مقاله علمی پژوهشی/نشریه پژوهش‌های علوم دامی/ جلد ۲۹ شماره ۲/ سال۱۳۹۸/ صفحات ۱۰۳ تا ۱۱۵

اثر روش‌های عمل‌آوری فیزیکی و بیولوژیکی دانه ذرت بر تولید گاز و فراسنجه‌های تخمیری در شرایط برون‌تنی

حسین اصغر حسین زاده[۱]، فریبا فریور[۲*]، جواد بیات کوهسار[۲] و فرزاد قنبری[۲]

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/٤ تاریخ پذیرش: ۹۸/۳/۸

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس

[۲] استادیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس

[*]مسئول مکاتبه: Email: fariba_farivar@yahoo.com

چکیده

زمینه مطالعاتی: عمل‌آوری به روش‌های مختلف می‌تواند بر فراسنجه‌های تولید گاز و قابلیت هضم برون‌تنی تخمیری دانه ذرت تأثیر بگذارد. **هدف**: این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های عمل‌آوری فیزیکی و بیولوژیکی بر فراسنجه-های تولید گاز و قابلیت هضم برون‌تنی تخمیری دانه ذرت در قالب طرح کاملاً تصادفی با ٦ تیمار شامل: ۱) دانه ذرت بدون عمل‌آوری (شاهد)، ۲) دانه ذرت فلیک شده با بخار (به‌مدت ۳ تا ٥ دقیقه)، ۳) دانه ذرت فلیک شده+ مخمر (ساکارومایسس سرویزیه) (٤ درصد به نسبت ۱:۲)، ٤) دانه ذرت مایکروویو شده (باقدرت۸۵۰ وات و به مدت ۳ دقیقه)، ٥) دانه ذرت فلیک شده با مایکروویو و ٦) دانه ذرت فلیک شده+ مخمر + مایکروویو انجام شد. **روش‌کار**: مایع شکمبه از سه رأس گوسفند نژاد دالاق با میانگین وزنی ۲/٥ ± ٤٥ کیلوگرم قبل از وعده خوراک‌دهی، صبحگاهی جمع‌آوری و پس از صاف کردن با بزاق مصنوعی با نسبت ۱:۲ مخلوط و در داخل ویال‌ها ریخته و به‌مدت ۹٦ ساعت در داخل بن باری قرار داده شد. میزان تولید گاز نمونه‌ها در ساعات مختلف ثبت و نتایج توسط نرم‌افزار SAS پردازش گردید. **نتایج**: نتایج نشان داد که روش‌های عمل‌آوری تأثیر معنی‌داری بر پتانسیل تولید گاز داشتند. در بین عمل‌آوری‌ها، روش ترکیبی بیشترین تأثیر را بر قابلیت هضم ماده آلی (۸۸/۱۰ گرم بر کیلوگرم) داشت. تیمارهای عمل‌آوری شده با مایکروویو در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری قابلیت هضم برون‌تنی ماده خشک و ماده آلی را کاهش دادند. بالاترین مقدار تولید پروتئین میکروبی در تیمارهای عمل‌آوری شده به‌ترتیب مربوط به تیمار فلیک+مخمر، فلیک و مایکروویو بود (به-ترتیب: ۱۷۱/۷۳، ۱۷۰/۲۳ و ۱۷۰/۱۱ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) . **نتیجه‌گیری نهایی**: به نظر می‌رسد بر اساس داده-های حاصل از فراسنجه‌های تولید گاز تخمینی و قابلیت هضم، عمل‌آوری با مایکروویو تجزیه شکمبه‌ای دانه ذرت را کاهش داده است.

واژگان کلیدی: تولید گاز، دانه ذرت، عمل‌آوری، قابلیت هضم برون‌تنی، مایکروویو، مخمر ساکارومایسس سرویزیه

مقدمه

در تغذیه نشخوارکنندگان، قابلیت تخمیر دانه‌های غلات شاخص مهمی در شناخت ارزش تغذیه‌ای آن‌ها به شمار می‌رود، به‌طوری‌که می‌تواند بر مکان هضم نشاسته در دستگاه گوارش و تأمین پروتئین میکروبی اثر گذاشته و تأثیر مهمی بر محیط شکمبه داشته باشد. این امر از طریق اثر بر pH، تولید اسید چرب فرار و فرآیند تجزیه سلولز در شکمبه می‌تواند بر مصرف خوراک و تولید دام تأثیری بسزایی داشته باشد (هررا و همکاران ۱۹۷۷). قابلیت هضم دانه‌های غلات در شکمبه و

روده، متغیر است. نشاسته موجود در ذرت نسبت به دیگر دانه‌ها، در شکمبه به آرامی هضم شده و اگر در سطوح بالایی به حیوان خورانده شود، مقداری از نشاسته به روده کوچک منتقل شده و درآنجا هضم و به شکل گلوکز جذب می‌شود (مک‌دونالد ۲۰۰۱).

هدف از عمل‌آوری غلات بهینه نمودن فرایند تخمیر، تجزیه‌پذیری و هضم نشاسته در بخش‌های مختلف دستگاه گوارش، کاهش خطر ابتلا به اسیدوز شکمبه‌ای و افزایش میزان ورود غلات قابل تخمیر هضم نشده به بخش‌های انتهایی دستگاه گوارش است (لوندوویز و همکاران ۲۰۰۰). برای عمل‌آوری دانه غلات روش‌های مختلفی وجود دارد که ازجمله می‌توان روش‌های فیزیکی (مانند پلت کردن، برشته کردن، حرارت دادن، فلیک کردن)، شیمیایی (مانند تیمار با هیدروکسید سدیم، فرمالدئید، آمونیاک، اوره) و بیولوژیکی (مانند استفاده ازآنزیم‌های فیبرولایتیک) اشاره کرد. عمل‌آوری شیمیایی برای انسان و حیوان سمی هستند و در بسیاری از کشورها استفاده از آن‌ها ممنوع شده است (دهقان بنادکی و همکاران ۲۰۰۷)؛ لذا استفاده از آن تقریباً منسوخ‌شده است. عمل‌آوری بیولوژیکی نسبت به دیگر روش‌ها ارزش غذایی را به میزان بیشتر افزایش داده و سبب آلودگی کمتر زیست‌محیطی می‌شود. ضمن اینکه مقرون‌به‌صرفه هم می‌باشد (فضائلی ۱۳۸۸).

ارزیابی میزان مصرف خوراک و قابلیت هضم خوراک با روش استفاده از حیوان زنده بسیار وقت‌گیر، دشوار، پرهزینه، نیازمند مقدار زیاد خوراک و غیر مناسب جهت ارزیابی برای انواع زیاد خوراک می‌باشد. ارتباط نزدیک بین تخمیر شکمبه‌ای با تولید گاز از قبل گزارش‌شده است (گتاچیو و همکاران ۲۰۰۲). روش تولید گاز به خاطر سادگی، کمتر بودن عوامل ایجادکننده خطا، نیاز به تعداد کمتر نمونه و همچنین سرعت و تولید اطلاعات اضافی می‌تواند تکمیل‌کننده و جایگزین مناسبی برای روش *in vivo* باشد (گتاچیو و همکاران ۲۰۰۲). حجم گاز تولیدی که نشان‌دهنده تخمیر مواد خوراکی به اسیدهای چرب فرار است، می‌تواند برآوردی از قابلیت هضم ظاهری باشد و به‌طور دقیقی با مقدار و نسبت استات و بوتیرات نیز مرتبط می‌باشد (بلومل و ارسکف ۱۹۹۳)؛ بنابراین نسبت اسیدهای چرب فرار به حجم گاز تولیدی تأثیر می‌گذارد، زیرا فقط تخمیر مواد خوراکی به استات و بوتیرات است که تولید گازکربنیک و درنتیجه گاز متان می‌کند و بخش اعظم حجم گاز تولیدی را این گازها شامل می‌شوند که به‌طور مستقیم از تخمیر حاصل می‌شوند. تخمیر سریع مواد احتمالاً موجب تولید نسبت بیشتری از پروپیونات می‌شود و می‌تواند به ازای هر واحد اسید چرب فرار تولیدشده گاز کمتری تولید شود (بشارتی و همکاران ۲۰۰۸).

اخیراً، از امواج مایکروویو به‌عنوان یک روش فیزیکی برای عمل‌آوری دانه غلات استفاده‌شده است. امواج مایکروویو انرژی غیر یونیزه‌ای می‌باشند که به‌واسطه نفوذ در مواد و تغییرات سریع در زمینه الکترومغناطیسی در فرکانس بالا درون مواد می‌گردند (کاسووا و همکاران ۲۰۰۲). به نظر می‌رسد پرتوتابی مایکروویو می‌تواند در عمل‌آوری غلات، نقش بسزایی ایفا نماید (لوندوویز و همکاران ۲۰۰۰)، چون از یک‌سو فرآوری یکنواخت و قابل‌کنترلی را ارائه می‌دهد و از سویی دیگر در مقایسه با روش‌های متداول عمل‌آوری غلات، موجب صرفه‌جویی در وقت نیز می‌شود (فخوری و راماسامی ۱۹۹۳).

کروکا و واگنر (۱۹۷۵) با پرتوتابی دانه‌ی سورگوم با استفاده از امواج مایکروویو بهبود راندمان خوراک، افزایش وزن و مصرف خوراک را در گاوهای پرواری نشان دادند. وانگ و همکاران (۲۰۰۰) مشاهده کردند که مایکروویو کردن دانه کانولای پرچربی (۱/۵ دقیقه) منجر به کاهش تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین دانه‌ی کانولا در شکمبه و افزایش تجزیه‌ی آن در روده شد.

از روش‌های عمل‌آوری بیولوژیکی متداول می‌توان به عمل‌آوری با انواع مخمرها اشاره کرد. مخمرها دسته‌ای

از یوکاریوت‌های تک‌سلولی و جز پروبیوتیک‌ها می‌باشد. پروبیوتیک‌ها ارگانیسم‌هایی زنده هستند که باعث ایجاد تعادل در جمعیت میکروبی دستگاه گوارش می‌شوند، معروف‌ترین آن‌ها ساکارومایسس سرویزیه (*Saccharomyces cerevisiae*) نام دارد که به مخمر نان نیز معروف است (توسلی ۲۰۱۱). دادور و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که عمل‌آوری تفاله پرتقال با مخمر ساکارومایسس سرویزیه هیچ تأثیر معنی‌داری بر قابلیت هضم ماده خشک، ماده آلی و ماده آلی قابل‌هضم در ماده خشک نداشت. قارچ‌ها و مخمرها بیشتر مواد سهل‌الهضم و لیگنوسلولزی موجود را توسط آنزیم‌های خارج سلولی تجزیه کرده و مورد مصرف قرار می‌دهند و به دنبال آن انرژی، پروتئین و دی‌اکسید کربن تولید می‌کنند (شجاع ساداتی و همکاران ۱۹۹۹). همچنین انرژی قابل متابولیسم نیز با عمل‌آوری مخمر تغییر معنی‌داری نکرد.

به‌هرحال، هرچند تابه‌حال مطالعات زیادی در خصوص عمل‌آوری دانه غلات به‌روش‌های مختلف انجام شده است، بااین‌حال مطالعات اندکی در خصوص مقایسه روش‌های مختلف عمل‌آوری بر ارزش تغذیه‌ای دانه ذرت انجام شده است. لذا، هدف از انجام این مطالعه مقایسه تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری بر فراسنجه‌های تولید گاز و قابلیت هضم برون‌تنی تخمیری دانه ذرت بود.

مواد و روش‌ها

مراحل مختلف این پژوهش در آزمایشگاه تغذیه دام و مزرعه آموزشی – پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل ۱) دانه ذرت بدون عمل‌آوری (شاهد)، ۲) دانه ذرت فلیک شده با بخار (به‌مدت ۳ تا ۵ دقیقه)، ۳) دانه ذرت فلیک شده+ مخمر (ساکارومایسس سرویزیه) (٤ درصد به نسبت ۱:۲)، ٤) دانه ذرت مایکروویو شده (باقدرت۸۵۰ وات و به مدت ۳ دقیقه)، ۵) دانه ذرت فلیک شده (به‌مدت ۳ تا ۵ دقیقه) با مایکروویو (باقدرت۸۵۰ وات و به مدت ۳ دقیقه) و ٦) دانه ذرت فلیک شده+ مخمر (ساکارومایسس سرویزیه)+ مایکروویو (باقدرت۸۵۰ وات و به مدت ۳ دقیقه) بودند.

به‌منظور آماده‌سازی شرایط بهینه رشد مخمر ساکارومایسس سرویزیه، تیمارهای آزمایشی به‌مدت ٢٤ ساعت و ٤ درصد به نسبت ۱ (نمونه) به ۲ (آب) با آب مخلوط شدند تا رطوبت نسبی معادل ۸۵ درصد برای رشد مخمر فراهم گردد. درنهایت نمونه‌ها در دمای ۳۵ درجه سیلسیوس در آون قرار داده شدند تا مخمر رشد کند. بعد از عمل‌آوری، نمونه‌ها در آون خشک و ماده خشک آن‌ها تعیین گردید. بعد از آسیاب کردن نمونه‌های عمل‌آوری شده و عمل‌آوری نشده درصد قابلیت هضم و میزان تولید گاز در شرایط آزمایشگاهی تعیین گردید.

تولید گاز در شرایط آزمایشگاهی

برای انجام آزمایش تولید گاز از شیرابه شکمبه سه رأس گوسفند دارای فیستولای شکمبه‌ای استفاده شد. دام‌ها در سطح نگهداری در دو وعده غذایی تغذیه شدند. بزاق مصنوعی مطابق روش منک و همکاران (۱۹۷۹) تهیه و با شیرابه شکمبه با نسبت ۲:۱ مخلوط شد. برای هر نمونه ۳ تکرار در نظر گرفته شد. تولید گاز در زمان‌های ۲، ٤، ٦، ۸، ۱۲، ٢٤، ٣٦، ٤٨، ۷۲ و ۹٦ ساعت انکوباسیون توسط دستگاه مبدل فشارسنج ثبت شد. حجم خالص گاز با کاستن میانگین گاز تولیدی ویال‌های بلانک از ویال‌های دارای نمونه حاصل شد. برآورد فراسنجه‌های تولید گاز با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. بدین منظور از رابطه غیرخطی ارسکوف و مک‌دونالد (۱۹۷۹) استفاده شد (رابطه ۱):

$$y= b (۱ - e^{-ct}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه: y= گاز تولیدشده در زمان t (میلی‌لیتر به ازاء گرم ماده خشک)، b= تولید گاز از بخش نامحلول قابل تخمیر (میلی‌لیتر)، e= عدد نپر. c= ثابت نرخ تولید

گاز برای بخش b (میلی‌لیتر در ساعت) و t= زمان کشت می‌باشد.

مقادیر انرژی قابل متابولیسم، قابلیت هضم ماده آلی و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر نمونه‌ها به‌ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۲، ۳ و ٤ برآورد شدند (مکار ۲۰۰۵).

رابطه (۲) $ME(Mj/kg\ MD)= 2.20+0/136GP+0.057CP+0.00029CF$

رابطه (۳) $OMD\ (g/kg\ DM)= 14.88+0.065ASH+0.045CP+0.889GP$

رابطه (٤) $SCFA\ (mmol/mg\ DM) = 0.0222\ GP + 0.00425$

در این روابط: GP= میزان تولید گاز خالص بعد از ۲٤ ساعت (میلی‌لیتر به ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)، CP= پروتئین خام (درصد)، CF= الیاف خام (درصد) و Ash= میزان خاکستر (درصد)، می‌باشند.

اندازه‌گیری قابلیت‌هضم در شرایط برون‌تنی

برای اندازه‌گیری میزان قابلیت هضم ظاهری از روش آزمایشگاهی (کشت بسته) استفاده شد (منک و همکاران ۱۹۷۹). محلول‌های موردنیاز و بزاق مصنوعی مانند روش تولید گاز تهیه شدند. شیرابه شکمبه نیز مانند روش تولید گاز با نسبت۲:۱ مایع شکمبه به محلول بزاق مخلوط شد. pH مخلوط بافر و مایع شکمبه توسط دستگاه pH متر الکترونیکی کنترل و به ٦/٨ رسانده شد. برای هر نمونه ۳ تکرار قرار داده و بعد از قرار دادن گازکربنیک به مخلوط بزاق مصنوعی جهت ایجاد شرایط بی‌هوازی، مقدار ۵۰ میلی‌لیتر از مخلوط را به ویال‌های شیشه‌ای که حاوی ۵۰۰ میلی‌گرم ماده خشک نمونه‌ها بود ریخته و در بن ماری در دمای ۳۹ درجه سلسیوس قرار داده شد. جهت کاهش خطای کار گاز تولیدی ویال‌ها به‌طور مداوم خالی می‌شد تا گاز تولیدی بر میزان قابلیت هضم تأثیر نگذارد. بعد از گذشت هر یک از زمان‌های موردنظر، ویال‌ها از بن ماری خارج و جهت غیرفعال شدن فعالیت میکروبی در آب سرد قرار داده شدند و pH نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. پس از صاف نمودن محتویات کشت در زمان‌های ذکرشده، نمونه‌های حاصل به‌مدت ٤٨ ساعت در آون ٦٠ درجه سانتی‌گراد خشک‌شده و درصد قابلیت‌هضم ماده خشک آن‌ها محاسبه شد. برای محاسبه قابلیت-هضم ماده آلی، ماده خشک حاصل در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به‌مدت ٤ ساعت قرار گرفت و خاکستر و قابلیت‌هضم ماده آلی محاسبه شد. بازده تولید گاز (GP_{24}) به‌صورت حجم گاز تولیدشده پس از ۲٤ ساعت انکوباسیون تقسیم بر مقدار ماده تجزیه‌شده واقعی (گرم) محاسبه شد (گتاچیو و همکاران ۲۰۰۲). محاسبه توده میکروبی تولیدشده با استفاده از معادله پیشنهادی بلومل و همکاران (۱۹۹۷) انجام شد:

رابطه (۵) $MB\ (میلی‌گرم) = GP \times (PF - 2.2)$

در این رابطه MB: تولید توده میکروبی، GP: میزان تولید گاز بعد از ۲٤ ساعت انکوباسیون (میلی‌لیتر). PF: عامل تفکیک (میلی‌گرم در میلی‌لیتر) می‌باشد.

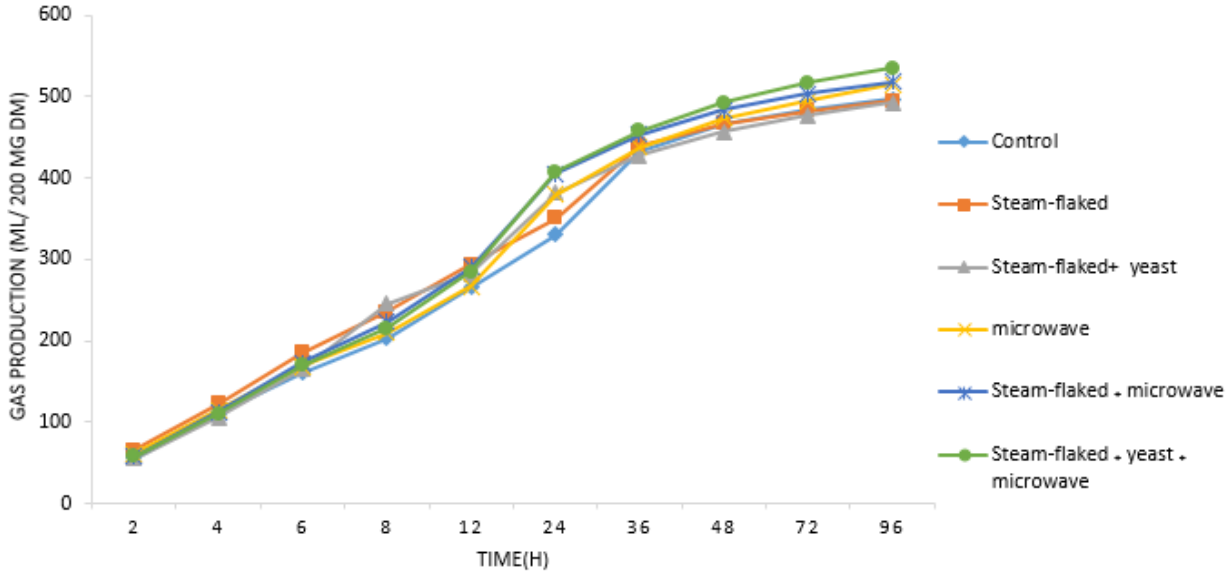
PF (عامل تفکیک) بنا به تعریف نسبت میلی‌گرم ماده آلی حقیقی هضم شده بر میلی‌لیتر حجم گاز خالص تولیدی می‌باشد (سلطانی و همکاران ۲۰۱۸). بازده مقدار تولید میکروبی با تقسیم توده میکروب تولیدشده بر مقدار ماده آلی حقیقی قابل تخمیر در پایان زمان انکوباسیون (۲٤ ساعت) محاسبه گردید.

تجزیه داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) و رویه GLM انجام شد و میانگین تیمارها با آزمون دانکن در سطح پنج درصد مقایسه شد.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به روند تولید گاز در ساعات مختلف انکوباسیون در شکل ۱ نشان داده‌شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در ۲ ساعت اول انکوباسیون، فلیک به‌تنهایی با ٦۵ میلی‌لیتر گاز به ازای هر گرم ماده خشک بیشترین و دانه ذرت بدون عمل‌آوری (شاهد) با تولید

۵٦/٦٦ میلی‌لیتر گاز به ازای هر گرم ماده خشک کمترین میزان تولید گاز حاصله از تخمیر را دارا بودند که این می‌تواند به دلیل دیر تخمیر بودن نشاسته دانه ذرت باشد که برای تخمیر به زمان بیشتری نیاز دارد به‌طوری‌که در ساعات انتهایی انکوباسیون گاز بیشتری تولید کرده است. میزان گاز تولیدی در ٤، ٦، ٨ و ١٢ ساعت پس از انکوباسیون در تیمار فلیک به‌تنهایی بیشترین گاز تولیدی را به خود اختصاص داد (به‌ترتیب ١٢٣/٣٣، ١٨٥، ٢٣٥ و ٢٩٣/٣٣ میلی‌لیتر). در ساعت ٢٤ انکوباسیون تیمار ترکیبی (فلیک +مخمر+مایکروویو) با ٤٠٦/٦٦ میلی‌لیتر گاز به ازای هر گرم ماده خشک بیشترین گاز تولیدی را دارا بود. دانه ذرت بدون عمل‌آوری کمترین میزان گاز تولید را بین تیمارهای مورد آزمایش به خود اختصاص داد. از ساعت ٢٤ انکوباسیون به بعد میزان گاز تولیدی تیمارهای ترکیبی (فلیک +مخمر+مایکروویو) و مخمر+مایکروویو نسبت به دیگر تیمارها بیشتر است و دارای رشد قابل‌ملاحظه‌ای می‌باشند و توانایی تولید گاز بیشتر در ساعات آخر انکوباسیون را دارند. لانزاس و همکاران (٢٠٠٦) روند تولید گاز دردانه‌های غلات را بررسی کرده و میزان گاز تولیدی در ٤٨ ساعت انکوباسیون در شرایط آزمایشگاهی را برای دانه ذرت ٣٣٠ میلی‌لیتر گاز به ازای هر گرم ماده خشک گزارش کردند که کمتر از مقدار مشاهده‌شده در این آزمایش بود. گتاچو و همکاران (٢٠٠٢) میزان گاز تولیدی دانه ذرت را ٣٧٣/٥ میلی‌لیتر گاز در هر گرم ماده خشک بعد از ٢٤ ساعت انکوباسیون گزارش‌شده کردند. درحالی‌که در تحقیق حاضر میزان گاز تولیدی در ٢٤ ساعت انکوباسیون برای دانه ذرت ٣٧٨/٣٣ میلی‌لیتر گاز در هر گرم ماده خشک می‌باشد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تولید گاز، قابلیت‌هضم ماده خشک و قابلیت‌هضم ماده آلی وجود دارد؛ بنابراین تفاوت در بین میانگین‌های تولید گاز می‌تواند مربوط به ماهیت مواد غذایی باشد (دات و سینگ ١٩٩٥). گاز تولیدی تحت تأثیر هیچ عامل دیگری به‌جز ترکیبات شیمیایی و خصوصیات فیزیکی مواد غذایی قرار نمی‌گیرد اما تغییر در فعالیت میکروبی مایع شکمبه ممکن است بر نرخ تخمیر اثر بگذارد (منک و استنگاس ١٩٧٩). ازجمله عوامل تأثیرگذار در نتایج تولید گاز می‌توان زمان برداشت، میزان کربوهیدرات‌های محلول و غیر محلول در آب، میزان الیاف نامحلول در شوینده خنثی، منشأ مایع میکروبی، گونه دامی دهنده مایع شکمبه، زمان جمع‌آوری مایع شکمبه و جیره غذایی دام دهنده مایع شکمبه را نام برد. حرارت‌دهی به‌همراه بخار برخی دانه‌های غلات، منجر به تغییرات فیزیکی و شیمیایی گرانول‌های نشاسته شده و با شکستن باندهای هیدروژنی و جذب آب باعث ژلاتینه شدن آن‌ها شده و قابلیت دسترسی آن‌ها برای تجزیه و تخمیر توسط میکروارگانیسم‌ها را می‌افزاید (ویلیامز ١٩٨٢). به‌نظر می‌رسد پرتوتابی مایکروویو، قابلیت تخمیر و دسترسی کربوهیدرات‌ها را برای میکروارگانیسم‌ها را مورد تغییر قرار می‌دهد. بیشترین اثر پرتوتابی مایکروویو، مربوط به کاهش مقاومت گرانول‌های نشاسته به واکنش‌های گوارشی است، به‌نحوی‌که متعاقب این عمل‌آوری مرطوب، پیوندهای عرضی پروتئین‌ها از هم گسسته و گرانول‌های نشاسته محصور در ماتریکس پیچیده پروتئینی ژلاتینه شده و با سهولت بیشتری در اختیار میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌های هاضم مترشحه از منابع میکروبی و حیوانی قرار می‌گیرند (تئورر و همکاران ١٩٩٩). محققان گزارش کردند که کشت مخمر ساکارومایسس سرویزیه سرعت اولیه تجزیه‌پذیری سلولز را افزایش می‌دهد. همچنین، کشت مخمر می‌تواند فاز تأخیر تولید گاز را کاهش دهد (تناگ و همکاران ٢٠٠٨).



شکل ۱- روند تولید گاز در زمان‌های مختلف انکوباسیون (میلی‌لیتر)

Figure 1-Gas production trend in different incubation times (ml)

جدول ۱. تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری دانه ذرت بر فراسنجه‌های تولید گاز و پارامترهای تخمیری.

Table 1. Effect of different processing methods of corn grain on gas production parameters and fermentation parameters

treatment	A	C	ME	OMD	SCFA
Control	489.5±4.02^{c}	0.0639±0.0016^{c}	12.50^{a}	82.94^{c}	1.68^{a}
Steam-flaked	481.5±3.48^{d}	0.0771±0.0017^{a}	12.90^{a}	85.66^{b}	1.75^{a}
Steam-flaked+ yeast	479.1±3.87^{d}	0.0693±0.0017^{b}	12.60^{a}	83.61^{c}	1.70^{a}
microwave	501.1±3.90^{b}	0.0633±0.0015^{c}	12.54^{a}	83.26^{c}	1.70^{a}
Steam-flaked + microwave	507.6±3.14^{b}	0.0681±0.0013^{b}	13.24^{a}	87.90^{a}	1.80^{a}
Steam-flaked + yeast + microwave	523.3±6.69^{a}	0.0632±0.0024^{c}	13.27^{a}	88.10^{a}	1.81^{a}
SEM	1.444	0.001	0.577	0.577	0.577
P-Value	<.0001	<.0001	0.8616	<.0001	1.0000

A: Asymptotic gas production (ml/ 200 mg DM), C: Rate of gas production (ml/h), ME: Metabolizable energy (MJ/kg DM), OMD: Organic matter digestibility (g/ kg DM), SCFA: Short chain fatty acid (mmol/200 mg DM).
SEM: Standard error of means, mean within the same column with different letters differ (P<0.05)

فراسنجه‌های تولید گاز، انرژی قابل متابولیسم، ماده آلی قابل‌هضم و اسیدهای چرب فرار دانه ذرت در جدول ۱ نشان داده‌شده است. نتایج نشان داد که روش‌های مختلف عمل‌آوری بر پتانسیل تولید گاز تاثیر گذاشته‌اند (P<۰/۰۵). بالاترین مقدار این صفت در تیمار ترکیبی (فلیک+ مخمر+ مایکروویو) و پایین‌ترین مقدار آن در تیمارهای فلیک و فلیک همراه مخمر بود. عمل‌آوری با تیمار-

های مایکروویو و نیز فلیک شده منجر به افزایش پتانسیل تولید گاز شد. زمانی که مواد خوراکی با مایع شکمبه در شرایط آزمایشگاهی می‌شوند، کربوهیدرات‌ها به اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (اسید استیک، اسید پروپیونیک، اسید بوتیریک، اسید والریک، لاکتیک اسید و...) و گازها (به‌طور عمده CO_2 و CH_4) تخمیر و به سلول‌های میکروبی تبدیل می‌شوند. به‌طور کلی تولید گاز در نتیجه تخمیر کربوهیدرات به استات، پروپیونات و بوتیرات می‌باشد (بلومل و ارسکف ۱۹۹۳). تولید گاز ناشی از تخمیر پروتئین در مقایسه با تخمیر کربوهیدرات (وولین ۱۹۶۰) نسبتاً کم می‌باشد. با توجه به اینکه میزان نشاسته در دانه ذرت ۷۱ درصد (صادقی و شورنگ ۲۰۰۶) می‌باشد، می‌توان گفت بخش اعظم تولید گاز از تخمیر کربوهیدرات به ویژه نشاسته می‌باشد. صادقی و شورنگ (۲۰۰۸) گزارش کردند که پرتوتابی مایکروویو منجر به افزایش بخش محلول و کاهش بخش نامحلول ماده خشک و نشاسته شده و از طرفی دیگر این عمل‌آوری نرخ تجزیه بخش نامحلول ماده خشک و نشاسته را می‌کاهد. در تحقیق حاضر، افزایش پتانسیل تولید گاز با پرتوتابی مایکروویو با این نتایج سازگار بوده و نشان‌دهنده افزایش بخش محلول می‌باشد. کاهش نرخ تخمیر گاز هم به نظر می‌رسد مربوط به کاهش نرخ تخمیر بخش نامحلول دانه عمل‌آوری شده با مایکروویو باشد. با توجه به اینکه کربوهیدرات نقش مهمی در افزایش حجم گاز تولیدی دارد. عمل‌آوری به‌صورت ترکیبی یعنی بهره‌گیری از روش‌های فلیک کردن و استفاده از مخمر و مایکروویو بالاترین تأثیر را در بالا بودن فراسنجه‌های تولید گاز داشت. نتایج این مطالعه نشان داد که فلیک کردن به‌تنهایی یا همراه با مخمر تأثیر معنی‌داری بر پتانسیل تولید گاز در مقایسه با تیمار شاهد نداشت. در مقابل در تیمارهایی که از امواج مایکروویو برای عمل‌آوری استفاده شده است پتانسیل تولید گاز افزایش یافته است. عمل‌آوری به‌طور معنی‌داری تأثیری بر انرژی قابل متابولیسم نداشت اما از نظر عددی در تیمار فلیک + مایکروویو و فلیک + مخمر + مایکروویو باعث افزایش شد که بیشترین مقدار مربوط به‌روش ترکیبی (فلیک + مخمر + مایکروویو) (۱۳/۲۷ درصد) بود. با توجه به این موضوع که میزان انرژی قابل متابولیسم وابسته به ترکیبات شیمیایی آن ماده خوراکی می‌باشد پس می‌توان نتیجه گرفت عواملی ازجمله گونه گیاه، زمان برداشت، بلوغ گیاه، روش‌های عمل‌آوری و دیگر عواملی که ترکیب شیمیایی ماده خوراکی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، لذا وجود اختلاف در میزان انرژی قابل متابولیسم در آزمایش‌های مختلف دور از انتظار نیست. دردانه‌های غلات (دانه ذرت) به دلیل بالا بودن میزان کربوهیدرات‌های قابل تخمیر، انرژی بیشتری را برای رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌های فعال در تخمیر تأمین کرده و تولید گاز بیشتر شده است. دات و سینگ (۱۹۹۵) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین سطح پروتئین خام، تولید گاز، قابلیت هضم ماده خشک و قابلیت هضم ماده آلی را گزارش نمودند؛ بنابراین تفاوت بین میانگین‌های تولید گاز مواد خوراکی مورداستفاده در پژوهش حاضر می‌تواند مربوط به ماهیت مواد خوراکی مورد آزمایش باشد. لازم به ذکر است بالا بودن انرژی قابل متابولیسم و همچنین نیتروژن قابل تخمیر و سایر مواد مغذی برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها لازم می‌باشد (دات و سینگ ۱۹۹۵). همچنین در تیمارهای فلیک + مایکروویو و فلیک + مخمر + مایکروویو در مقایسه با تیمار شاهد و نیز تیمار فلیک شده به‌تنهایی قابلیت‌هضم

ماده‌آلی افزایش یافت. استفاده مخمر از کربوهیدرات‌های سهل‌الهضم باعث کاهش ماده آلی و سوبسترای میکروب‌های شکمبه خواهد شد که به دنبال آن، میزان تخمیر کاسته شده و هضم کاهش می‌یابد (مو یونگ ۱۹۹۳). این اختلاف می‌تواند به اختلاف در نوع عمل‌آوری دردانه ذرت و همچنین دقت معادلات مورداستفاده در تخمین پارامترهای مذکور مربوط باشد. همچنین عمل‌آوری تأثیری بر میزان اسیدهای چرب فرار نداشت اما ازنظر عددی بیشترین افزایش مربوط به تیمار ترکیبی (فلیک+مخمر+مایکروویو) (۱/۱۸میلی‌مول) بود. افزایش تولید اسیدهای چرب فرار در نتیجه تیمار حرارتی دانه‌های غلات، منجر به تأمین انرژی قابل دسترس برای نشخوارکنندگان می‌گردد (گتاچو و همکاران ۲۰۰۲). حرارت ناشی از امواج مایکروویو روی پیوندهای هیدروژنی که ساختمان دوم پروتئین را پایدار می‌کنند تأثیر گذاشته و باعث شکستن این پیوندها می‌شود. با شکستن این پیوندها، آب با نیتروژن آمیدی و اکسیژن کربوکسیل اسیدهای آمینه پیوند هیدروژنی جدید تشکیل می‌دهد. وجود آب در محیط سبب ضعیف شدن پیوندهای هیدروژنی پایدار کننده ساختمان پروتئینی می‌شود. با از بین رفتن ساختمان دوم، گروه‌های جانبی اسیدآمینه آب گریز در معرض حلال قرار می‌گیرند (تئورر و همکاران ۱۹۹۹). نتایج مربوطه به‌تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری بر قابلیت هضم ماده خشک، تولید پروتئین میکروبی و فراسنجه‌های تخمیری در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول۱ - تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری دانه ذرت بر قابلیت هضم و فراسنجه‌های تخمیری

Table 2- Effect of different processing methods of corn grain on digestibility and fermentation parameters

Treatment	DMD	OMD	PF	MB	EMB	pH	NH_3	GP_{24}
Control	83.23^{b}	84.56^{a}	3.27	168.27^{b}	0.403	6.00	2.806	375.33^{d}
Steam-flaked	84.93^{a}	85.67^{a}	3.27	170.23^{a}	0.402	5.93	2.420	375.37^{d}
Steam-flaked+ yeast	80.93^{c}	81.96^{b}	3.33	171.73^{a}	0.424	5.78	2.236	374.10^{d}
microwave	75.00^{c}	75.59^{d}	2.89	170.11^{a}	0.296	6.00	2.410	422.51^{c}
Steam-flaked + microwave	77.00^{d}	78.23^{c}	2.80	101.53^{d}	0.263	5.86	2.300	433.84^{b}
Steam-flaked+ yeast + microwave	75.00^{c}	76.72^{cd}	2.89	111.66^{c}	0.293	5.77	2.306	447.46^{a}
SEM	0.543	0.577	0.577	0.559	0.057	0.577	0.576	0.571
P-Value	<.0001	<.0001	0.9684	<.0001	0.2671	0.9993	0.9564	<.0001

DMD: Dry matter digestibility (g/ kg DM), OMD: Organic matter digestibility (g/ kg DM), PF: Partitioning factor (mg/ml), MB: Microbial biomass (mg), EMB: Efficiency of microbial biomass NH_3: Ammoniacal nitrogen, GP_{24}: gas production after 24 hours (ml/ 200 mg DM).

SEM: Standard error of means, mean within the same column with different letters differ (P<0.05).

روش‌های مختلف عمل‌آوری تأثیر معنی‌داری بر قابلیت‌هضم ماده خشک و ماده آلی داشتند (P<۰/۰۵). پایین‌ترین قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی مربوط به تیمارهای عمل‌آوری شده با مایکروویو (به‌ترتیب: ۷۵، ۷۷، ۷۵ درصد برای ماده خشک و ۷۵/۵۹، ۷۸/۲۳، ۷۶/۷۲ برای ماده آلی درصد) بود که احتمالاً به‌دلیل

تشکیل اتصالات عرضی و پیوندهای دی‌سولفیدی است که باعث کاهش نرخ تجزیه پروتئین خام و در نتیجه کاهش قابلیت هضم شده است. فلیک کردن دانه ذرت تأثیر معنی‌داری بر قابلیت هضم نداشت؛ اما فلیک کردن همراه با مخمر یا با مایکروویو به‌طور معنی‌داری قابلیت هضم ماده خشک و ماده‌آلی را کاهش داد. طبق گزارش دوراند و چیرو (۱۹۸۸) اصولاً بین مقادیر دیواره سلولی و دیواره سلولی بدون همی سلولز با قابلیت هضم یک ماده خوراکی رابطه معکوس وجود دارد. به‌عبارت‌دیگر، هرچقدر این ترکیبات در ماده خوراکی کاهش یابند، قابلیت هضم آن ماده خوراکی افزایش خواهد یافت. کاهش دیواره سلولی و دیواره سلولی بدون همی سلولز و افزایش مواد محلول موجب افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های شکمبه و هضم بیشتر مواد خوراکی شده و این امر نشان‌دهنده تأثیر مثبت قارچ بر فعالیت میکروارگانیسم‌های شکمبه و در نتیجه بر قابلیت هضم مواد خوراکی است (دشتی ۱۳۸۰). به‌طور کلی، خوراک تخمیر شده قابلیت هضم بهتری دارد که دلیل آن وجود میکروارگانیسم‌های مختلف و آنزیم‌های آن‌ها، در این نوع از خوراک است (مک‌دونالد و همکاران ۲۰۰۱). روش‌های عمل‌آوری تأثیر معنی‌داری بر مقدار عامل تفکیک و بازده تولید پروتئین میکروبی و نیتروژن آمونیاکی نداشتند ($P>0/05$) اما تولید پروتئین میکروبی تحت تأثیر عمل‌آوری قرار گرفت ($P<0/05$).

عامل تفکیک که به‌عنوان شاخصی از راندمان ساخت توده میکروبی در شرایط برون‌تنی می‌باشد، به‌صورت نسبی از سوبسترای تجزیه‌شده حقیقی برحسب میلی‌گرم به حجم گاز تولیدشده در طول مدت انکوباسیون (۲۴ یا ۴۸ ساعت) تعریف می‌شود. در پژوهش حاضر، عامل تفکیک در محدوده ۲/۸۰-۳/۳۳ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر قرار داشت. بلومل و همکاران (۱۹۹۷) مقدار عامل تفکیک را در خوراک‌های متعارف بین ۲/۷۴-۴/۶۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر گزارش نمودند. ولی معمولاً عامل تفکیک در خوراک‌های متعارف بین ۲/۷۵-۴/۴۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر گزارش‌شده است (گتاچو و همکاران ۱۹۹۸).

مقدار قابلیت هضم ماده خشک و تولید پروتئین میکروبی در نمونه‌های عمل‌آوری شده با مایکروویو کمتر از سایر تیمارها بود. به‌عنوان فلیک همراه با مایکروویو به‌طور معنی‌داری اختلاف نشان داد. نکته قابل‌تأمل در تیمارهای عمل‌آوری شده با مایکروویو که همراه با فلیک+ مخمر بوده‌اند با تیمار عمل‌آوری شده با مایکروویو اختلافی مشاهده نشد؛ بنابراین می‌توان این اختلاف را به تأثیر مایکروویو نسبت داد. بلومل و همکاران (۱۹۹۷) بیان کردند که همبستگی منفی بین تولید گاز و تولید توده میکروبی وجود دارد. در پژوهش حاضر با افزایش تولید گاز، توده میکروبی تولیدشده کاهش یافت. هر چه میزان تخمیر شکمبه‌ای افزایش یابد، محصولات فرعی حاصل از آن یعنی اسیدهای چرب فرار نیز افزایش یافته که این باعث کاهش pH شکمبه می‌گردد و همچنین هرچه میزان pH در غلات بیشتر باشد، تولید اسیدهای چرب فرار کمتر بوده و قابلیت هضم پایین‌تری دارند (گتاچو و همکاران ۱۹۹۸). در این تحقیق تیمار مایکروویو با داشتن pH بالا (۶) دارای قابلیت هضم پایین‌تری نسبت به دیگر تیمارها بود. امواج مایکروویو انرژی غیریونیزه‌ای می‌باشند که به‌واسطه نفوذ در مواد و تغییرات سریع در زمینه الکترومغناطیسی در فرکانس بالا درون مواد می‌گردند (کوساوا و همکاران ۲۰۰۲). حرارت ناشی از عمل‌آوری مایکروویو با ایجاد تغییرات ساختمانی در پروتئین‌ها و افزایش آب‌گریزی سطح پروتئین به‌دلیل جدا شدن پیوندهای هیدروژنی و سایر پیوندهای ضعیف غیر کووالانسی و تغییر موقعیت اسیدهای آمینه و درنتیجه افزایش آب‌گریزی سطح مولکول پروتئین سبب تشکیل ژل پروتئینی می‌شود که به کاهش در دسترس بودن گروه‌های فعال شیمیایی مولکول‌های پروتئین و کاهش محلولیت و درنتیجه کاهش تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین در شکمبه منجر می‌شود

(فلاویو و آپنتن ۱۹۹۷). پرتوتابی مایکروویو دانه ذرت موجب کاهش معنی‌دار مقادیر انرژی قابل متابولیسم، انرژی ویژه شیردهی، اسیدهای چرب فرار کوتاه زنجیر، ماده آلی قابل‌هضم و پروتئین میکروبی شد (پرنیان و همکاران ۲۰۱۱).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان داد نوع عمل‌آوری می‌تواند بر فراسنجه‌های تولید گاز و قابلیت هضم برون‌تنی تأثیر داشته باشد. نتایج نشان داد که عمل-آوری ترکیبی استفاده از فلیک+مخمر+مایکروویو به-طور معنی‌داری پتانسیل تولید گاز، ماده‌آلی قابل‌هضم را افزایش و مقدار نرخ تولید گاز را کاهش می‌دهد. ازنظر قابلیت هضم برون‌تنی نیز دانه ذرت عمل‌آوری شده به‌صورت ترکیبی باعث کاهش قابلیت هضم ماده خشک، قابلیت هضم ماده‌آلی، عامل تفکیک، pH و افزایش گاز تولیدی شد. درمجموع بر اساس داده‌های حاصل از این پژوهش انواع عمل‌آوری‌های حرارتی و بیولوژیکی مورداستفاده تأثیر مثبتی بر فراسنجه‌های تولید گاز و قابلیت هضم برون‌تنی دانه ذرت نداشت.

منابع مورد استفاده

Besharaty M, Taghizadeh A, Johnmohammadi H and Moghaddam G, 2008. Determination of degradability of grape subproducts using gas production method and nylon bag. Journal of Agricaltural Science Tabriz University 18(2):173-185. (Persian).

Blummel M and Ørskov ER, 1993. Comparison of gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting feed intake in cattle. Animal Feed Science Technology 40: 109-119.

Blummel M, Makkar HPS and Becker K, 1997. In vitro gas production: a technique revisited. Journal of Animal Phisiology and Animal Nutrition 77: 34-24.

Croka DC and Wagner DG, 1975. Micronized sorghum grain. Influence on feedlot performance of cattle. Journal of Animal Science 40: 924-93.

Dadvar P, diani O and mohmmadabadi MR. 2011. Determine the nutritional value of citrus pulp (lemon and orange) processing with yeast Saccharomyces cerevisiae. Journal of Animal Science Research 21:2.

Dashti M, 2001. Determination of the nutritional value of sugar-beet pulp was performed with the Neurospora sitophila fungus with surgical cows. Master Thesis. Tarbiat Modares University, Tehran.

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

Dehghan-Banadaky M, Corbett R and Oba M, 2007. Effects of berley grain processing on productivity of cattle. Animal Feed Science and Technology 137:1-24.

Durand A and Chereau D, 1988. A new pilot reactor for solid state fermentation: Application to the protein enrichment of sugar beet pulp. Biotechnology and Bioengineering 13: 467-486.

Fakhouri MO and Ramaswamy HS, 1993. Temperature uniformity of microwave heated foods as influenced byproduct type and composition. Animal Research International 26: 89-95.

Folawiyo YL and RKO Apenten. 1997. The effect of heat. and acid-treatment on the structure of rapeseed albumin (napin). Food Chemistry 58: 237-243.

Getachew G, Crovetto GM, Fondevila M, Krishna Moorthy U, Singh B, Spanghero M, Steingass H, Robinson PH and Kailas MM, 2002. Laboratory variation of 24 h *in vitro* gas production and estimated metabolizable energy values of ruminant feeds. Animal Feed Science and Technology 102: 169-180.

Golabi M, Tavassoli M, Nahvi I, Mobini Dehkordi M, 2011. The Study of CO_2 Production and Growth Rate in Suitable Industrial Strains of *Saccharomyces cerevisiae* for Production of Bakers Yeast. Animal Feed Science and Technology 8 (30): 35-44. (Persian).

Herrera-Saldana RE, Huber JT and Poore MH, 1990. Dry matter, crude protein and starch degradability of five cereal grains. Journal of Dairy Science 73: 2386-2393.

Kaasova J, Hubackova B, Kadlec P, Prihoda J and Bubnik Z, 2002. Chemical and biochemical changes during microwave treatment of wheat. Czech Journal Food Science 20: 74-78.

Lanzas C, Fox DG and Pell A N, 2006. Digestion kinetics of dried cereal grain. Animal Feed Science and Technology. 36: 265-280.

Lewandowicz G, Jankowsk, and Fornal J, 2000. Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of cereal starches. Carbohydrate Polymers 42: 193-199.

Makkar HPS, 2005. In vitro gas methods for evaluation of feeds containing phytochmicals. Animal feed.

McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA and Sinclair LA. 2001. Animal nutrition. 7 ed. 715p.

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

Menke KH, Raab L, Salewski A, Steingass H, Fritz D, Schneider W, 1979. The estimation of the digestibility and metabolisable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. Journal Agricaltural Food Science 93:217-222.

Moo-Young M, Chisti Y and Vlach D, 1993. Fermentation of cellulosic materials to mycoprotein foods. Biotechnology Advances 11: 469-479.

Ørskov E.R and McDonald L, 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to the rate of passage. Journal of Agricaltural Science Camb 92: 1. 499-503.

Parnian khaje dizaj F, Taghizadeh A,Johnmohammadi H and Moghaddam G,2011. Use of *in vitro* Gas Production Technique for Evaluation of Nutritive Parameters of Barley and Corn Grain Treated by Different Microwave Irradiation Times. Journal of Animal Science Reseerch. 21:15-27. (Persian).

Sadeghi AA and Shawrang P, 2006. Effects of microwave irradiation on ruminal protein and starch degradation of corn grain. Animal Feed Science Technology 127: 113-123.

Sadeghi AA and Shawrang P, 2008. Effects of microwave irradiation on ruminal dry matter, protein and starch degradation characteristics of barley grain. Animal Feed Science Technology 141:184-194.

SAS Institute, 2000. SAS/STAT user's guide. SAS Institute Inc, Cary.

Shojaosadati SA, Faraidouni R, Madadi-Nouei A, and Mohamadpour I, 1999. Protein enrichment of lignocellulosic substrates by solid state fermentation using *Neurospora sitophila*. Resource. Conservation and Recycl 27: 73-87.

Soltani naseri K, Ghanbari F, Bayat Koohsar J and Talei F. 2018. Effect ofChemical and Biological Processing Methods onChemical Composition, Gas Production Parameters and *In Vitro* Digestibility of Cicer Arietinum Wastes. Research on Animal Production 9(22): 72-82. (Persian).

Tang SX, Tayo GO, Tan ZH, Sun LX, Shen CS, Zhou WJ, Xiao GP, Ren XF, and Shen SB, 2008. Effects of yeast culture and fibro lytic enzyme supplementation on in vitro fermentation characteristics of low-quality cereal straws. Journal of Animal Science 86: 1164-1172.

Theurer CB, Huber JT, DelgadoElorduy A and Wanderley R, 1999. Invited review: Summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. Journal of Dairy Science 82:1950-1959.

Wang Y, and McAllister T, 2000. Grain processing for ruminants: Latest technologies, Proc. 21st West. Nutria. Conf. Winnipeg, MB, Canada, Pp: 39-55.

Williams MR and Bowler P, 1982. Starch gelatinization – a morphological study of Triticeae and other starches. Starch 34: 221-223.

Wolin MJ, 1960. A theoretical rumen fermentation balance. Journal of Dairy Science 43: 1452-1459.

Effect of physical and biological processing methods of corn grain on *in vitro* gas production and fermentation

HA Hosseinzadeh[1], F Farivar[2*], J Bayat Koohsar[2] and F Ghanbari[2]

Received: February 23, 2019 Accepted: May 29, 2019
[1]MSc Student, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Gonbad Kavous, Iran
[2]Assistant Professors, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Gonbad Kavous, Iran
[*]Corresponding author: Email: fariba_farivar@yahoo.com

Introduction: Cereal grains are fed to livestock to supply energy, and the major energy source of the most of cereal grains is starch. Therefore, starch fermentation potential in the rumen is an important indicator of nutritional value of cereal grain in ruminants' nutrition. Due to lower loss of methane and heat, available energy supply for animal is greater for starch digestion in the small intestine than for starch fermented in either the rumen or large intestine. In order to obtain maximum starch digestion, corn and sorghum grain must be processed before using in livestock nutrition. There are several different methods for processing of cereal grain, which in turn have different impacts on the extend and place of digestion and fermentation of starch, based on the shape and structure of starch granules. Briefly, the aim of all processing methods is to optimize the rumen fermentation, equilibrate degradability and digestion of starch in different parts of the digestive tract, minimize the rumen acidosis risk, and increase the amount of undegraded digestible starch delivery to the lower parts of the digestive tract. Corn grain is one of the most important feedstuffs in nutrition of high producing animals because it can provide high amounts of metabolizable enrgy to support high levels of milk or meat production. Several physical and chemical methods have been used and studied frequently. However, despite their effectiveness, using the chemical methods is doubtful because of their poisonous effects in animals and human. Most recently new biological processing methods have been proposed for optimizing of corn grain starch degradability in rumen. So, it can affect the rumen environment and synthesis of microbial protein and determine the place and amount of starch digestion in the different parts of the digestive system. Therefore, the aim of this study was to investigate the effects of different physical or biological methods or methods containing combination of two or three methods of processing on chemical composition and rumen degradability of corn grain.

Materials and methods: This experiment was conducted in a completely randomized design with six treatments and three replicates. Experimental treatments were including: 1) unprocessing corn grain (control), 2) steam-flaked corn grain (3 to 5 minutes), 3) yeast (*Saccharomyces cerevisiae)* treated (4% with the ratio of 1:2) and steam-flaked corn grain, 4) microwaved (850 W for 3 minutes) corn grain, 5) steam-flaked (3 to 5 minutes) and microwaved (850 W for 3 minutes) corn grain 6) yeast (*Saccharomyces cerevisiae)* treated, steam-flaked and microwaved (850 W for 3 minutes) corn grain. In order to treatwith yeast, corn grains were mixed with a solution of 4%fermenter (*Saccharomyces cerevisiae*) in a 2:1 ratio and then, incubated in 35°C for 24 hours. For gas production determination, the ruminal fluid was collected from rumen of three canolated mature Dalagh sheeps with an average weight of 45±5.2 kg before the morning feeding. Experimental animals were fed based on their maintenance requirements and had a free access to water during experimental period. Rumen fluid was immediately transferred to lab and purified using 4 leyer cotton textures and then mixed with artificial saliva with a 1:2 ratio in an anaerobic condition and finally, poured into glass vials along with 200 mg samples of each treatment. Glass vials incubated for 96 hours inside a benmarie bath with about 39°C. The gas production of samples was recorded at 2, 4, 6, 8, 12, 24, 36, 48, 72 and 96 hours of incubation. Experimental data were

processed based on Ørskov and Mc Donalds non-linear equations and analyzed using SAS 9.1 statistical software.

Results and discussion: In general, the results of this experiment showed that the different processing methods had a significant effect on the corn grain potential gas production and gas production rate. The lowest gas production potential amounts were related to steam flaked and steam-flaked+ yeast treated corn grain and the steam-flaked + yeast treated + microwave treatment had the highest amounts of gas production potential (481.5±3.48 and 479.1±3.87 vs. 523.3±6.69 ml/200 mg DM, respectively). Gas production rates of all treatments except for combination of three methods also were significantly higher than control and the highest amount was related with flaked corn grain (0.0771±0.0017 ml/h). Various processing methods had a significant effect on digestibility of organic matter of corn grain, the estimated metabolizable energy content and short chain fatty acids production of different treatments had no significant difference, however, the partitioning factor, final pH and ammonia concentration among different treatments were not significantly different. The digestibility of organic matter of combination method (yeast treated +steam-flaking+ microwave irradiation) method and steam-flaked + microwave treatment and steam flaked treatments were significantly higher than control, however the organic matter digestibility in rest of treatments were not significantly different comparing with the control. Among the different processing methods, the treatment processed with combination method (yeast treated +steam-flaking+ microwave irradiation) had the highest amounts of metabolizable energy, digestibility of organic matter and short chain fatty acids production (respectively 13.27 MJ/ Kg DM, 88.10 g/kg DM and 1.81 mmol/200 mg DM). Treatments containing microwave processing significantly reduced in vitro digestibility of dry matter and organic matter in comparison with the control treatment. The highest amount of estimated microbial protein production among the treatments were related to Steam-flaked+ yeast, Steam-flaked and microwave irradiation treatments (respectively 171.73, 170.23 and 170.11 mg/g DM).

Conclusion: The results of this study showed a significant difference in gas production parameters and *in vitro* digestibility of corn grain among processing methods used in this experiment and the best response in influencing the nutritional value of corn grain for improving rumen fermentation and dry matter degradability can be attributed to microwave irradiation as well as the combination method.

Keywords: Corn grain, Digestibility, Fermentation, Gas production, Microwave, Processing method, *Saccharomyces cerevisiae*