در پی داشت.

واژگان کلیدی: آهک، برگ خرما، فرآوری اکسیداتیو، گوارش‌پذیری برون تنی

مقدمه

پسماندهای لیگنوسلولزی بیشترین منابع تجدید شدنی را در طبیعت تشکیل می‌دهند (رایدهولم ۱۹٦۷). هر درخت خرما سالیانه به طور میانگین ۲۰ کیلوگرم پسماند فیبری قابل هرس دارد (پسکاوال و همکاران ۲۰۰۰) و به دلیل تعداد قابل توجه درخت خرما در مناطق جنوبی ایران، هر سال حجم بالایی از این پسماند تولید می‌شود که ارزش غذایی چندانی برای نشخوارکنندگان ندارد. گوارش

پذیری مواد لیگنوسلولزی در نشخوارکنندگان به علت آرایش منظم سلولز و پیوند های فیزیکی نیرومند بین کربوهیدرات‌های ساختاری و لیگنین، پایین است (گاندی و همکاران ۱۹۹۷). فزون بر این، گروه‌های استیل همی-سلولز، هیدرولیز آنزیمی کربوهیدرات‌ها را کاهش می‌دهند (موزیر و همکاران ۲۰۱۰). روش‌های مکانیکی، فیزیکی، شیمیایی و زیستی برای بهبود ارزش غذایی پسماندهای لیگنوسلولزی بررسی شده‌اند (وانگ و همکاران ۲۰۰٤). فرآوری با مواد قلیایی موجب کاهش انتخابی لیگنین و پخش کردن فیزیکی دوباره آن و نیز بهبود گوارش‌پذیری برون‌تنی ترکیبات لیگنوسلولزی شده است (گاندی و همکاران ۱۹۹۷). این در حالی است که با تغذیه پسماندهای فرآوری شده با مواد قلیایی، به دلیل باقی ماندن این ترکیبات در آنها، محیط شکمبه هیپوتونیک می‌شود، نرخ رقت افزایش می‌یابد و درنتیجه گوارش‌پذیری نیز کاهش می‌یابد (ونسوست ۲۰۰٦).

استفاده از فرآوری مرطوب برای تولید سوخت‌های زیستی، رو به گسترش است (یو و همکاران ۲۰۰۸ و یانگ و ویمان ۲۰۰۸). در فرآوری مرطوب، پسماند در غلظت مناسبی از آب و ماده شیمیایی، فرآوری شده و سپس باقی‌مانده قلیایی به همراه آب از فرآوری حذف می‌شود و فرآورده‌ای بر جای می‌ماند که مقدار اندکی مواد قلیایی دارد (یو و همکاران ۲۰۰۸).

آهک (کلسیم هیدروکساید) ترکیب بازی ضعیفی است، با این وجود به دلیل ارزانی، ایمن بودن و قابلیت بازیافت، حجم زیادی از پژوهش‌ها را در صنعت تولید سوخت‌های زیستی از پسماندهای لیگنوسلولزی به خود اختصاص داده است (کیومر و همکاران ۲۰۰۹). پیش فرآوری با آهک، در مقایسه با اسید، قندهای مواد لیگنوسلولزی را کمتر تجزیه می‌کند و به شیوه گزینشی موجب حذف لیگنین می‌شود (آلویرا و همکاران ۲۰۱۰). آهک با تأثیر بر لیگنین و گروه‌های استیل همی‌سلولز، گوارش‌پذیری توده آلی را افزایش می‌دهد (کیند و هولتزاپل ۲۰۰۵). در مواد دارای لیگنین بالا مانند برگ خرما، آهک به‌تنهایی نمی‌تواند بهبود قابل توجهی را در گوارش‌پذیری موجب شود و از این رو، استفاده از یک یا چند ماده اکسید کننده می‌تواند به عنوان یک راه حل مورد توجه باشد. اکسیژن، به دلیل فراوانی و ارزان بودن، مناسب‌ترین اکسید کننده است. واکنش اکسیژن با لیگنین نیازمند دما و فشار بالای اکسیژن است که حلالیت و واکنش‌پذیری آهک و اکسیژن را چندین برابر می‌کند (سیرارامیرز و همکاران ۲۰۱۱).

هدف از این پژوهش بررسی تاثیر فرآوری اکسیداتیو برگ خشک خرما با آهک در دماهای مختلف بر ترکیب شیمیایی و گوارش پذیری برون‌تنی با استفاده از روش تولید گاز می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ساخت راکتور دوجداره برای فرآوری مواد لیگنوسلولزی

برای این که همزمان شرایط دمایی، فشار اکسیژن، حضور آهک و عمل همزدن پسماندهای هرس درخت خرما اعمال شود، نیاز به شرایط قابل کنترلی است که ایمن و اقتصادی باشد. راکتور فرآوری‌کننده از یک مخزن دو لیتری دو جداره فولاد زنگ نزن (قطر جداره داخلی: ۱۰میلی متر و قطر جداره بیرونی: ۵ میلی متر) ساخته شد (احمدی و همکاران ۱۳۹۱). شرایط سراسر اکسیداتیو به کمک یک کپسول اکسیژن ۱۵ لیتری مجهز به نشانگر کنترل فشار درون کپسول و راکتور تأمین گردید. دمای مورد نیاز درون راکتور، با به کارگیری یک فنر گرم‌شونده، نشانگر حساس به دما و تنظیم کننده دیجیتال، فراهم شد. زمان خالص واکنش از زمان رسیدن دمای مورد نیاز واکنش محاسبه و آمیختن مواد درون مخزن به کمک دو میله ثابت و متحرک و یک موتور گیربکس صورت پذیرفت. برای کاهش فرسودگی موتور، به کمک مولتی‌تایمر دیجیتال، زمان روشن بودن رآکتور پنج دقیقه و زمان استراحت آن، یک دقیقه برنامه‌ریزی شد. برای کاهش هدرروی گرما، دور مخزن با یک لایه

پشم شیشه پوشانیده شد. با نصب یک پمپ، گرما بین دو دیواره راکتور جریان یافت تا گرمای اضافی در راکتور محبوس شود. در این زمان، منبع تولید گرما برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی خاموش شد. پس از پایان یافتن زمان واکنش، موتور و کنترل کننده دیجیتال دما، خاموش و دریچه تخلیه فشار که روی در مخزن قرار داشت به آرامی باز شد تا فشار ٦/٩ بار درون مخزن به آرامی کاهش یابد.

آماده سازی برگ خرما

برگ‌های هرس شده درخت خرما از سه نخلستان رقم خاصویی، از شهرستان جم در استان بوشهر جمع آوری و به آزمایشگاه تغذیه دام دانشگاه شیراز برده شد. برگ‌ها، پس از جدا کردن دمبرگ‌ها و شستن با آب، در آون ٤٥ درجه‌سانتی‌گراد خشک و با الک ١ میلی‌متری آسیا شدند (فالس و همکاران ٢٠١١).

فرآوری برگ خرما در راکتور

مقدار ٦٠ گرم برگ خشک درخت خرما با ٦٠٠ میلی لیتر آب و ١٨ گرم آهک به راکتور افزوده شد. تیمارها آزمایشی (فاکتوریل ٣ × ٣) در دماها (٤٠، ٨٠ و ١٠٠ درجه سانتی‌گراد) و زمان‌های (٨٠، ١٦٠ و ٢٤٠ دقیقه) مختلف فرآوری عبارت بودند از برگ فرآوری شده در ١- دمای ٤٠ درجه سانتی‌گراد و زمان ٨٠ دقیقه، ٢- دمای٤٠ درجه سانتی‌گراد و زمان١٦٠ دقیقه، ٣- دمای ٤٠ درجه سانتی‌گراد و زمان٢٤٠ دقیقه، ٤- دمای ٨٠ درجه سانتی‌گراد و زمان ٨٠ دقیقه، ٥- دمای ٨٠ درجه سانتی‌گراد و زمان ١٦٠ دقیقه، ٦- دمای ٨٠ درجه سانتی‌گراد و زمان ٢٤٠ دقیقه، ٧- دمای ١٠٠ درجه سانتی‌گراد و زمان٨٠ دقیقه، ٨- دمای ١٠٠ درجه سانتی‌گراد و زمان ١٦٠ دقیقه و ٩- دمای١٠٠ درجه سانتی‌گراد و زمان ٢٤٠ دقیقه. فشار اکسیژن در همه‌ی تیمارها ٦/٩ بار بود. برگ شسته شده و فرآوری نشده به عنوان تیمارهای کنترل در نظر گرفته شد.

برای تعیین هدرروی ماده خشک در اثر شسته شدن، ٢٠ گرم برگ خشک همراه با ٥٠٠ میلی‌لیتر آب در یک بطری یک لیتری سانتریفیوژی ریخته‌شد، برای ١٠ دقیقه در دور ٤٠٠٠ در دقیقه سانتریفیوژ شد و در ادامه با قیف بوخنر و کاغذ صافی، صاف گردید. این کار تا شفاف شدن رنگ ماده فیلترشده تکرار شد. هدرروی ماده خشک با فرمول زیر تعیین شد (کیم و لی ٢٠٠٦).

$$L=\frac{W1\times(1-X1)-W2\times(1-X2)}{W1\times(1-X1)}\times 100$$

که L، مقدار اتلاف در اثر شسته شدن؛ W1، وزن توده خام در دمای ٤٥ درجه سانتی‌گراد؛ W2،وزن توده خام شسته و خشک شده در دمای ٤٥ درجه سانتی‌گراد؛ X1، درصد رطوبت توده خام خشک شده در دمای ٤٥ درجه سانتی‌گراد و X2 ، درصد رطوبت توده خام شسته و خشک شده در دمای ٤٥ درجه‌سانتی‌گراد است.

pH شیرابه (توده و آهک) پیش از فرآوری و پس از آن، اندازه‌گیری شد. در پایان زمان فرآوری، pH شیرابه و تفاله با دمیدن دی‌اکسید کربن و رسوب آهک، به ٧ رسانیده شد وآنگاه، کل نمونه از فیلتر خلا با قیف بوخنرعبور داده شد تا مقدار ماده جامد هدر رفته تعیین شود. باقی‌مانده تفاله، روی یک ورق آلومینیوم ریخته شد و در دمای ٦٠ درجه سانتی‌گراد برای ٧٢ ساعت خشک و در کیسه‌های پلاستیکی زیپ‌دار در دمای اتاق نگه‌داری گردید.

تجزیه شیمیایی

اندازه‌گیری ماده خشک (روش شماره ٩٥٢/٠٨)، خاکستر (روش شماره ٩٤٢/٠٥) و پروتئین خام با دستگاه میکروکلدال (روش شماره ٩٨١/١٠)، چربی خام با دستگاه سوکسله (روش شماره ٩٢٠/٣٩) انجام شد. بخش‌های فیبری (NDF و ADF) نمونه‌ها در کیسه‌های داکرونی و به کمک محلول‌های شوینده خنثی و اسیدی اندازه‌گیری شده و برای تعیین ADL کیسه‌ها پس از جوشاندن در محلول اسیدی برای ٣ ساعت در اسید ٧٢ درصد قرار داده شدند (ونسوست و همکاران ١٩٩١). برای آنالیز بخش فیبری، به دلیل ویژگی‌های مواد

لیگنینی سلولزی، آنزیم آلفا آمیلاز مقاوم به گرما افزوده نشد.

تعیین گوارش پذیری با روش تولید گاز

پیش از افزودن مایع شکمبه، جریان گرمی از دی اکسید کربن روی محیط کشت برقرار شد (تیلی و تری ۱۹۶۳ و وَن سوست و همکاران ۱۹۹۶). مایع شکمبه از ٤ گوسفند یک ساله و ۳ ساعت پیش از خوراک‌دهی صبحگاهی گرفته شد و با پارچه ململ ۲ لایه، صاف و به محلول بی هوازی شده (دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد) افزوده شد. آمیزه محیط کشت و مایع شکمبه در دمای ۰/٤ ± ۳۹/۰ درجه سانتی‌گراد برای ۱۵ دقیقه زیر جریان پیوسته‌ای از دی اکسیدکربن گرم قرار گرفت. سپس، ۳۰ میلی‌لیتر این آمیزه به درون ویال‌های دارای ۳۰۰ میلی‌گرم نمونه که برای ۱ شبانه روز در دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده بودند، ریخته شد و برای ۲۰ ثانیه فضای بالای ویال‌ها در معرض جریان دی اکسید کربن گرم قرار داده شد. آنگاه ویال‌ها در حمام آب گرم با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد کشت داده شدند. ویال‌ها با درپوشی از جنس بوتیل (14 mm butyl rubber stopper) بسته شدند و یک درپوش آلومینیومی روی آن پرس گردید. حجم گاز با فرو کردن سوزن (طول: ۲/٥٤ سانتی متر، شماره ۲۲) مجهز به سنسور فشار دیجیتال در درپوش بوتیلی ویال، در زمان‌های ۰، ۲، ٤، ٦، ۸، ۱۲، ۲٤، ٤۸ و ۷۲ ساعت پس از انکوباسیون اندازه‌گیری شد. حجم گاز تولیدی هر نمونه، بر پایه میانگین حجم گاز تولیدی در ویال‌های شاهد (فقط دارای محیط کشت و مایع شکمبه) (٥ ویال)، تصحیح شد. پس از ۲٤ ساعت انکوباسیون، محتویات هر ویال پس از انتقال به درون یک بشر، با افزودن ۲۰ میلی‌لیتر محلول شوینده خنثی، برای یک ساعت جوشانیده و صاف شد. ماده باقی‌مانده در آون و سپس در کوره گذاشته شد و گوارش پذیری واقعی ماده آلی به صورت وزنی تعیین گردید. نسبت گوارش‌پذیری آزمایشگاهی ماده آلی (در ۲٤ ساعت انکوباسیون) به میلی‌لیتر گاز تجمعی تولیدی تا ۲٤ ساعت انکوباسیون به عنوان شاخصی از راندمان پروتئین میکروبی (فاکتور جزءبندی، PF) در نظر گرفته شد (بلومول و همکارن ۱۹۹۷). انرژی قابل متابولیسم، گوارش پذیری ماده آلی و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر با فرمول های زیر به دست آمدند (منک و استینگاس ۱۹۸۸).

۲/۲۰+ ۰/۱۳٦ GP + ۰/۰٥۷ CP =(مگاژول در کیلوگرم ماده خشک) انرژی قابل متابولیسم

۱٤/۸۸+ ۰/۸۸۹GP+ ۰/٤٥ CP + ۰/۰٦٥۱ ASH = درصد گوارش پذیری ماده آلی

۰/۰۲۲۲ GP - ۰/۰۰٤۲٥ = (میلی‌مول) اسیدهای چرب کوتاه زنجیر

در این فرمول ها، GP: گازتولیدی پس از ۲٤ساعت انکوباسیون به ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک، CP: پروتئین خام نمونه و ASH: درصد خاکستر نمونه است.

برای اندازه‌گیری غلظت کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم، در آغاز ۱ گرم از نمونه خشک شده، به مدت ۳ ساعت در یک کروسیبل خاکستر شد. سپس، ٥ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید ۲ نرمال به کروسیبل افزوده و با کاغذ صافی شماره ٤۲ خاکستر درون کروسیبل صاف شد. برای اطمینان از حل شدن کامل خاکستر، کاغذ صافی چندین بار با آب مقطر، شسته شد. آنگاه کل حجم نمونه استخراج شده به ٥۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. غلظت کلسیم و منیزیم با روش جذب اتمی (لی و کارلس ۱۹٦۹) و غلظت سدیم و پتاسیم به ترتیب با روش‌های اسپکتروفتومتری و فلیم فتومتری اندازه‌گیری گردید (تسوگیو و سوزوکی ۱۹٦٤). برای اندازه‌گیری غلظت کلسیم، نیترات کلسیم در غلظت‌های ٥ تا ٥۰ بخش در میلیون به عنوان استاندارد به کار برده شد. با توجه به بالا بودن غلظت کلسیم و منیزیم نمونه‌های فرآوری شده، نمونه‌ها به نسبت ۱ به ۳۰ برای اندازه‌گیری کلسیم و به نسبت ۱ به ۱٥۰ برای اندازه گیری منیزیم، رقیق شدند.

آنالیز آماری

داده‌ها در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی، با آرایش فاکتوریل ۳ × ۳ (سه سطح دما و سه سطح زمان) و ۳ تکرار با رویه GLM نرم افزار آماری SAS 9.2 (۲۰۰۹) واکاوی شدند مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی انجام شد. مدل آماری چنین بود:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + e_{ijk}$$

که در این رابطه Y_{ijk}، مقدار هر مشاهده؛ μ، میانگین کل؛ A_i، اثر دما؛ B_j، اثر زمان؛ $(AB)_{ij}$، اثر متقابل دما و زمان و e_{ijk}، خطای آزمایش است.

نتایج و بحث

اثر شرایط فرآوری بر هدر روی و ترکیبات شیمیایی

هنگام فرآوری، توده در آب و آهک غوطه‌ور خواهد بود و به دلیل افزایش بسیار زیاد pH در پایان فرآوری، توده فرآوری شده باید با آب شسسته شود. از این رو، در تیماری جداگانه، برگ خام با آب شسته شد تا تاثیر شسته شدن نیز در نظر گرفته شود. جدول ۱ نشان می‌دهد که حدود ۱۰ درصد از ماده خشک توده بر اثر شسته شدن هدر رفته است. شستن برگ خام همچنین کاهشی معنی‌دار در چربی خام، پروتئین خام و مواد جامد محلول در شوینده خنثی را از یک سو و افزایشی معنی‌دار در NDF و ADF را از سوی دیگر به دنبال داشت (P<۰/۰۱). کاهش معنی‌داری در درصد خاکستر، کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم، با شسته شدن مشاهده شد (P<۰/۰۵). هدر روی مواد محلول در تیمار شسته شده سبب کاهش معنی‌دار تولید گاز در ابتدای انکوباسیون و گوارش پذیری، انرژی قابل متابولیسم و تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیر نسبت به برگ خام شد (P<۰/۰۱). کاهش آثار منفی شستن در شیوه‌ای جدید با دمیدن دی‌اکسیدکربن به تیمارهای فرآوری‌شده و رسوب آهک به کربنات کلسیم امکان‌پذیر است و در آزمایش کنونی به کار برده شد. کربنات کلسیم بازیافت شده بعد از گرمادهی و تبدیل شدن به آهک می‌تواند برای فرآوری‌های پی‌آیند مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی برگ خرمای خام و شسته شده (درصد در ماده خشک)

	هدر روی	چربی خام	پروتئین خام	NDF	ADF	ADL	NDS
برگ خشک	-	۱/۰۳	۲/۵۲	۷٦/٦۰	٥٤/۷۹	۱۳/۳۸	۹/۲٤
برگ شسته شده	۱۰/۱	۰/٦۱	۱/۷٦	۸۸/٥٤	٦٥/۱۲	۱۳/۱۸	٦/۲٤
P-value		۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۱
SEM		۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۵۷	۰/۰٦	۰/۰۲	۰/۰۱۱

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها، NDF: دیواره سلولی، ADF :دیواره سلولی بدون همی‌سلولز، ADL : لیگنین، NDS: مواد محلول در شوینده خنثی

جدول ۲- درصد خاکستر و برخی عناصر برگ خرمای خام و شسته شده (درصد در ماده خشک)

	خاکستر	کلسیم	منیزیم	پتاسیم	سدیم
برگ خشک	۷/۹۳	۰/۵۸	۰/۰۲۸	۰/۰۱۲	۰/۰٦۰
برگ شسته شده	٤/۷٤	۰/۳۸	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳
P-value	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
SEM	۰/۱۸	۰/۰۰٤	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

درصد هدر روی و ترکیب شیمیایی برگ فرآوری شده با آهک در جدول ۳ آمده است. با افزایش دما و زمان، هدر روی نیز افزایش یافت، اما به دلیل یکنواخت نبودن میزان هدر روی در شرایط مختلف زمانی و دمایی، برهمکنش بین دما و زمان نیز معنی‌دار شد (P<۰/۰۱). هم چنین، با افزایش دما و زمان فرآوری درصد هدر روی ماده خشک افزایش یافت به طوری که با فرآوری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۲٤۰ دقیقه، ۳۷/۲۳ درصد ماده خشک هدر رفت که می‌تواند در نتیجه شسته شدن مواد محلول، حذف لیگنین و هیدرولیز همی‌سلولز باشد. تولید ترکیبات فرار از بخش کربوهیدراتی دیواره سلولی، به ویژه همی‌سلولز نیز می‌تواند از دیگر علت‌های هدر روی ماده خشک باشد. با هیدرولیز همی‌سلولز، اسیدهای آلی فرار مانند اسید استیک و اسید فرمیک تولید می‌شوند که با باز شدن دریچه راکتور، متصاعد می‌شوند (بنگالی و همکاران ۲۰۰٤). هماهنگ با یافته‌های آزمایش کنونی، توکلی و همکاران (۱۳۸۷) بیشترین کاهش ماده خشک (۱٤ درصد) را در شدید ترین شرایط فرآوری گزارش کردند. بیشتر بودن هدرروی ماده خشک در پژوهش کنونی می‌تواند ناشی از حجم بیشتر آب (۱۰میلی‌لیتر آب به ازای هر گرم توده خشک) و شرایط دشوارتر فرآوری باشد. رانگنیگار و همکاران (۱۹۸۲) نیز نشان دادند که با افزایش فشار بخار از ٥ تا ۹ بار به مدت ۳۰ دقیقه اتلاف ماده خشک کاه برنج از ۱۷/٦ به ۳۹/٥ درصد رسید.

جدول ۳ نشان می‌دهد که با افزایش دما و زمان فرآوری درصد پروتئین و چربی خام برگ فرآوری شده کاهش یافت (P<۰/۰۱). کمترین درصد پروتئین و چربی خام در بالاترین دما و زمان فرآوری دیده شد. افزایش دما و زمان فرآوری باعث سست شدن پیوندهای فسفولیپیدی و اکسید شدن چربی خام می‌شود. در تحقیقی با استفاده از سویا مشخص گردید که با افزایش دما از ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ٦۰ درجه‌سانتی‌گراد سرعت اکسیداسیون دو برابر می‌شود، در حالی که در دماهای بالاتر از ٦۰ درجه‌سانتی‌گراد سرعت اکسیداسیون به ازای هر ۱۱ درجه‌سانتی‌گراد افزایش دما، دو برابر شد (سوورن، ۱۹۷۹). شهیدی (۲۰۰٥) نیز نشان داد که به ازای هر ۱۰ درجه سانتی‌گراد افزایش دما، سرعت اکسیداسیون دو برابر شد.

با افزایش زمان و دمای فرآوری، درصد NDF، ADF و ADL کاهش یافت (P<۰/۰۱) به طوری که کمترین میزان NDF، ADF و ADL در نمونه‌های فرآوری شده در بیشترین دما و زمان فرآوری دیده شد. درصد NDF و ADF برگ شسته شده افزایش قابل توجهی نسبت به برگ خام داشت (جدول ۱) که به علت شسته شدن مواد محلول و در نتیجه افزایش درصد مواد فیبری است. کاسترو (۱۹۹۰) نیز با فرآوری کاه گندم درچندین دما، زمان و فشار بخار، افزایش در دیواره سلولی ماده فرآوری شده گزارش کردند.

برای کاهش آثار منفی شستن، آهک با دمیدن دی‌اکسید کربن رسوب داده شد و در نتیجه نیاز به شستن کاهش یافت. در ادامه موثر بودن این روش بخصوص در افزایش تولید گاز در ابتدای انکوباسیون نشان داده شده است. تفسیر یافته‌ها درپی فرآوری با آهک به دلیل وجود آب هنگام فرآوری و اثر شسته شدن، کمی پیچیده است. فرآوری با آهک به طور انتخابی سبب حذف لیگنین و گروهای استیل همی‌سلولز می‌شود، اما درصد سلولز تغییر نمی‌کند (باینود و همکاران ۲۰۱۰). کریستالیتی بالا و پیوندهای هیدروژنی بیشتر سلولز در مقایسه با همی‌سلولز، مقاومت بیشتر آن را در فرآوری موجب می‌شود (تاباک ۲۰۰۹). نشان داده شده است که دی‌اکسیدکربن حاصل‌شده از تجزیه لیگنین و کربوهیدرات‌ها با کلسیم هیدروکساید واکنش داده و تشکیل کربنات کلسیم می‌دهد که می‌توانند لایه‌های محافظتی تشکیل دهند و از تخریب کربوهیدرات‌ها پیشگیری کنند (گراندا ۲۰۰٤).

کاهش درصد لیگنین با افزایش دما و زمان فرآوری، از دلایل دیگر کاهش درصد NDF و ADF با افزایش دما و زمان فرآوری است. آب ٤٠ درجه به مدت یک روز در حضور آهک توانست ۳۰ درصد لیگنین کاه و کلش تنباکو و ۲۰ درصد لیگنین باگاس نیشکر را حذف کند (چانک و همکاران ۲۰۰۱). در آزمایشی دیگر با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۸۰ دقیقه و در حضور آهک، ٥٠ درصد لیگنین باگاس نیشکر حذف شد (چانگ و همکاران ۱۹۹۸). اما هنگامی که فرآوری باگاس نیشکر با آهک در ۲٤٠ دقیقه و دمای ١٤٠ درجه سانتی‌گراد، ۷ بار فشار اکسیژن به کار برده شد، درصد لیگنین زدایی به ۸٥ درصد رسید (سیرارامیرز و همکاران ۲۰۱۱). لیانگ و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که هنگام فرآوری اکسیداتیو چوب نوعی درخت با آهک در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۲۰ دقیقه، ٦٠ درصد لیگنین و ٤٥ درصد همی‌سلولز کاهش یافت که ۱۲ درصد حذف همی‌سلولز مربوط به گروهای استیل و بقیه نیز به علت هیدرولیز همی‌سلولز به قندهای سازنده‌اش بود و هیچ اثر تخریبی بر سلولز دیده نشد. با این وجود در بیشتر پژوهش‌ها، فرآوری خشک (بدون حضور آب و رطوبت) با افزایش درصد لیگنین همراه بوده است (توکلی و همکاران ۱۳۸۷). در شرایط دمایی بالا و نبود رطوبت، فرآورده‌های حاصل از تجزیه قندها، به پلیمرهای شبیه لیگنین تبدیل می‌شوند و محتوای ظاهری لیگنین افزایش می‌یابد (هورتن و همکاران ۱۹۹۱). این در حالی است که در فرآوری مرطوب با آب، لیگنینی که آزاد می‌شود از محیط حذف می‌شود (چانگ و هولتزاپل ۲۰۰۱). گزارش شده است که در دمای بالا با افزایش حلالیت آهک، pH محیط بالا می‌رود و در نتیجه حلالیت اکسیژن نیز افزایش می‌یابد و گونه‌های فعال اکسیژن تولید می‌شوند که با حمله به حلقه‌های فنلی لیگنین سبب باز شدن آنها و در نتیجه افزایش نرخ لیگنین زدایی می‌شوند (سیرارامیرز و همکاران ۲۰۱۱). در واقع، دمای بالا همراه با آهک و در حضور اکسیژن، به تولید رادیکال‌های آزاد می‌انجامد که میل واکنش‌پذیری بالایی دارند و با وارد کردن گروه‌های هیدروفیلیک به ساختار لیگنین، پیوندهای درونی لیگنین را می‌شکنند و لیگنین آزاد می‌شود (آگیروپولوس ۲۰۰۱). افزایش دمای فرآوری سبب تولید گونه‌های فعال بیشتری از اکسیژن می‌شود و درنتیجه سرعت لیگنین زدایی افزایش می‌یابد (یو و همکان ۲۰۱۰). افزایش لیگنین‌زدایی با افزایش دما، بویژه در دمای ۱۰۰ درجه در آزمایش کنونی، نشان دهنده تاثیر این ساز و کار است. کاهش قابل توجه لیگنین، حفظ درصد سلولز حتی در شرایط شدید فرآوری و هیدرولیز همی‌سلولز از نکات مثبت فرآوری اکسیداتیو با آهک است.

تغییرات درصد خاکستر و برخی مواد معدنی در جدول-های ۲ و ٤ آورده شده است. سنجش خاکستر و مواد معدنی در همه فرآوری‌های با مواد شیمیایی، امری ضروری است. فرآوری‌های خشک همراه با مواد قلیایی سبب باقی ماندن این ترکیبات در بافت توده فرآوری شده و هیپوتونیک شدن شکمبه و افزایش نرخ عبور مواد در شکمبه و کاهش گوارش‌پذیری می‌شوند (ونسوست ۲۰۰٦). درصد خاکستر برگ شسته شده نسبت به برگ خام، کاهش قابل توجهی یافت ($P<0/01$) و از ۷/۹ درصد در برگ خام به ٤/٧٤ درصد در برگ شسته شده رسید. این یافته نشان داد که اگر در پایان فرآوری برای کاهش pH، نمونه با آب شسته شود، درصد عناصر کاهش می‌یابد. با این وجود همچنان که جدول ٤ نشان می‌دهد همه تیمارهای فرآوری شده درصد خاکستر بیشتری نسبت به برگ خام وشسته شده داشتند که می‌تواند ناشی از استفاده از آهک و حذف شستن مواد فرآوری شده باشد. آهک، یون کلسیم به توده اضافه می‌کند. اثر دما، زمان و برهمکنش دما و زمان بر درصد خاکستر، کلسیم، منیزیوم و سدیم برگ فرآوری شده (جدول ٥) معنی‌دار بود ($P<0/01$).

جدول ۳- ترکیب شیمیایی و درصد هدروی برگ خرمای فرآوری شده با آهک در شرایط مختلف (درصد ماده خشک).

تیمار	دما*	زمان*	پروتئین خام	چربی خام	NDF	ADF	ADL	هدر روی
۱	٤٠	٨٠	٢/٤١^{a}	١/٠٣^{a}	٨٤/٩٢^{ab}	٦٠/٤٦^{a}	١١/٠٤^{a}	١٧/٨٢^{d}
۲	٤٠	١٦٠	٢/٢٩^{ab}	٠/٩٤^{ab}	٨٠/٧٧^{bcd}	٥٩/١٢^{ab}	٩/٣٣^{b}	٢٢/١٩^{c}
۳	٤٠	٢٤٠	٢/١٧^{bc}	٠/٨٢^{c}	٨٢/٥٥^{abcd}	٥٤/٢٨^{cde}	٧/٨٢^{cd}	٢٧/٣١^{b}
٤	٨٠	٨٠	٢/٣١^{a}	٠/٩٠^{b}	٨٦/٩١^{a}	٥٩/٨٢^{ab}	٨/٣٠^{bc}	١٩/٠١^{cd}
٥	٨٠	١٦٠	٢/١٥^{c}	٠/٧١^{d}	٨٤/٣١^{abc}	٥٦/٩٢^{bc}	٦/٧٤^{de}	٢٨/١٦^{b}
٦	٨٠	٢٤٠	١/٧٧^{d}	٠/٦٠^{e}	٧٩/٣٨^{d}	٥٣/٠٩^{de}	٥/٤٣^{f}	٣٣/٧٦^{a}
٧	١٠٠	٨٠	١/٠٣^{e}	٠/٦٦^{de}	٨٠/٠٥^{cd}	٥٥/٤٩^{cd}	٦/٢٠^{ef}	٢٩/٢٠^{b}
٨	١٠٠	١٦٠	٠/٧١^{f}	٠/٤٦^{f}	٧٨/٦٢^{d}	٥٥/٥١^{ed}	٣/٩٦^{g}	٣٧/٢٣^{a}
٩	١٠٠	٢٤٠	٠/٥٢^{g}	٠/٣٩^{f}	٧٨/١٠^{d}	٥١/٢١^{e}	٣/٦٥^{g}	٣٧/٤٣^{a}
SEM			٠/٠٣	٠/٠٢	١/٦٧	١/٢١	٠/٤٢	١/٤٣
اثر زمان			٠/٠٠١	٠/٠٠١	٠/٠٠١	٠/٠٠١	٠/٠٠١	٠/٠٠١
اثر دما			٠/٠٠١	٠/٠٠١	٠/٠٠٣	٠/٠٠١	٠/٠٠١	٠/٠٠١
برهمکنش زمان و دما			٠/٠٠١	٠/٠٠٤	٠/٠١٥	٠/١٤	٠/١٤٤	٠/٠٠٢

* دما: درجه سانتی‌گراد و زمان به دقیقه، SEM : خطای استاندارد میانگین‌ها، NDF: دیواره سلولی، ADF: دیواره سلولی بدون همی‌سلولز، ADL: درصد لیگنین. در هرستون میانگین‌های دارای بندواژه (های) همانند، تفاوت آماری معنی‌داری ندارند (P>٠/٠٥).

با افزایش دما و زمان فرآوری، غلظت کلسیم به غلظت آن در برگ خام نزدیک شد، اما غلظت منیزیم، سدیم و پتاسیم کاهش یافت. به طوری که برگ خام و برگ فرآوری شده در دمای ١٠٠ درجه سانتی‌گراد به مدت ٢٤٠ دقیقه میزان کلسیم برابری داشتند. کاهش غلظت سدیم، منیزیوم و پتاسیم، به علت شسته شدن در حضور آب است (چانگ و همکاران ٢٠٠١). گاندی و همکاران (١٩٩٧) در پی فرآوری چندین پسماند کشاورزی با آهک، نشان دادند که با افزایش دما و زمان فرآوری، درصد خاکستر و غلظت کلسیم کاهش یافت. افزایش درصد کلسیم در مواد فرآوری شده، بویژه در دما و زمان کمتر، می‌تواند به دلیل نفوذ رسوب کربنات کلسیم حاصل از واکنش دی‌اکسیدکربن و آهک به بافت توده فرآوری شده باشد. دی اکسید کربن می‌تواند از تخریب سلولز، همی‌سلولز و لیگنین به وجود آید (تاباک ٢٠٠٩) و به دلیل استفاده از اکسیژن خالص در داخل راکتور، ورود دی‌اکسید کربن از هوا به داخل راکتور دور از انتظار است. از آنجا که فرآوری مرطوب با آهک، افزایش بسیار اندکی در کلسیم توده را موجب شد و درصد خاکستر را حفظ کرد به نظر نمی‌رسد که افزودن برگ خشک فرآوری شده به جیره تأثیر نامطلوبی بر محیط شکمبه داشته باشد.

تولید گاز

جدول‌های ٥ و ٦ چگونگی تخمیر برگ خام، شسته شده و فرآوری شده در زمان‌های مختلف فرآوری را نشان می‌دهند. شستن برگ خام سبب کاهش تولید گاز تجمعی در ١٢، ٢٤ و ٤٨ ساعت پس از انکوباسیون نسبت به برگ شسته نشده شد (P<٠/٠١). تولید گاز تجمعی برگ شسته شده در ١٢ ساعت آغازین انکوباسیون ١٣/٥ میلی‌لیتر گاز به ازای هرگرم ماده آلی بود درحالی که تولیدگاز برگ خام در همان زمان، به دو برابر رسید. تولید تجمعی گاز برگ خام در همه زمان‌ها کمتر از برگ‌های فرآوری شده بود. تولید گاز تجمعی برگ خام در پایان انکوباسیون ٦٥/٢٦ میلی‌لیتر به ازای گرم ماده خشک بود. در مقابل، بیشترین تولید گاز تیمارهای فرآوری شده در مدت ٧٢ ساعت انکوباسیون (١٩١/٥٦

میلی‌لیتر / گرم ماده خشک) مربوط به تیمار ۱۰۰ درجه و ۲۴۰ دقیقه فرآوری بود که افزایش ۱۹۳ درصدی نسبت به برگ خام نشان می‌دهد. یافته‌های تولید گاز (جدول ٦) نشان دادند که دماهای پایین فرآوری برای افزایش تولید گاز در انکوباسیون، نیاز به زمان‌های طولانی دارد که به علت مصرف بالای انرژی در زمان طولانی مناسب نیست.

جدول ۴- pH پایان فرآوری، درصد خاکستر و برخی عناصر برگ خرمای فرآوری شده با آهک در شرایط مختلف (درصد ماده خشک).

تیمار	دما*	زمان*	pH پایان فرآوری	خاکستر	کلسیم	منیزیوم	سدیم	پتاسیم
۱	٤۰	۸۰	۱۲/۱۷^{a}	۹/۵۰^{a}	۰/۷۵^{a}	۰/۲۱^{a}	۰/۰۳٦^{a}	۰/۱۰^{a}
۲	٤۰	۱٦۰	۱۱/۹٦^{ab}	۸/۵۹^{bc}	۰/۷۳^{ab}	۰/۱۷^{ab}	۰/۰۲۷^{b}	۰/۰۸^{bc}
۳	٤۰	۲٤۰	۱۱/۷۸^{bcd}	۸/۲٤^{c}	۰/٦۲^{cd}	۰/۱۲^{bc}	۰/۰۲۷^{b}	۰/۰٦^{de}
٤	۸۰	۸۰	۱۱/۹۳^{bc}	۸/٦۹^{bc}	۰/۷۰^{abc}	۰/۲۱^{a}	۰/۰۲۲^{bc}	۰/۰۹^{ab}
۵	۸۰	۱٦۰	۱۱/۷٤^{cd}	۸/٤۹^{bc}	۰/٦۳^{bcd}	۰/۱۱^{c}	۰/۰۳٦^{a}	۰/۰۷^{cd}
٦	۸۰	۲٤۰	۱۱/٦۵^{de}	۸/۵۳^{bc}	۰/۵۲^{d}	۰/۱۱^{c}	۰/۰۲۲^{bc}	۰/۰۵^{e}
۷	۱۰۰	۸۰	۱۱/٦۹^{de}	۸/۹۷^{b}	۰/٦۷^{abc}	۰/۱۵^{abc}	۰/۰۱۸^{cd}	۰/۰۸^{bc}
۸	۱۰۰	۱٦۰	۱۱/۵۰^{ef}	۸/۵۵^{bc}	۰/٦۰^{cd}	۰/۱۰^{c}	۰/۰۱٦^{cd}	۰/۰۵^{e}
۹	۱۰۰	۲٤۰	۱۱/۳۹^{f}	۸/۳۱^{c}	۰/۵٤^{d}	۰/۱۲^{bc}	۰/۰۱۱^{d}	۰/۰۵^{e}
	SEM		۰/۰۰۷	۰/۱۸	۰/۰۰۳	۰/۰۲۰	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰٦
	اثر زمان		۰/۰۰۱	۰/۰٦۱	۰/۰۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
	اثر دما		۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
	برهمکنش دما و زمان		۰/۷۳	۰/۰۱۵	۰/٤۷	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۲۱

* دما: درجه سانتی‌گراد و زمان به دقیقه، SEM : خطای استاندارد میانگین‌ها. در هرستون میانگین‌های دارای بندواژه (های) همانند، تفاوت آماری معنی‌داری ندارند (P>۰/۰۵).

جدول ۵- فرآسنجه‌های تولید گاز برگ خرمای خام و شسته شده

	B	C	۱۲ ساعت	۲٤ ساعت	٤۸ ساعت	۷۲ ساعت	OMD	ME	SCFA
برگ خشک	۳٤/۷٦	۰/۰۰٤	۲٦/٤٤	۳۷/۳٤	۵٤/۰٤	٦۵/۲٦	۲۱/۹٤	۳/۲۲	۰/۰۱۵
برگ شسته شده	۳۷/٤٦	۰/۰۰۲	۱۳/٤۸	۲۳/۲۱	۳۸/۱۲	٤۹/۷۸	۱۹/۵۱	۲/۹۲	۰/۰۱۰
P-value	۰/۰۱۸	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۱۸
SEM	۰/۰٦۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۷۷	۰/۰۸۵	۰/۱۰۰	۰/۱۲۰	۰/۰۳۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها، B: تولید گاز از بخش قابل تخمیر (میلی‌لیتر)، C: نرخ تولید گاز (میلی‌لیتر در ساعت)، ۱۲، ۲٤، ٤۸ و ۷۲ ساعت: میلی‌لیتر گاز تجمعی در زمان‌های ۱۲، ۲٤، ٤۸ و ۷۲ ساعت پس از انکوباسیون به ازای گرم ماده خشک، OMD: درصد قابلیت هضم ماده آلی، ME: انرژی قابل متابولیسم (مگاژول بر کیلوگرم ماده خشک)، SCFA: اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (میلی مول).

با افزایش دما و زمان فرآوری، افزایش معنی‌داری در تولید گاز از بخش قابل تخمیر و تولید گاز تجمعی در ۱۲، ۲٤ و ٤۸ ساعت پس از انکوباسیون مشاهده شد (P<۰/۰۱). به دلیل متفاوت بودن شدت اثرگذاری دما در زمان‌های مختلف، برهمکنش آنها نیز معنی‌دار بود (P<۰/۰۱). اثر برهمکنش دما و زمان بر نرخ تولید گاز

نیز معنی‌دار بود (P<۰/۰۱). دماهای بالا در مقابل زمان، الگوی مشخصی در ارتباط با نرخ تولید گاز مشاهده نگردید. روی هم رفته، بررسی داده‌ها نشان داد که زمان‌های طولانی‌تر در مقایسه با دما، افزایش بیشتر نرخ تولید گاز را موجب شدند.

اثر دما، زمان و اثر برهمکنش دما و زمان بر انرژی قابل متابولیسم، گوارش‌پذیری ماده آلی و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر معنی‌دار بود (P<۰/۰۱). با افزایش دما و زمان فرآوری، افزایش در این فراسنجه‌ها دیده شد. گوارش‌پذیری ماده آلی برگ خام ۲۱/۲۰ درصد بود و پس از فرآوری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱٦۰ و ۲٤۰ دقیقه به بیشینه مقدار خود (به ترتیب ۳۹/۹٦ و ٤۰/۱۵ درصد) رسید.

دلیل اصلی کاهش تولید گاز برگ شسته شده در ۱۲ ساعت آغازین انکوباسیون نسبت به برگ خام را می‌توان به حذف بخشی از قندهای محلول و عناصر نسبت داد. نمونه‌های فرآوری شده افزایش قابل توجهی در تولید گاز ۱۲ ساعت اولیه انکوباسیون نسبت به برگ خام وشسته شده داشتند. از آنجا که در آزمایش کنونی توده فرآوری شده با آب شسته نشد و با دمیدن دی‌اکسید کربن و متعادل کردن pH آهک اضافی رسوب داده شد، مواد محلول کمتری هدر رفته‌است. از سوی دیگر با افزایش زمان و دمای فرآوری به علت حذف گروهای استیل همی‌سلولز و هیدرولیز همی‌سلولز، افزایش تولید گاز در ابتدای انکوباسیون دور از انتظار نیست (کاسترو۱۹۹۰). نتایج آزمایش کنونی با یافته‌های کاسترو و همکاران (۱۹۹٤) که افزایش تولید گاز و نرخ تولید گاز در ساعت اولیه انکوباسیون را با افزایش دما و زمان فرآوری با بخار نشان دادند، همخوانی دارند.

افزایش پتانسیل تولید گاز خوراک‌های فیبری به علت افزایش تولید گاز در زمان‌های پایانی انکوباسیون، در دیگر پژوهش‌ها نیز نشان داده شده است (چامیا وادی و همکارن ۲۰۰٦). پتانسیل تولید گاز در فرآوری پیت نیشکر با بخار آب از ۸۸/٦ به ۱۰۳/۵ میلی‌لیتر در ساعت رسید (محمدآبادی و همکاران ۱۳۹۱). کریمی و همکاران (۲۰۰۸) نیز افزایش توانایی تولید گاز برگ خرمای فرآوری شده با بخار آب تحت فشار را گزارش کردند. دما و زمان در حضور آهک سبب حذف لیگنین، گروهای استیل همی‌سلولز و هیدرولیز همی‌سلولز می‌شود که بهره‌وری استفاده از سلولز را نیز افزایش می‌دهد (متیو و همکاران ۲۰۱۱). همه این عوامل با افزایش گوارش‌پذیری برگ فرآوری‌شده می‌توانند پتانسیل تولید گاز را افزایش دهند. درجه استیلاسیون همی‌سلولز عاملی اثر گذار بر راندمان هیدرولیز آنزیمی است زیرا گروه‌های استیل به ماتریکس همی‌سلولز چسبیده و اثر بازدارندگی بر تجزیه این پلی‌ساکارید دارند (چانگ و هولتزاپل ۲۰۰۰). حذف گروهای استیل همی‌سلولز را در دامنه‌های گوناگونی از زمان و دما در فرآوری با آهک گزارش شده است (وانگ و همکاران ۲۰۰٤). اگرچه بالاترین نرخ تولید گاز در بیشترین دمای فرآوری دیده شد و در این دما، نرخ تولید گاز در زمان‌های ۱٦۰ و ۲٤۰ دقیقه بیشترین بود اما روند ثابتی در این شاخص مشاهده نشد. ماهیت فیبری برگ خرمای خام، زمان طولانی برای تجزیه شدن نیاز دارد که در ۱۲ ساعت ابتدای انکوباسیون تولید گاز پایین است و سبب می‌شود، نرخ ثابت تولید گاز برگ خام کاهش یابد. در آزمایش محمد آبادی و همکاران (۱۳۹۱) ثابت تولید گاز پیت فرآوری شده با فشار بخار نسبت به پیت خام، افزایش ۲۵ درصدی نشان داد، درحالی که در پژوهش کنونی ثابت تولید گاز در تیمار ۱۰۰ درجه‌سانتی‌گراد و ۱٦۰ دقیقه نسبت به برگ خام ۲۰۰ درصد افزایش یافت. دلیل احتمالی این افزایش چشمگیر، هیدرولیز همی‌سلولز و آزاد شدن قندهای آن است که توانسته در ساعات اولیه انکوباسیون نیز گاز بالایی تولید کند. هم‌چنین، به نظر می‌رسد افزایش بهره‌وری استفاده از سلولز به علت حذف لیگنین، ثبات مطلوب تولید گاز در ساعت‌های بعدی انکوباسیون را نیز موجب شده باشد. در بررسی هیدرولیز آنزیمی کاغذ

روزنامه برای تولید الکل که از فرآوری مرطوب اکسیداتیو با آهک در دمای ۱۲۰ درجه‌سانتی‌گراد، زمان ۱۶۰ دقیقه و فشار ۷/۱ بار اکسیژن استفاده شده بود، بازده قند احیاء با استفاده از ۵ واحد سلولاز به ازای هرگرم توده زنده، از ۲۴۰ به ۵۵۰ میلی‌گرم اکی‌والان گلوکز به ازای هر گرم توده افزایش یافت (چانگ و همکاران ۲۰۰۱)؛ به عبارتی درصد تولید قند محلول کاغذ روزنامه فرآوری شده، ۱۳۰ درصد نسبت به کاغذ روزنامه خام، افزایش یافت که می‌تواند افزایش ثابت نرخ تولید گاز نمونه‌های فرآوری شده را توجیه کند.

فاکتور جزءبندی (PF)، نسبت تجزیه واقعی سوبسترا به حجم گاز تولیدی است و نمایانگر تغییر در بازدهی پروتئین میکروبی می‌باشد (بلومل و همکاران ۱۹۹۷). دما و زمان فرآوری تأثیر معنی‌داری بر فاکتور جزءبندی داشت (P<۰/۰۱) ولی برهمکنش آنها این شاخص را تحت تأثیر قرار نداد (جدول۷). در یک دمای ثابت با افزایش زمان، روند فاکتور جزءبندی روبه کاهش بود. از دلایل احتمالی کاهش فاکتور جزءبندی با افزایش دما و زمان فرآوری می‌توان به افزایش حجم گاز تجمعی با افزایش دما و زمان فرآوری اشاره کرد. مقادیر بالای فاکتورجزءبندی نشان دهنده آن است که بخش زیادی از ماده آلی حقیقی گوارش‌پذیر برای تولید پروتئین میکروبی مورد استفاده قرار گرفته است (جاسکسون ۲۰۱۰). تولید گاز در منابع فیبری بیشتر به صورت متان است و نشان داده شده است که با افزایش میزان متان، فاکتور جزءبندی کاهش می‌یابد (بلومل و همکاران ۱۹۹۷). در پژوهش کنونی نیز نمونه‌های دارای بیشترین تولید گاز، کمترین میزان فاکتور جزءبندی را داشتند.

گوارش پذیری ماده آلی وابستگی زیادی به مقدار تولید گاز دارد. در نمونه‌های دارای تولید گاز بیشتر، گوارش-پذیری ماده آلی نیز بالاتر بود و همین روند برای انرژی قابل متابولیسم و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر نیز دیده شد. انرژی قابل متابولیسم برگ خشک نزدیک به ۳/۲ مگاژول در هر کیلوگرم ماده خشک بود که در نمونه فرآوری شده در ۱۰۰ درجه‌سانتی گراد و زمان ۲۴۰ دقیقه، به ۵/۵ مگاژول رسید. گاندی و همکاران (۱۹۹۷) گوارش‌پذیری شکمبه‌ای نمونه‌های فرآوری شده چندین پسماند کشاورزی را با آهک در دمای محیط و زمان طولانی بررسی کردند. تراکم ۱۰ گرم آهک به ازای هر ۱۰۰ گرم توده آلی خشک در دمای ۱۰۰ درجه‌سانتی‌گراد برای یک تا دو ساعت در نظر گرفته شد. گوارش‌پذیری باگاس نیشکر از ۳۰/۸ به ۵۲/۷ درصد و کاه و کلش تنباکو از ۳۴/۴ به ۵۷/۹ درصد رسید. این پژوهش نشان داد که فرآوری با آهک، می‌تواند گوارش‌پذیری این مواد را در شکمبه به دو برابر افزایش دهد. برهمکنش دما و زمان بر pH پایان انکوباسیون معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). با افزایش دما و زمان فرآوری، pH کاهش یافت. داده‌های pH محیط کشت (جدول۷) یافته‌های تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیر را تایید می‌کنند؛ نمونه‌هایی که اسیدهای چرب کوتاه زنجیر بیشتری تولید کردند، pH کمتری داشتند. این یافته‌ها، با یافته‌های منک و استینگاس (۱۹۸۸) و لیو و همکاران (۲۰۰۱) هماهنگی دارند.

جدول ۶- اثر فرآوری اکسیداتیو برگ خرما با آهک در شرایط مختلف بر پتانسیل و نرخ تولید گاز و تولید گاز تجمعی در زمان‌های مختلف پس از آغاز انکوباسیون

تیمار	دما*	زمان*	B	C	۱۲ ساعت	۲٤ ساعت	٤۸ ساعت	۷۲ ساعت
۱	٤۰	۸۰	۷۹/٦۰^{d}	۰/۰۰۸۷^{ab}	۲۷/۸۲^{f}	٦۹/۹۳^{f}	۸۷/۷۷^{c}	۱۱۹/۹۳^{h}
۲	٤۰	۱٦۰	۱۱٦/۵۲^{b}	۰/۰۰٦۰^{cd}	۳۰/۵٦^{def}	۸٤/٤۵^{de}	۹٤/٤۳^{c}	۱۳۱/٤۵^{efg}
۳	٤۰	۲٤۰	۱۱۷/٦۷^{b}	۰/۰۰۸۰^{b}	٤۱/۰٤^{bc}	۹۳/۱۰^{cd}	۹۹/٤٦^{c}	۱٤۰/۱۰^{e}
٤	۸۰	۸۰	۸۹/۹۳^{c}	۰/۰۰۷۷^{bc}	۲۹/۵۲^{ef}	۷۷/۲٤^{ef}	۸۹/٤۳^{c}	۱۲۵/٦۹^{f}
۵	۸۰	۱٦۰	۱۱۵/۹۸^{b}	۰/۰۰٦۰^{d}	۳٦/٦۵^{bcd}	۹۸/٦۸^{c}	۹۰/٤۰^{c}	۱٤۷/۱۲^{de}
٦	۸۰	۲٤۰	۹٦/۲۳^{c}	۰/۰۰۹۷^{a}	٤۲/۳۷^{b}	۱۰۸/٦۸^{b}	۱۱۵/۵۷^{b}	۱٦۸/٦۸^{bc}
۷	۱۰۰	۸۰	۱۱٦/۵۲^{b}	۰/۰۰٦۰^{cd}	۳٤/۵۹^{cde}	۹٤/٤٤^{b}	۱۱۳/٦۷^{b}	۱۵٤/٤٤^{cd}
۸	۱۰۰	۱٦۰	۱۲۲/۱۸^{ab}	۰/۰۱۰۳^{a}	۵۲/٤۱^{a}	۱۱۷/۳۸^{a}	۱٤۷/۵۳^{a}	۱۹۱/۵٦^{a}
۹	۱۰۰	۲٤۰	۱۲۵/۹۵^{a}	۰/۰۰۹۷^{ab}	۵۰/۳۱^{a}	۱۱۹/۷۲^{a}	۱٤۸/۵۷^{a}	۱۸۹/٤۸^{a}
SEM			۳/۲۱	۰/۰۰۰٦	۰/۷۰	۳/۹۲	۱/۰٤	۵/۷۳
اثر زمان			۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
اثر دما			۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
برهمکنش دما و زمان			۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰٤	۰/۰٤۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱

* دما: درجه‌سانتی‌گراد و زمان به دقیقه، SEM : خطای استاندارد میانگین‌ها، B: تولید گاز از بخش قابل تخمیر (میلی‌لیتر)، C: نرخ تولید گاز (میلی‌لیتر در ساعت). ۱۲، ۲٤، ٤۸ و ۷۲ ساعت: میلی‌لیتر گاز تجمعی در زمان‌های ۱۲، ۲٤، ٤۸ و ۷۲ ساعت پس از انکوباسیون به ازای گرم ماده خشک، در هر ستون میانگین‌های دارای بندواژه (های) همانند، تفاوت آماری معنی‌داری ندارند (P>۰/۰۵).

جدول ۷- اثر فرآوری اکسیداتیو با آهک در شرایط مختلف بر برخی فرآسنجه‌های تولید گاز برگ خرما

تیمار	دما*	زمان*	pH	PF	ME	OMD	SCFA
۱	۴۰	۸۰	۷/۱۱^{a}	۶/۲۰^{a}	۴/۱۶^{f}	۲۸/۳۹^{e}	۱/۵۴^{e}
۲	۴۰	۱۶۰	۶/۹۱^{b}	۵/۹۷^{ab}	۴/۵۷^{de}	۳۱/۰۷^{d}	۱/۸۸^{d}
۳	۴۰	۲۴۰	۶/۸۸^{bc}	۵/۰۴^{de}	۴/۸۱^{cd}	۳۲/۶۴^{c}	۲/۰۸^{c}
۴	۸۰	۸۰	۶/۸۳^{bcd}	۵/۶۴^{bc}	۴/۳۷^{ef}	۲۹/۷۶^{de}	۱/۷۲^{de}
۵	۸۰	۱۶۰	۶/۷۲^{d}	۵/۵۶^{bcd}	۴/۹۵^{c}	۳۳/۵۸^{c}	۲/۱۹^{c}
۶	۸۰	۲۴۰	۶/۵۵^{e}	۴/۸۱^{ef}	۵/۲۳^{b}	۳۵/۳۶^{b}	۲/۴۱^{b}
۷	۱۰۰	۸۰	۶/۷۴^{cd}	۵/۲۳^{cde}	۴/۸۴^{c}	۳۲/۸۴^{c}	۲/۱۰^{c}
۸	۱۰۰	۱۶۰	۶/۴۲^{e}	۵/۰۰^{e}	۵/۴۷^{a}	۳۹/۹۶^{a}	۲/۶۱^{a}
۹	۱۰۰	۲۴۰	۶/۵۳^{e}	۴/۳۹^{f}	۵/۵۰^{a}	۴۰/۱۵^{a}	۲/۶۴^{a}
SEM			۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۵۴	۰/۰۶
اثر زمان			۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
اثر دما			۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
برهمکنش دما و زمان			۰/۰۰۳	۰/۴۹	۰/۰۴۰	۰/۰۰۱	۰/۰۴۰

* دما: درجه سانتی‌گراد و زمان به دقیقه، SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها، pH: pH پایان انکوباسیون، PF : پارتیشنینگ فاکتور(نسبت مواد آلی هضم شده به میلی‌لیتر گاز تولید شده در ۲٤ ساعت بعد از انکوباسیون)، ME: انرژی متابولیسمی (مگاژول بر کیلوگرم ماده خشک)، OMD: درصد قابلیت هضم ماده آلی، SCFA: اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (میلی مول). در هر ستون میانگین‌های دارای بندواژه (های) همانند، تفاوت آماری معنی‌داری ندارند (P>۰/۰۵).

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌ها نشان دادند که افزایش دما و زمان فرآوری، کاهش محتوای لیگنین برگ خرما را به دنبال داشت. با اینحال افزایش در هدر روی ماده خشک نیز با افزایش شدت فرآوری مشاهده گردید. فرآوری اکسیداتیو همراه با گرمادهی ارزش تغذیه‌ای برگ خشک خرما از جمله انرژی قابل متابولیسم و قابلیت هضم ماده آلی را افزایش داد. فرآوری برگ خرما در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱٦۰ دقیقه، ارزش تغذیه‌ای آن را بطور قابل توجهی بهبود بخشید. با توجه به مزایای فرآوری با آهک و نیز محدود بودن اطلاعات در رابطه با فرآوری اکسیداتیو، ضروری است تا پژوهش‌های بیشتری در این رابطه بویژه با طراحی راکتورهای نیمه‌صنعتی و ارزیابی محصول فرآوری شده در شرایط مزرعه‌ای روی دام‌های زنده انجام شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان و دانشگاه شیراز به سبب فراهم ساختن امکانات تحقیق، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

احمدی ف، رجائی‌راد ع، ضمیری م، ۱۳۹۱. راکتوره دوجداره پیش‌فرآوری کننده محصولات جانبی کشاورزی به منظور تولید خوراک دام و پرندگان اهلی و سوخت زیستی اتانول. سازمان ثبت اختراع. ۷٤٤۳۲.

توکلی م، زاهدی‌فر م، کرکودی ک، فرودی ف، ۱۳۸۷. اثر دما، رطوبت و مدت زمان عمل آوری با بخار آب تحت فشار بر ترکیبات شیمیایی، تجزیه پذیری و تخمیر پذیری سرشاخه خرما. فصلنامه دانش کشاورزی ایران. جلد پنجم، شماره ٤. صفحه‌های ۳۵۷ تا ۳٦۷.

محمدآبادی ط، چاجی م، بوجارپور م، ۱۳۹۱. اثر عمل آوری با فشار بخار بر فراسنجه‌های تولید گاز با استفاده از میکروارگانیسم‌های جداسازی شده شکمبه. نشریه پژوهش‌های علوم دامی ایران. جلد چهارم، شماره ۳. صفحه‌های ۲٤۰ تا ۲٤٦.

Alvira P, Tomás Pejó E, Ballesteros M and Negro MJ, 2010. Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. Bioresource Technology 101: 4851-4861.

Bengaly K, Liang JB, Jelan ZA, Ho YW, Ong and HK, 2004. Optimization of steam treatment as a method to increase in situ degradability of Oil Palm (Elaeis guineesis) frond in Malaysia. Livestock Research for Rural Development 16 (3): 1-8.

Binod P, Sindhu R, Singhani RR, Vikram S, Devi L, Nagalakshmi S, Kurien N, Sukumaran RK and Pandey A, 2010. Bioethanol production from rice straw: An Overview. Bioresource Technology 101: 4767-4774.

Blümmel M, Makkar HPS, Chisanga G, Mtimuni J and Becker K, 1997. The prediction of dry matter intake of temperate and tropical roughages from in vitro digestibility/gas-production data, and the dry matter intake and in vitro digestibility of African roughages in relation to ruminant live weight gain. Animal Feed Science and Technology 69: 131–141.

Castro FB and Machado PF, 1990. Feeding value of steam sugar cane bagasse in ruminant ration. In: Preston, TR, UTA, Sansoucy, R., (Eds.). Lives Rese Rur Develop, vol. 2. N. 1. Fundacion CIPAV Publishers, February, Colombia.

Chang VS and Holtzapple MT, 2000. Fundamental factors affecting biomass enzymatic reactivity. Applied Biochemistry and Biotechnology 84: 5-37.

Chang VS, Nagwani M and Holtzapple MT, 1998. Lime pretreatment of crop residues: bagasse and wheat straw. Applied Biochemistry and Biotechnology 74: 135-159.

Chang VS, Nagwani M, Kim CH and Holtzapple MT, 2001. Oxidative lime pretreatment of high-lignin biomass. Applied Biochemistry and Biotechnology 94:1-28.

Falls M, Sierra-Ramirez R and Holtzapple MT, 2011. Oxidative lime pretreatment of Dacotah switchgrass. Applied Biochemistry and Biotechnology 165: 243–259.

Gandi J, Holtzapple MT, Ferrer A, Byers FM, Turner ND, Nagwani M and Chang S, 1997. Lime treatment of agricultural residues to improve rumen digestibility. Animal Feed Science and Technology 68: 195-211.

Granda C.B, 2004. Sugarcane Juice Extraction and Preservation, and Long-Term Lime Pretreatment of Bagasse. Ph.D. dissertation. Texas A&M University, College Station, TX. Bioresource Technology 96: 673-686.

Horton GMJ, Pate F and, Pitman W D, 1991. The effect of steam – pressure treatment, pelleting and ammoniation on the feeding value of sugarcane bagasse for cattle. Canadian Journal of Animal Science 71: 79-86.

Jackson W, Krishnamoorthy U, Robinson PH and Fadel J G, 2010. Effect of changing partitioning factor (PF) and in vitro rate of gas production (k) of diets on intake and digestibility, microbial N production, as well as milk production and composition, of lactating crossbred dairy cows. Animal Feed Science and Technology 160: 128–136.

Karimi N, Nikkhah A, Zahedifar M and Fazaeli H, Chamani M, 2008. Study of steam pressure and reaction time effect on chemical composition and degradability of palm date leaves. Pp 241. Proceedings of the British Society of Animal Science.

Kim S, Holtzapple and MT, 2005. Lime pretreatment and enzymatic hydrolysis of corn stover. Bioresource Technology 96: 1994-2006.

Kim TH and Lee, YY, 2006. Fractionation of corn stover by hot-water and aqueous ammonia treatment. Bioresource Technology 97: 224-232.

Kumar A, Singh, LK, Ghosh and S, 2009. Bioconversion of lignocellulosic fraction of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) hemicellulose acid hydrolysate to ethanol by Pichia stipitis. Bioresource Technology 100: 3293-3297.

Lee J, Charles C, 1969. Atomic Absorption Spectrophotometric and Ethylene diamine tetraacetate Titration Methods for Calcium and Magnesium Determinations1. Journal of Dairy Science 52: 121-124.

Liang Y, Siddaramu T, Yesuf J and Sarkany N, 2010. Fermentable sugar release from jatropha seed cakes following lime pretreatment and enzymatic hydrolysis. Bioresource Technology 101: 6417-642.4.

Liu JX, Susenbeth A and Sudekum KH, 2002. In vitro gas production measurements to evaluate interacions between untreated and chemicall treated rice straws, grass hay and mulberry. Journal of Animal Science 80: 517-524.

Mahdavi S, Kermanian H and Varshoei A, 2010. Comparison of mechanical properties of date palm fiber-polyethylene composite. BioResources 5: 2391-2403.

Makkar HPS, 2005. In vitro gas methods for evaluation of feeds containing phytochemicals. Animal Feed Science and Technology 123: 291-302.

Menke KH and Staingass H, 1988. Estimation of energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. Animal Research and Development 28: 7-55.

Mosier N, Wyman, C, Dale B, Elander R, Lee Y, Holtzapple MT and Ladisch M, 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. Bioresource Technology 96: 673-686.

Pascual J, Fernandez C, Diaz J, Garces C and Rubert-Aleman J, 2000. Voluntary intake and in vivo digestibility of different date-palm fractions by Murciano-Granadina (Capra hircus). Journal of Arid Environments 45: 183-189.

Rangnekar DV, Badve VC, Kharate ST, Sobale BN and Joshi AL, 1982. Effect of high pressure Steam treatment on chemical composition and digestibility in vivo of roughages. Animal Research and Development 7: 61-70.

Rydholm, S, 1967. Relationship of pulp and paper properties. International Publishers 1152-1166.

SAS, 2009. Statistical Analysis System (SAS), User's Guide, Rev. 04, SAS Institue, Cary, North Carolina, USA.

Shahidi F, 2005. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. 6th ed. John Wiley & Sons, Inc. 389-393.

Sierra Ramírez R, Garcia LA and Holtzapple MT, 2011. Selectivity and delignification kinetics for oxidative short term lime pretreatment of poplar wood, part I: Constant pressure. Biotechnology Progress 27: 976-985.

Swern D, Formo MW, Jungermann E, Norris FA and Sonntag NOV, 1979. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Volume 1. 4th edition. 136 -140, 144-149.

Tabak, J, 2009. Biofuels, Facts on File. New York, USA.

Takeuchi T, Suzuki M, 1964. The determination of sodium, potassium, magnesium, manganese and calcium in cement by atomic-absorption spectrophotometry. Talanta 11:1391-1397.

Tilley J and Terry R, 1963. A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. Grass and Forage Science 18: 104–111.

Van Soest P, Wine R and Moore L, 1966. Estimation of the true digestibility of forages by the in vitro digestion of cell walls. In the 10th International Grassland Congress, Helsinki, Finland.

Van Soest PJ, 2006. Rice straw, the role of silica and treatments to improve quality. Animal Feed Science and Technology 130: 137–171.

Wang Y, Spratling BM, ZoBell DR, Wiedmeier RD and McAllister TA, 2004. Effect of alkali pretreatment of wheat straw on the efficacy of exogenous fibrolytic enzymes. Journal of Animal Science 82: 198-208.

Xu J, Cheng JJ, Sharma Shivappa RR and Burns JC, 2010. Lime pretreatment of switchgrass at mild temperatures for ethanol production. Bioresource Technology 101: 2900-2903.

Yang B and Wyman CE, 2008. Pretreatment: the key to unlocking low cost cellulosic ethanol. Biofuels, Bioproducts and Biorefining 2: 26–40.

Effect of oxidative lime pretreatment in a processing reactor on *in vitro* digestibility of dried date palm leaves

A Rajaee Rad[1], M Sari[*2], MJ Zamiri[3], M Chaji[4] and S Salari[2]

Received: August 26, 2014 Accepted: October 17, 2015

[1] MSc Graduated Student, Department of Animal Science, Faculty of Animal Science and Food Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khouzestan, Khouzestan, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Animal Science, Faculty of Animal Science and Food Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khouzestan, Khouzestan, Iran
[3] Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
[4] Associate Professor, Department of Animal Science, Faculty of Animal Science and Food Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khouzestan, Khouzestan, Iran
[*]Corresponding author: Email: m.sari@ramin.ac.ir

Abstract

BACKGROUND: Oxidative lime pretreatment can be an effective method for treatment of lignocellulosic biomass in ruminant nutrition. **OBJECTIVES:** The aim of this experiment was to investigate effect of oxidative lime pretreatment on *in vitro* digestibility of dried date palm leaves. **METHODS:** A completely randomized experiment with a 3×3 factorial arrangement of treatments was conducted using 3 levels of temperature (40, 80, and 100 ºC) and 3 time periods (80, 160, and 240 minutes). Pretreatment of leaves was performed in a 2-walled reactor containing 600 ml water and under an oxygen pressure of 6.9 Bars. **RESULTS:** Increasing the processing time and temperature caused a significant decreased in lignin content from 13.3% in the unprocessed leaves to 3.6% in date palm leaves pretreated at 100 ºC for 240 min ($P<0.01$). Highest levels of cell wall (84.9%) and cell wall without hemicellulose (60.5%) in the processed samples observed in dried leaves pretreated at 40 ºC for 80 min. Gas production potential increased with increasing temperature and time of the processing. Organic matter digestibility was 21.9% in unprocessed leaves and 40.1% in the leaves processed for 240 min at 100 ºC. Oxidative lime pretreatment increased the metabolizable energy content and short chain fatty acid production of the leaves in the gas production experiment. **CONCLUSIONS:** The results showed that heating up during oxidative lime pretreatment increased the nutritive value of dried date palm leaves.

Key words: Date palm leaves, *In vitro* digestibility, Lime, Oxidative treatment