



دانشگاه گوارش و تغذیه

نشریه پژوهش در نشخوارکنندگان

جلد هشتم، شماره چهارم، ۱۳۹۹

<http://ejrr.gau.ac.ir>

۱۷-۳۸

DOI: 10.22069/ejrr.2020.17376.1720

اثر سه منبع چربی بر فراسنجه‌های تولید گاز و تجزیه‌پذیری ماده خشک، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و پروتئین خام با آزمون گاز و روش کیسه‌های نایلونی

* غلامعلی هلاکو^۱، اسداله تیموری یانسی^۲، یداله چاشنی دل^۳ و مختار مهاجر^۴

^۱ فارغ التحصیل دکتری استاد و ^۲ دانشیار گروه علوم دامی، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
^۳ استادیار پژوهشی بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۸/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: چربی یکی از موادمغذی مهم در تغذیه نشخوارکنندگان بوده و بررسی سرنوشت آن در دستگاه گوارش به‌ویژه در محیط تخمیری و شکمبه، در کارایی و بهره‌وری استفاده از موادخوراکی موثر است. آگاهی از قابلیت هضم و انرژی‌زایی مواد خوراکی و تعیین تجزیه‌پذیری ماده خشک، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و پروتئین خام به عنوان موادمغذی قابل سنجش، برای تنظیم کاربردی جیره‌های متعادل نشخوارکنندگان با ارزش بوده و درک صحیح ساز و کار تجزیه موادمغذی و هضم و جذب آن‌ها در افزایش درآمد دامداران بسیار مهم است. به منظور مطالعه ویژگی‌های هضمی جیره‌های آزمایشی و کیتیک تخمیر از اواخر سال ۱۹۷۰ اندازه‌گیری میزان گاز تولیدی با انکوبه کردن موادخوراکی در مایع شکمبه بافاری شده در شرایط آزمایشگاهی معرفی و استفاده شد. از سوی دیگر، برآورد فراسنجه‌های ناپدید شدن ماده خشک، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، پروتئین خام و فراسنجه‌های هضمی با روش کیسه‌های نایلونی انجام می‌شود. در این پژوهش اثرات منابع مختلف چربی بر تولید گاز، تجزیه‌پذیری ماده خشک، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و پروتئین خام تیمارهای محتوی چربی افزوده، مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین ضرایب همبستگی فراسنجه‌های اندازه‌گیری شده با روش پیرسون مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها:

دو آزمایش برای ارزیابی سرنوشت و رفتار مواد خوراکی و کیتیک هضم سه منبع چربی اجرا شد. در آزمایش اول، میزان گاز حاصل از هضم چهار تیمار آزمایشی شامل: (۱) فاقد منبع لیپیدی افزوده (کنترل) و ۲، ۳ و ۴) به ترتیب با ۵ درصد اسید چرب کلسیمی، چربی حیوانی و روغن کلزا، انکوباسیون شده در مایع شکمبه در شرایط آزمایشگاهی^۲ سنجش شد. در آزمایش دوم، از گوسفندان نر فیستوله‌دار شکمبه‌ای برای تعیین مولفه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک، الیاف و پروتئین خام تیمارهای فوق به روش کیسه‌های نایلونی^۳ استفاده شد. در پایان نتایج همبستگی دو آزمایش فوق، با روش پیرسون مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها:

* نویسنده مسئول: flowermino@gmail.com

2- *In vitro*

3- *In sacco*

حجم گاز تولید شده، در ۲ ساعت اول در تیمار کنترل از تیمارهای محتوی لیپید بیشتر و در ساعت ۲۴ معنی دار نبود و لیکن در ساعت ۹۶ در تیمارهای محتوی منابع لیپیدی بیشتر از تیمار کنترل بود. قابلیت هضم ماده آلی، تولید اسیدهای چرب فرار کوتاه زنجیره و انرژی قابل متابولیسم در آزمون گاز در تیمار محتوی چربی کلسیمی به طور معنی داری از تیمار کنترل، چربی حیوانی و روغن کلزا بیشتر بود ($P < 0/05$). درصد تجزیه پذیری ماده خشک تیمار اسید چرب کلسیمی در کل زمان انکوباسیون شکمبه ای هم بیشتر از سایر منابع چربی بود ($P = 0/01$). پتانسیل تجزیه پذیری پروتئین خام و تجزیه پذیری الیاف تحت تأثیر منابع متفاوت چربی معنی دار نبود ($P = 0/07$). درصد تجزیه پذیری الیاف با افزودن منابع چربی کمی کاهش یافت. در این آزمایش همبستگی بالایی در تخمین فراسنجه های تجزیه پذیری و پیش بینی ماده خشک، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی تیمارهای آزمایشی در آزمون گاز و روش کیسه های نایلونی مشاهده شد.

نتیجه گیری:

نتایج این مطالعه بیانگر تولید گاز و تجزیه پذیری متفاوت تیمارهای محتوی منابع لیپید بود. جیره های محتوی چربی محافظت شده نسبت به چربی حیوانی و روغن گیاهی، با قابلیت هضم بالاتر، اسیدهای چرب کوتاه زنجیره بیشتر، انرژی قابل متابولیسم بالاتر و گاز بیشتری در ۹۶ ساعت پس از انکوبه کردن در مایع شکمبه ایجاد کرد. بیشترین تجزیه پذیری موثر در سطح جریان ۵ درصد برای ماده خشک، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی در این تیمار مشاهده شد. همه این نتایج بیانگر این است که گنجاندن منبع انرژی با منابع لیپیدی به ویژه چربی محافظت شده تأثیر سوئی بر تخمیر نداشته و استفاده از آن کارایی تخمیر را افزایش داده است. از سوی دیگر با بررسی همبستگی با روش پیرسون، همبستگی بالایی در صفات تولید اسیدچرب فرار کوتاه زنجیره، انرژی قابل متابولیسم و قابلیت هضم ماده آلی حاصله از آزمون گاز و بخش a، b و c از روش کیسه های نایلونی مشاهده شد. این بدان معنی است که روش تولید گاز می تواند با کارایی بالایی برای ارزیابی مواد خوراکی محتوی منبع لیپید به جای روش هزینه بر تکنیک کیسه های نایلونی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: تجزیه پذیری، تولید گاز، چربی حیوانی، چربی خنثی کلسیمی، روغن کلزا، کیسه های نایلونی

مقدمه

دارد (۲۱). همچنین، نرخ و میزان تخمیر ماده خشک در شکمبه از عوامل تعیین کننده استفاده از مواد مغذی در نشخوارکنندگان می باشد (۲۷). این موضوع به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان مهم است که در آن علوفه و کیفیت آن ممکن است در فصل خشک به شدت محدود شود (۷). به طور سنتی، ارزش انرژی زایی علوفه مصرف شده توسط دام های چراگر با روش قابلیت هضم ماده آلی آزمایشگاهی با تکنیک آزمایشگاهی یا تجزیه پذیری ماده آلی درون تنی پس از انکوباسیون در شکمبه تخمین زده می شود (۲۲).

در صد سال اخیر، استفاده از چربی به عنوان یک جایگزین با ارزش و پرانرژی و نیز یک اصلاح کننده متابولیسم سلولی مورد توجه قرار گرفته است (۲۶). چربی در حال حاضر در تمام مدل های کامپیوتری مدرن برای فرمول بندی جیره دام ها به ویژه دام های

افزایش بازده تخمیر و تجزیه مواد خوراکی در شکمبه، سبب بهبود تولید در نشخوارکنندگان شده که یکی از اهداف مدیریت صحیح تغذیه نشخوارکنندگان است. سیستم های مدرن ارزیابی و تنظیم جیره، بر پایه شناخت سرنوشت خوراک در شکمبه و تأمین واقعی دسترسی مواد مغذی و تجزیه پذیری آن ها در شکمبه در قالب مدل های مکانیکی پایه ریزی شده اند. آزمون گاز (برون تنی) و تجزیه پذیری مواد مغذی از جمله چربی با روش کیسه های نایلونی از جمله روش های بررسی رفتار خوراک در شکمبه می باشد. آزمون تولید گاز یک ابزار ارزشمند برای متخصصین تغذیه بوده و اطلاعاتی در مورد کینتیک تخمیر جیره های مصرف شده توسط نشخوارکنندگان ارائه می دهد، که بستگی به نرخ عبور و تجزیه پذیری آن در شکمبه

محتوی چربی خنثی کلسیمی، چربی حیوانی و روغن گیاهی با ترکیب متفاوت اسیدهای چرب و ب) بررسی همبستگی آماری فراسنجه‌های محاسبه شده با یکدیگر و ج) ارائه تصویری از تخمیر و تجزیه تیمارهای محتوی چربی اشباع، غیراشباع و محافظت شده در شکمبه گوسفند در راستای بهبود روش‌های تغذیه‌ای طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش اول: این آزمایش در تابستان سال ۱۳۹۷ در ایستگاه دامپروری دانشکده علوم دامی دانشگاه گنبد با استفاده از ۴ راس گوسفند نر نژاد دالاق فیستولدار شکمبه‌ای با میانگین وزن 55 ± 2 و تغذیه شده با جیره نگهداری بر پایه علوفه انجام شد. جیره حیوانات شامل اقلام یونجه (۲۵ درصد)، دانه جو (۳۵ درصد)، کاه گندم (۲۰ درصد)، سبوس گندم (۱۹ درصد)، نمک (۰/۵ درصد) و مکمل ویتامینی- معدنی (۰/۵ درصد) بود. حجم گاز حاصل از هضم تیمارهای آزمایشی (جدول ۱) در شرایط برون‌تنی اندازه‌گیری شد (۱۵). مایع شکمبه گرفته شده از گوسفندان قبل از تغذیه‌ی صبحگاهی بلافاصله با پارچه متقال ۴ لایه صاف و سریعاً در داخل فلاسک ۳۸/۶ درجه سانتی‌گراد در شرایط بی‌هوازی به آزمایشگاه منتقل شد. سپس ۲۰۰ میلی‌گرم نمونه به همراه ۳۰ میلی‌لیتر مایع شکمبه مخلوط شده با بزاق مصنوعی (نسبت ۱ به ۲) در ویال‌های شیشه‌ای ۱۰۰ میلی‌لیتری در حمام ۳۸/۶ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. این نمونه‌ها قبلاً از نمونه‌های کلی با آسیاب ۱ میلی‌متری با دقت آسیاب شده و سپس وزن شد. برای هر نمونه ۴ تکرار انجام شد. آزمایش سه بار تکرار شد.

میزان گاز تولید شده طی زمان‌های متفاوت شامل ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از شروع انکوباسیون توسط دستگاه مبدل فشارسنج دیجیتال اندازه‌گیری شد. حجم خالص گاز با

شیرده گنجانده شده است (۲۶). زیرا چربی مکمل شده هم برای حمایت از تولید شیر بالای دام‌های پرتولید مورد نیاز بوده و از سوی دیگر در دام‌های تحت تنش گرمایی، با تامین انرژی غیرتخمیری، حرارت تخمیری کمتری تولید می‌کند. با توجه به گستره وسیع چربی‌ها و روغن‌ها، در مطالعات متعدد، اثرات آن در حیوانات مختلف مزرعه‌ای مورد آزمون قرار گرفته است (۶، ۱۱، ۱۶). مطالعات درون‌تنی یا برون‌تنی که برای ارزیابی تأثیر چربی‌ها بر تولید و یا فراسنجه‌های تخمیری شکمبه انجام شد، نتایج ثابتی نداشته است (۲۶). این امر می‌تواند ناشی از تنوع در عواملی باشد که فعالیت چربی‌ها را در اکوسیستم میکروبی شکمبه تحت تأثیر قرار می‌دهند. این عوامل شامل منبع چربی (۱۵)، درجه اشباع (۱۴)، طول زنجیره اسید چرب (۱۳، ۳۴) و همچنین سایر خصوصیات چربی‌ها از قبیل نرخ و مقدار هیدرولیز آن‌ها می‌باشد. اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه سبب کاهش هضم الیاف جیره نسبت به اسیدهای چرب زنجیره بلند می‌شوند (۳۱). همچنین استفاده بیش از ۶۰ گرم چربی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک (بسته به نوع چربی) سبب کاهش فعالیت میکروبی، کاهش مصرف خوراک و کاهش ساخت چربی شیر در نشخوار کنندگان می‌شود (۵). منابع چربی به‌عنوان مواد غنی از انرژی با توجه به ماهیت و ترکیب آن، با تغییر در تجزیه و هضم مواد خوراکی در شکمبه و روده کوچک و تغییر سوخت و ساز در بافت‌های بدن اثرات متفاوتی در دام‌ها دارند. با توجه به اهمیت تغذیه چربی در حیوانات پرتولید یا تحت تنش گرمایی، تعیین تجزیه‌پذیری و فراسنجه‌های تخمیری و تولید گاز جیره‌های غذایی دارای چربی یکی از راهکارهای مهم برای افزایش بهره‌وری در دامپروری می‌باشد. از این رو این پژوهش با سه هدف الف) بررسی تولید گاز و همچنین تجزیه‌پذیری جیره‌های

X_{ij} : مقدار هر مشاهده، μ : میانگین کل جامعه، δ_i : اثر تیمار یا چهار نوع منبع چربی و ε_{ij} : اثر اشتباه آزمایش است. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح خطای ۵ درصد انجام شد.

پژوهش دوم: در این آزمایش تعداد ۴ رأس قوچ فیستوله‌دار شکمبه‌ای با میانگین وزن 55 ± 2 کیلوگرم به منظور تعیین مولفه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و پروتئین خام در جایگاهی مسقف و نیمه باز، در قفس‌های متابولیک با دسترسی آزاد به آب نگهداری شد. جیره‌های آزمایشی با استفاده از نرم افزار جیره نویسی CNCPS 2007 Sheep تنظیم شد. در طول دوره عادت پذیری خوراک (۱۴ روز اول) در حد اشتهای داده شده و در طی آزمایش، جیره به حد نگهداری تقلیل یافت. در طی آزمایش دام‌های دارای فیستوله شکمبه با جیره مورد استفاده در آزمایش اول در حد نگهداری و دو بار در روز (۸ صبح و ۲۰ عصر) تغذیه شدند. حیوانات دسترسی آزاد به آب داشتند.

آماده‌سازی کیسه‌های نایلونی و مواد خوراکی برای شکمبه‌گذاری: مراحل الف) آماده‌سازی کیسه‌های نایلونی (قطر منافذ ۴۸ میکرومتر و ابعاد 10×15 سانتی‌متر) و ب) مواد خوراکی برای شکمبه‌گذاری (۴ گرم، ماده خشک از هر کدام از نمونه‌های تیمار (جدول ۱) آسیاب شده در ۴ تکرار، ج) کیسه‌ها برای قرار دادن در شکمبه، د) شستشوی کیسه‌های شکمبه‌گذاری شده، اتلاف زمان صفر با روش اسکوف و همکاران (۱۹۸۰) به ترتیب انجام شد. به گونه‌ای که برای هر زمان انکوباسیون، یک کیسه (تکرار) در داخل شکمبه هر کدام از گوسفندان قرار گرفت. پس از پایان زمان مورد نظر، کیسه‌ها از شکمبه خارج و بلافاصله داخل آب سرد گذاشته شدند. کیسه‌ها سپس به مدت ۲۰ دقیقه در ماشین لباسشویی شسته شده و به مدت ۷۲ ساعت در دمای

کاستن میانگین گاز تولیدی ویال‌های بلانک (۴ تکرار) از ویال‌های دارای نمونه حاصل شد و با رابطه زیر بر اساس حجم گاز تولیدی و محتوای پروتئین و ماده خشک جیره‌های آزمایشی انرژی قابل متابولیسم و ماده آلی قابل هضم آن‌ها با روابط زیر محاسبه شدند:

$$Y = b(1 - e^{-ct}) \quad (1)$$

که Y مقدار گاز تولید شده (میلی لیتر در زمان t)؛ b گاز تولید شده از بخش نامحلول اما آهسته قابل تخمیر؛ e عدد نپر؛ c ثابت نرخ تولید گاز (میلی لیتر در ساعت) و t زمان تخمیر می‌باشد. b و c با مدل نمایی ارائه شده توسط اورسکوف و مکدونالد (۱۹۷۹) با استفاده از نرم افزار دگرا (۲۰) محاسبه شد.

رابطه (۲)

$$ME \left(\frac{MJ}{KgDM} \right) = 2.2 + 0.136 \times GP + 0.057 \times CP + 0.0029 \times CP2$$

رابطه (۳)

$$OMD \left(\frac{\%}{100gDM} \right) = 14.88 + 0.899 \times GP + 0.45 \times CP + 0.0651 \times ASH$$

رابطه (۴)

$$SCFA(mmol) = 0.0222GP - 0.00425$$

که در روابط فوق ME ، انرژی قابل متابولیسم (مگاژول در کیلوگرم ماده خشک)؛ GP ، گاز تولیدی در ۲۴ ساعت، CP ، پروتئین خام (بر حسب درصد)؛ $CP2$ پروتئین خام (گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و ASH ، گرم مقدار خاکستر خام و OMD ماده آلی قابل هضم و $SCFA$ اسیدهای چرب کوتاه زنجیره می‌باشد، محاسبات در نرم‌افزار اکسل انجام شد.

طرح آماری

داده‌های به دست آمده با نرم‌افزار دگرا و اکسل با نرم‌افزار SAS ویرایش $9/4$ (۳۰) در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل شد؛ که مدل ریاضی آن به صورت زیر بود:

$$X_{ij} = \mu + \delta_i + \varepsilon_{ij}$$

۵۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و وزن آنها ثبت شد. چهار کیسه از هر نمونه بدون انکوباسیون در شکمبه (زمان صفر)، مشابه با شرایط کیسه‌های قرار داده شده در شکمبه شسته و وزن آنها ثبت شد و تجزیه‌پذیری ماده خشک در شکمبه تعیین شد.

جدول ۱- ارقام خوراکی و ترکیبات شیمیایی تیمارهای آزمایشی حاوی منابع متفاوت چربی

Table 1. Ingredient and chemical composition of experimental treatment containing different fat sources

تیمارهای آزمایشی Experimental treatments				ماده خوراکی Feed ingredient
روغن کلزا Canola oil	چربی حیوانی Beef Tallow	چربی خنثی کلسیمی Calcium fatty acid salts	کنترل Control	
34	34	35	38	دانه جو (Barely grain)
20	20	20	21	تفاله چغندر (Beet pulp)
20	20	20	20	سیلوی ذرت (Corn silage)
10	10	11.5	12	سبوس گندم (Wheat bran)
4	4	3.5	2	کنجاله سویا (Soybean meal)
5	5	5	5	کاه گندم (Wheat straw)
-	-	5	-	اسید چربی کلسیمی Calcium fatty acid salts
-	5	-	-	چربی حیوانی (Beef tallow)
5	-	-	-	روغن کلزا (Canola oil)
1	1	-	1	کربنات کلسیم (Carbonate calcium)
1	1	1	1	مکمل ویتامینی-معدنی ^۱ (Vitamin-mineral supplement)
ترکیب شیمیایی Chemical composition				
78.09	78.12	77.78	77.54	ماده خشک (درصد) (Dry matter %)
3.01	2.97	2.99	2.91	انرژی قابل متابولیسم ^۲ (ME (Mcal/kg)
12.29	12.29	12.23	12.29	پروتئین خام (درصد) (Crude protein %)
36.75	36.75	37.11	38.61	الیاف نامحلول در شوینده خنثی (درصد) (NDF%)
18.87	18.87	18.97	19.46	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (درصد) (ADF%)
6.81	6.81	6.11	2.01	عصاره اتری (درصد) (Ether extract%)
7.71	7.72	7.54	7.92	خاکستر خام (درصد) (Ash%)
36.44	36.43	37.01	39.17	کربوهیدرات غیرالیافی (درصد) Non-fiber carbohydrate%

^۱ مکمل ویتامینه-معدنی پروراری شرکت چینه چین (ویتامین آ، ۵۰۰۰۰۰ IU؛ ویتامین D₃، ۱۰۰۰۰۰ IU؛ ویتامین E، ۲۰۰۰ IU؛ کلسیم، ۱۵۰ گرم؛ سدیم، ۶۰ گرم؛ منیزیم ۴۰ گرم؛ آهن ۳۵۰۰ میلی‌گرم؛ روی ۴۵۰۰ میلی‌گرم؛ مس ۱۰۰۰ میلی‌گرم؛ ید ۴۰ میلی‌گرم؛ سلنیوم ۲۵ میلی‌گرم و آنتی‌اکسیدان ۴۰۰ میلی‌گرم)

^۲ مقادیر برآورد شده از جداول کتابخانه‌ای (SRNS 2016 and CNCPS sheep (2007)

1 Vitamin-mineral supplement of Chinechin Company (Vitamin A, 500,000 IU; Vitamin D₃, 100,000 IU; Vitamin E, 2,000 IU; Calcium, 150 g; Sodium, 60 g; Magnesium 40 g; Iron 3500 mg; Zinc 4500 mg; copper 1000 mg; iodine 40 mg; selenium 25 mg and antioxidant 400 mg)

^۲ Estimated values from SRNS 2016 and CNCPS sheep library tables (2007)

(NRC, 2001) Ash + درصد Fat + درصد CP + درصد NDF - درصد = کربوهیدرات غیرالیافی

(NRC, 2001) Nonfibrous carbohydrate = 100 - (NDF + CP% + Fat% + Ash %)

(درصد بر ساعت) و k ، نرخ عبور مواد جامد از شکمبه است، محاسبه شدند (۲۳).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری این آزمایش بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار و ۴ تکرار اجرا شد. تجزیه و تحلیل آن با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آمار SAS ویرایش ۹/۴ (۳۰) و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال معنی‌داری ۵ درصد صورت گرفت. مدل آماری این طرح به این ترتیب است:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

به طوری که در این مدل Y_{ij} : مشاهده شماره k ، از تکرار j و تیمار i ؛
 μ : میانگین جامعه
 T_i : اثر تیمارها
 ε_{ij} : خطای آزمایشی است.

نتایج و بحث

آزمایش نخست: خلاصه نتایج بررسی اثر منابع متفاوت چربی بر فراسنجه‌های تخمیر در طول ۹۶ ساعت در شرایط برون تنی در جدول ۲ آمده است. گاز تولید شده در ۲ ساعت اول انکوباسیون برای تیمارهای ۱، ۲، ۳ و ۴ در این آزمایش به ترتیب ۵۱/۸۸، ۳۱/۸۸، ۴۵/۶۳ و ۴۶/۲۵ بود.

این نتایج نشان می‌دهد با توجه به ماهیت تیمارهای آزمایشی مقادیر کربوهیدرات غیرالیافی بیشتر در جیره کنترل در ۲ ساعت اول، باعث دسترسی سریعتر باکتری‌های شکمبه به منابع انرژی شده و تولید گاز بیشتر تولید کرده است. در سایر تیمارها هم مقادیر گاز تولید شده به ترتیب در روغن کلزا، چربی حیوانی و اسید چرب کلسیمی بود. در ادامه فرایند تخمیر تولید گاز در تیمارهای آزمایشی در ۲۴ ساعت معنی‌دار نبود ($P=0/10$). تولید گاز در ۹۶ ساعت تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی نشان

اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی نمونه‌های تیمار شده قبل و بعد از شکمبه‌گذاری بر اساس ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام (دستگاه‌های کج‌لدال) و عصاره اتری با استفاده از روش‌های استاندارد AOAC (۲) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی (سیستم آنکوم) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی با روش ون سوست و همکاران (۳۳) اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

با استفاده از نرم‌افزار دگرا ویرایش ۳۰۰ (۲۰) میزان ناپدید شدن مواد در زمان‌های متفاوت و همچنین فراسنجه‌های تجزیه پذیری مواد مغذی بر اساس معادله اورسکوف و مکدونالد (۱۹۷۹) زیر برای زمان‌های متفاوت محاسبه شد:

$$P = a + b(1 - e^{-ct}) \quad \text{رابطه (۵)}$$

P ، درصد تجزیه‌پذیری ماده مغذی در زمان t ؛ a ، بخش محلول در آب یا بخش سریع‌التجزیه (درصد)؛ b ، بخش قابل تجزیه با نرخ کم (درصد)؛ $a+b$ ، بخش بالقوه قابل تجزیه؛ c ، نرخ ثابت تجزیه بخش b (درصد بر ساعت)؛ t ، زمان تخمیر در شکمبه؛ e ، مبنای لگاریتم نپری و برابر با $2/7182$ ؛ $-(a+b)$ - 100 درصدی از کل مواد غیرقابل تجزیه در شکمبه هستند.

برآورد فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و پروتئین خام با استفاده از معادله اورسکوف و مکدونالد (۱۹۷۹) و برازش داده‌ها در نرم‌افزار آماری SAS ۹/۴ (۳۰) انجام شد. سپس تجزیه‌پذیری موثر با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد

$$ED = a + [bc/c + k] \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن ED ، مقدار تجزیه‌پذیری موثر ماده مغذی در زمان t ؛ a ، درصد بخش محلول که به سرعت ناپدید می‌شود؛ b ، درصد بخش غیرمحلول بالقوه قابل تجزیه؛ c ، نرخ ثابت تجزیه بخش b در واحد زمان

داد ($P < 0.001$). تیمار چربی محافظت شده در ۹۶ ساعت تولید گاز بیشتری نسبت به سایر تیمارها تولید کرد. اسید چرب کلسیمی تولید گازهای فرار را بیشتر از سایر تیمارها افزایش داد و چربی حیوانی و روغن گیاهی مقادیر کمتری نسبت به اسیدچرب کلسیمی گاز تولید کردند و این نتایج مشابه گزارش سایر محققین بود (۹،۱۰،۲۸).

جدول ۲- اثر منابع متفاوت چربی بر فراسنجه های تخمیر در طول ۹۶ ساعت در شرایط برون تنی

Table 2. Effects of different fat sources during the 24 and 96 h period of *in vitro* incubation on fermentation parameters

P-Value	SEM	Experimental Diet				شاخص اندازه گیری Items
		روغن کلزا Canola Oil	چربی حیوانی Beef Tallow	اسیدچرب کلسیمی Calcium fatty acids salts	کنترل Control	
						حجم گاز (میلی لیتر) Gas Volume (ml)
0.1044	9.557	170.63	172.5	191.25	128.13	ساعت ۲۴ GP ₂₄
<0.0001	11.158	225.63 ^b	223.75 ^b	246.88 ^a	173.13 ^c	ساعت ۹۶ GP ₉₆
						کنتیک تولید گاز و فراسنجه های برآوردی Gas production kinetics and estimated parameters
0.0413	0.6887	7.61 ^{ab}	7.56 ^{ab}	8.12 ^a	6.40 ^b	انرژی قابل متابولیسم ^۱ ME(MJ/day)
0.0581	0.1124	3.00 ^b	3.29 ^b	3.93 ^a	3.26 ^b	اسیدهای چرب کوتاه زنجیره Short Chain Fatty Acids (mmol)
0.0445	4.5527	72.98 ^{ab}	73.20 ^{ab}	74.09 ^a	71.63 ^b	قابلیت هضم ماده آلی (درصد) Organic matter digestibility (ml/DM) b
0.0262	12.165	182.21 ^c	197.73 ^b	232.45 ^a	179.57 ^c	
0.036	0.0036	0.118 ^b	0.126 ^{ab}	0.133 ^a	0.133 ^a	(ml/h) c

اعداد دارای حروف و اختصارات لاتین متفاوت در هر ردیف تفاوت معنی دار با یکدیگر دارند.

Numbers with different letters and abbreviations in each row are significantly different.

^۱(چربی خام)۰/۰۰۲۹+ پروتئین خام(۰/۰۵۷+ گاز تولیدی)۰/۱۳۶+۰/۲۲= انرژی قابل متابولیسم (مگاژول در کیلوگرم ماده خشک)(۲۲)

ME(Mj/Kg dry matter) = 2.2 + 0.136 (Gas production) + 0.057 (Crude protein) + 0.0029 (Crude fat)

(Menke et al. 1979) (./خاکستر خام)۰/۰۶۵۱+ پروتئین خام(۰/۴۵) + (گاز تولیدی)۰/۸۸۹+ ۲۴/۸۸ = ماده آلی قابل هضم

Digestible organic matter = 24.88 + 0.889 (Gas production) + 0.45 (Crude protein) + 0.0651 (Ash%) (Menke et al. 1979)

(Menke et al. 1979) (گاز تولیدی)۰/۰۲۲۲+ اسیدهای چرب کوتاه زنجیره (میلی مول در میلی گرم ماده خشک)

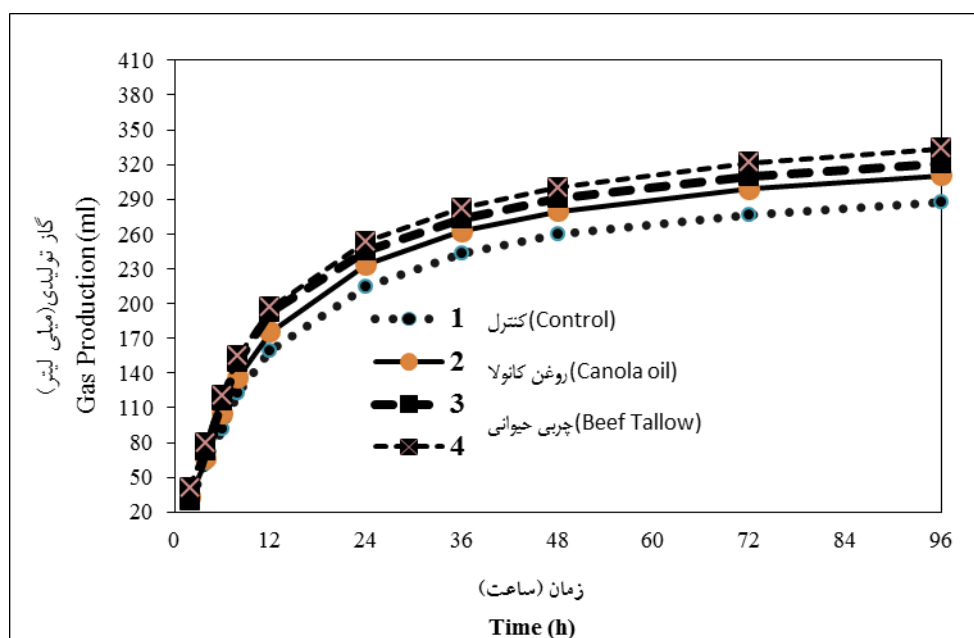
Short chain fatty acid (mmol/mg dry matter) = 0.0222 (Gas production) - 0.00425 (Menke et al. 1979)

روش آزمون گاز به طور عمده از دو منشاء الف) کربوهیدرات (گازهای CO₂ و CH₄) و ب) بافرینگ اسیدهای چرب کوتاه زنجیره (CO₂ آزاد شده از بافر بی کربنات) است. برخی محققین نشان دادند که حجم گاز تولیدی فقط منعکس کننده تخمیر مواد

در مطالعه چالوپا و همکاران (۱۹۸۴) چربی حیوانی غیرمحافظت شده، تولید گاز کاهش یافت و چربی حیوانی محافظت شده تولید گاز را افزایش داد. در مطالعه رودریگز و همکاران (۲۰۱۸) روغن سویا باعث کاهش تولید گاز شد. گازهای تولید شده در

چرب فرار تولید شده، گاز کمتری تولید شود (۸)، (۱۸). گاز تولیدی حاصل از تخمیر پروتئین در مقایسه با کربوهیدرات نسبتاً کمتر است. لیکن اثرات ثانویه منابع لیپیدی از جمله ویژگی مشارکت با منابع الیافی می‌تواند بر تخمیر شکمبه تأثیر بگذارد. با توجه به نتایج این آزمایش و محاسبه انرژی قابل متابولیسم، منابع لیپیدی انرژی بیشتری نسبت به حیره کنترل برای دام فراهم کرده ($P=0/04$) و تأمین انرژی در کنار فراهمی سایر مواد مغذی سبب افزایش فعالیت میکروب‌های شکمبه و تولید پروتئین میکروبی بیشتر شد.

خوراکی به اسیدهای چرب فرار است که می‌تواند برآوردی از قابلیت هضم ظاهری باشد و به‌طور دقیقی با مقدار و نسبت استات و بوتیرات نیز مرتبط می‌باشد (۸). بنابراین نسبت اسیدهای چرب فرار نیز بر حجم گاز تولیدی اثر می‌گذارد، زیرا فقط تخمیر ماده خوراکی به استات و بوتیرات است که تولید گاز کربنیک و در نتیجه گاز متان می‌کند که حدود ۵۰ درصد حجم گازهای تولیدی را شامل می‌شود که به‌طور مستقیم از تخمیر ناشی می‌شوند. تخمیر مواد سریع التخمیر احتمالاً منجر به تولید نسبت بیشتری از پروپیونات می‌شود و می‌تواند به ازاء هر واحد اسید



شکل ۱- اثر منابع متفاوت لیپید بر تولید گاز در گوسفند. بر اساس نتایج این آزمایش حداکثر تخمیر در ۲۴ ساعت اول رخ داده و تولید گاز انجام می‌شود و پس از آن تا ۹۶ ساعت با روند کندی انجام می‌شود. روند تولید گاز بیشتر در تیمار محتوی چربی کلسمی بوده است. با توجه به اینکه بالا بودن تولید گاز در شرایط آزمایشگاهی نشانگر بالا بودن انرژی قابل متابولیسم، منبع پروتئینی کافی قابل تخمیر و سایر مواد مغذی برای باکتری‌های شکمبه است به نظر می‌رسد تیمار چربی کلسمی شرایط بهینه‌تری را برای تخمیر ایجاد کرده است.

Figure 1. Effect of different sources of lipids on gas production in Sheep. According to the results of this experiment, maximum gas production occurred in first 24 h and lagged in 96 h. Trend of gas production was high in protected fat (Calcium fatty acids salts). Maximum gas production indicated high metabolism energy, adequate protein source and other nutrients supplied for rumen bacteria. It seems that calcium salt made better condition for fermentation.

ماده آلی از خود نشان دادند. قابلیت هضم ماده آلی برای تیمار ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۷۴/۰۹، ۷۱/۶۳،

منابع متفاوت لیپید با ماهیت متفاوت و ترکیب اسیدهای چرب متفاوت، اثر متفاوتی بر قابلیت هضم

سریع میکروب‌ها برای هیدرولیز و هیدروژنه کردن چربی جیره را تحریک می‌کند.

اسیدهای چرب فرار یا اسیدهای چرب کوتاه زنجیره با تخمیر میکروبی غیرهوازی در شکمبه تولید شده و پیش‌بینی می‌شود ۷۰ تا ۸۰ درصد انرژی نشخوارکنندگان را تامین می‌کنند (۱). تولید SCFA در تیمار ۲ نسبت به سایر تیمارها بالاتر بود ($P=0/05$). تولید SCFA در تیمار محتوی اسیدچرب کلسیمی بیشتر بود. روسلی و همکاران (۲۰۱۹) استدلال کردند که افزایش فعالیت آنزیم‌های لیگولیتیک مانند لاکاز با افزایش تولید SCFA همبستگی دارد. طبق ارجاع روسلی و همکاران (۲۰۱۹) «پتانسیل لیگولیتیک برای تخریب محتوای لیگنین در بالاترین حد ممکن بوده و امکان دسترسی میکروب‌های شکمبه به سلولز و همی سلولز را فراهم می‌کند» (۳). در همین حال، سطح پایین فعالیت آنزیم هاضم سلولز و همی سلولز می‌تواند ساختارهای سلولز و همی سلولز را حفظ کند. از این رو، این به میکروب‌های شکمبه اجازه می‌دهد، سلولز و همی سلولز را برای تولید VFA هضم کنند (۲۹). به نظر می‌رسد شرایط تخمیر برای فعالیت این آنزیم‌ها در تیمار محتوی اسید چرب کلسیمی منجر به هضم بهتر الیاف و تولید اسیدچرب فرار کوتاه زنجیره در این تیمار فراهم بوده است.

فراسنجه *b* (بخش نامحلول در آب و دیر تخمیر) در تیمار ۲ بالاترین و در تیمار ۱ و ۴ کمترین بود ($P = 0/02$). نتایج این آزمایش نشان داد که بخش *b* در تیمار کنترل و تیمار محتوی روغن کلزا کمترین بود.

آزمایش دوم: نتایج تجزیه پذیری ماده خشک، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و پروتئین خام در جیره‌های محتوی منابع متفاوت چربی در ساعات متفاوت انکوباسیون در شکمبه گوسفند در جدول ۳ ذکر شده است. درصد تجزیه‌پذیری ماده خشک تیمار ۲ در کل

۷۳/۲۰ و ۷۲/۹۸ بود. قابلیت هضم ماده آلی با افزودن منابع لیپید افزایش یافت. در بین تیمارها، تیمار ۲ و ۳ که به ترتیب دارای اسید چرب کلسیمی و منبع تری گلیسرید (چربی حیوانی) بودند، قابلیت هضم ماده آلی بالاتری نسبت به جیره حاوی اسیدهای چرب غیراشباع (تیمار ۴) نشان دادند.

به نظر می‌رسد محافظت اسیدهای چرب از هیدرولیز و بیوهیدروژیناسیون در شکمبه قابلیت هضم ماده آلی را افزایش داد. از سوی دیگر سایر محققین معتقدند که میزان بیوهیدروژنه شدن اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه به ویژه اسید لینولئیک، تحت تأثیر ترکیب رژیم غذایی و میزان چربی تغذیه شده یا زمان بعد از تغذیه قرار نمی‌گیرد، بلکه به مقدار چربی انکوبه شده در محیط کشت بستگی دارد (۶).

روغن‌های غیراشباع نسبت به چربی‌های اشباع (۱۲) و اسیدهای چرب آزاد نسبت به تری گلیسرید مربوطه (۴) اثرات منفی بیشتری بر قابلیت هضم دارند. البته این اثرات در مقادیر بالای چربی جیره‌ها متصور بوده (۱۵) و به نظر می‌رسد استفاده از مقادیر ۵ درصد ماده خشک چربی در جیره اثر سوئی بر تخمیر نداشت و با تنظیم مقادیر مناسب الیاف می‌تواند تخمیر را بهبود بخشد. کیم و همکاران (۱۵) گزارش دادند که با افزودن مخلوط اسیدهای چرب، تولید اسیدهای چرب فرار تمایل به معنی‌داری داشت. به هر حال، باتمن و همکاران (۱۹۹۸) با استفاده کردن روغن سویا تا ۸ درصد جیره‌های با الیاف بالا دریافتند که مقدار چربی محافظت نشده اثری بر قابلیت هضم نداشت. باتمن و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که چربی حیوانی در جیره‌های کم الیاف بر مصرف خوراک اثر کاهنده داشت، اما در جیره‌های پر الیاف این اثر مشاهده نشد که پیشنهاد می‌کند که الیاف بالا در جیره شرایط رشد

در شکمبه برای تخمیر بیشتر و همچنین تجزیه بیشتر الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و همچنین نامحلول در شوینده خنثی اتفاق افتاده است.

پایین تری را نشان داده است که نشان از تأثیر منفی اسیدهای چرب آن بر فرآیند تجزیه ماده هضمی داشته و احتمالاً دلیل آن پدیده پوشش دادن میکروارگانسیم‌های شکمبه باشد. تجزیه‌پذیری پروتئین خام تحت تأثیر منابع متفاوت چربی در ساعات ۱۶ و ۴۸ از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. تجزیه‌پذیری الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در کل زمان انکوباسیون برای تیمارهای ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۳۸/۲۹، ۳۶/۱۲، ۳۳/۵۳ و ۳۳/۵۲ بود، که در جیره بدون چربی بیشتر بود (داده‌های منتشر نشده محققین). به نظر می‌رسد قابلیت تجزیه‌پذیری الیاف با افزودن چربی حیوانی و روغن کلزا تمایل به کاهش دارد. با افزودن روغن درصد تجزیه‌پذیری الیاف نسبت به چربی حیوانی و چربی کلسمی کاهش یافت. احتمالاً دلیل این افت، کاهش سطح تماس ناشی از پوشش ذرات مواد هضمی توسط روغن و همچنین کاهش رشد باکتری‌های هاضم الیاف شده و میکروارگانسیم‌های شکمبه‌ای دسترسی کمتری به ذرات مواد هضمی داشته و در نتیجه فرصت کمتری برای تجزیه الیاف خواهد داشت (۳۵). وانگ و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که فعالیت آنزیم‌های باکتری‌های سلولولایتیک به دلیل کاهش رشد باکتری‌های مذکور کمتر شده و در نتیجه قابلیت تجزیه‌پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی با مکمل کردن روغن سویا کاهش یافت.

زمان انکوباسیون شکمبه‌ای بیشتر از سایر تیمارها بود ($P=0/01$). این میانگین برای تیمارهای آزمایشی ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۷۱/۶۰، ۷۲/۰۳ و ۷۱/۵۰ و ۷۱/۲۸ درصد بود. تجزیه‌پذیری ماده خشک در ساعت ۲۴ برای تیمارهای ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۶۷/۰۳، ۶۷/۳۵، ۶۷/۶۳ و ۶۵/۵۰ درصد بود. تجزیه‌پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی در بین جیره‌های آزمایشی معنی‌دار نبود، ولی تمایل به معنی‌داری داشت. این نتایج با معنی‌دار بودن نتایج آزمون گاز همخوانی داشته به طوری که تفاوت جزئی هضم الیاف در این آزمایش با تولید بیشتر اسیدهای چرب فرار کوتاه زنجیره در تیمار خنثی کلسمی نسبت به تیمارهای دیگر می‌تواند مرتبط باشد. به نظر می‌رسد هضم الیاف بیشتر منجر به فعالیت بیشتر باکتری‌های لینگولیتیک منجر به تولید بیشتر SCFA شده است.

تجزیه‌پذیری موثر در سطح نرخ جریان ۵ درصد برای ماده خشک ($P=0/02$)، پروتئین خام ($P=0/04$) و NDF ($P<0/0001$) معنی‌دار بود. بیشترین تجزیه‌پذیری موثر برای ماده خشک مربوط به تیمار چربی کلسمی بوده و جیره‌های لیپیدی دیگر در مرتبه بعدی قرار داشته و جیره کنترل کمترین تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک را نشان داد. تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام برای چربی کلسمی و کنترل بیشتر از سایر تیمارها بود و لیکن چربی حیوانی و تیمار کنترل از لحاظ آماری تجزیه‌پذیری موثر مشابه‌ای داشتند و تیمار روغن گیاهی کمترین تجزیه‌پذیری موثر پروتئین را نشان داد. تجزیه‌پذیری موثر NDF در جیره اسیدچرب کلسمی بیشتر از سایر تیمارها بود. به نظر می‌رسد محیط شکمبه با چربی محافظت شده

جدول ۳- تجزیه پذیری ماده خشک، الیاف نامطول در شونده خشی و پروتئین خام در جیره های مع اسیدچرب کلسیمی نوی منابع متفاوت چربی در ساعات متفاوت انکوباسیون در شکمبه گوسفند
Table 3. Dry matter, NDF and crud protein degradability of diets containing different fat sources at different times of incubation in sheep rumen

ماده خشک (Dry matter)	ساعت (Hour)							
	96	72	48	24	16	8		
تیمار شاهد (Control)	71.6±0.74 ^{ab}	70.09±0.37 ^{ab}	68.47±0.38 ^b	67.03±0.28 ^b	63.43±0.34 ^b	60.48±0.42 ^b	51.1±0.3 ^b	38.03±0.29 ^c
چربی کلسیمی (Ca soap)	72.03±0.46 ^a	70.03±0.72 ^a	69.1±0.71 ^a	67.35±0.94 ^a	64.07±0.75 ^a	61.4±1.13 ^a	52.07±0.5 ^a	40.07±0.92 ^a
چربی حیوانی (Beef tallow)	71.5±0.42 ^{ab}	70.09±0.3 ^{ab}	69.23±0.44 ^a	67.63±0.46 ^a	64±0.83 ^a	60.8±0.84 ^b	51.5±0.42 ^b	39.07±0.5 ^b
روغن کلزا (Canola oil)	71.28±0.7 ^{ab}	68.32±0.97 ^b	67.17±0.87 ^c	65.5±1.1 ^c	63±0.83 ^b	58.83±1.05 ^c	49.67±1.27 ^d	37±1.1 ^c
P-Value	0.0512	0.0354	0.0541	0.0211	0.0415	0.0183	0.0174	0.0142
الیاف نامطول در شونده خشی (Neutral detergent fibers)	41.46±0.42	40.53±0.42	39.54±0.67	38.44±0.54	36.48±0.42	33.64±0.46	30.64±0.46	25.64±0.46
تیمار شاهد (Control)	47.54±0.42	46.61±0.45	45.63±0.45	44.53±0.42	42.56±0.48	40.39±0.44	37.06±0.84	32.39±0.44
چربی کلسیمی (Ca soap)	40±0.16	39.4±0.31	38.21±0.21	36.59±0.43	34.62±0.65	32.27±0.61	29.2±0.53	24.33±0.16
چربی حیوانی (Beef tallow)	39.56±0.5	38.8±0.72	37.58±0.43	36.48±0.42	34.47±0.36	32.17±0.21	29.32±0.42	24.35±0.47
روغن کلزا (Canola oil)	0.0911	0.1621	0.0781	0.0671	0.0871	0.0942	0.1342	0.1114
P-Value	0.0911	0.1621	0.0781	0.0671	0.0871	0.0942	0.1342	0.1114
پروتئین خام (Crud protein)	63.62±0.32	62.95±0.38	62.28±0.29	61.43±0.35	63.52±4.7	59.1±0.36	54.09±0.36	47.51±0.42
تیمار شاهد (Control)	63.51±0.42	62.85±0.26	62.17±0.36	61.13±0.22	60.12±0.5	58.47±0.42	53.92±0.4	46.79±0.32
چربی کلسیمی (Ca soap)	64.4±0.44	63.7±0.63	63.07±0.69	62.33±0.48	61.4±0.44	59.7±0.4	55.1±0.3	47.63±0.31
چربی حیوانی (Beef tallow)	62.99±0.28	62.19±0.3	61.51±0.42	60.78±0.43	59.8±0.37	58.1±0.38	52.92±0.39	46.46±0.41
روغن کلزا (Canola oil)	0.1131	0.0912	0.3451	0.1354	0.2151	0.1742	0.1654	0.1421
P-Value	0.1131	0.0912	0.3451	0.1354	0.2151	0.1742	0.1654	0.1421

اعداد دارای حروف و اختصارات لاتین متفاوت در هر ستون تفاوت معنی دار با یکدیگر دارند.

Means that have no superscript in column are significantly different from each diet.

چربی به عنوان نمک‌های کلسیم نامحلول از بیوهیدروژنه شدن جلوگیری کرده و اثرات منفی بر هضم الیاف ندارد. همان طور که در نتایج این آزمایش، کاهش هضم الیاف در تیمار چربی کلسیمی مشاهده نشد. به نظر می‌رسد تخمیر بهینه با تغذیه چربی‌های محافظت شده و از سوی دیگر کاهش هزینه‌ی متابولیک در شکمبه با عبور چربی‌های مذکور در کنار هضم بهینه الیاف، در دام‌های مزرعی می‌تواند به عنوان یک استراتژی مهم برای بهبود بهره‌وری مطرح باشد. این استراتژی به ویژه در دام‌های پر تولید و تحت تنش گرمایی حائز اهمیت خواهد بود.

فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک برای بخش سریع تجزیه (بخش a) تیمارهای آزمایشی به ترتیب برای تیمار ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۳۸/۲۵، ۴۰/۵۹، ۳۹/۳۶ و ۳۸/۷۱ درصد و برای بخش کندتجزیه (بخش b) ۳۱/۸۸، ۳۰/۱۵، ۳۱/۳۳ و ۳۱/۸۴ درصد بود. مفهوم کیتیک که در برگیرنده نرخ هضم و زمان باقی ماندن مواد خوراکی در شکمبه است، در این آزمایش تجزیه‌پذیری موثر در نرخ عبور ۲، ۵ و ۸ درصد معنی‌دار نبوده و لیکن در نرخ عبور ۵ و ۸ درصد تمایل به معنی‌داری دارد.

تجزیه‌پذیری موثر در سطح نرخ جریان ۵ درصد برای ماده خشک ($P=0/02$)، پروتئین خام ($P=0/04$) و NDF ($P<0/001$) معنی‌دار بود. بیشترین تجزیه‌پذیری موثر برای ماده خشک مربوط به تیمار چربی کلسیمی بوده و جیره‌های لیپیدی دیگر در مرتبه بعدی قرار داشته و جیره کنترل کمترین تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک را نشان داد. تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام برای چربی کلسیمی و کنترل بیشتر از سایر تیمارها بود و لیکن چربی حیوانی و تیمار کنترل از لحاظ آماری تجزیه‌پذیری موثر مشابه‌ای داشتند و تیمار روغن گیاهی کمترین تجزیه‌پذیری موثر پروتئین را نشان داد. تجزیه‌پذیری موثر NDF در

با توجه به تشابه بیشتر سه تیمار دارای منبع لیپیدی، تفاوت در اشباع بودن چربی و فرار از هضم شکمبه‌ای سبب بهبود رشد میکروارگانیسم‌های شکمبه و در نتیجه تجزیه بهتر الیاف شده است. تیمار روغن گیاهی تجزیه‌پذیری موثر محتوی بالای اسید چرب لینولئیک آزاد بدون پیوند با نمک‌های صابونی در جیره مشابه تیمار کنترل در این آزمایش، می‌تواند سبب ایجاد سطوح متفاوت مسمومیت با پیوندهای غیراشباع به جمعیت میکروبی شود، که به طور موقت روند بیوهیدروژنه شدن را مختل می‌کند و همچنین یک "بیوفیلیم" را در اطراف ذرات الیاف تشکیل می‌دهد، که تا حدی از تخریب و رشد باکتری‌های فیبرولیتیک جلوگیری می‌کند (۲۵). به همین ترتیب، هر عاملی که گروه باکتریایی را تحت تأثیر قرار دهد و کربوهیدرات‌های ساختاری را تخمیر کند، مانند وجود علوفه کم کیفیت و جیره کم نیتروژن، تأثیر منفی بر بیوهیدروژناسیون شکمبه خواهد گذاشت، زیرا این میکروارگانیسم‌ها مسئول بخشی از این فرآیند نیز هستند. به هر حال، صابونی شدن یکی از گزینه‌های مفید برای محافظت اسیدهای چرب در برابر بیوهیدروژنه شدن در شکمبه است. سطح تفکیک شکمبه‌ای صابون‌های اسید چرب که می‌توانند بیوهیدروژنه شدن آنها را انجام دهند، به مقادیر pH شکمبه و pKa اسید چرب که آنها را تشکیل می‌دهند بستگی دارد، که با استفاده از معادله هندرسون-ها سیخ محاسبه می‌شود (۳۲). بنابراین، هرچه pH شکمبه و pKa اسید چرب کمتر باشد، تفکیک در شکمبه بیشتر می‌شود (توسط عبور چربی). بنابراین، اگر صابون‌های اسیدهای چرب در جیره‌های غذایی گنجانده شوند سبب تخمیر شکمبه در سطوح مناسب می‌شوند (pH بین ۵/۷-۶/۸). احتمالاً جریان بیشتری از اسیدهای چرب غیراشباع به روده کوچک می‌رسد (۲۵) که از نظر متابولیک به صرفه‌تر است. به همین دلیل، تأمین

غلامعلی هلاکو و همکاران

رشد میکروارگانیزم‌های شکمبه و در نتیجه تجزیه بهتر الیاف شده است. تیمار روغن گیاهی تجزیه پذیری موثر پایین تری را نشان داده است که نشان از تأثیر منفی اسیدهای چرب آن بر فرآیند تجزیه ماده هضمی داشته و احتمالاً دلیل آن پدیده پوشش دادن میکروارگانیزم‌های شکمبه باشد (۳۵).

جیره اسیدچرب کلسیمی بیشتر از سایر تیمارها بود. به نظر می‌رسد محیط شکمبه با چربی محافظت شده در شکمبه برای تخمیر بیشتر و همچنین تجزیه بیشتر الیاف محلول در شوینده اسیدی و همچنین محلول در شوینده خنثی اتفاق افتاده است. با توجه به تشابه بیشتر سه تیمار دارای منبع لپیدی، تفاوت در اشباع بودن چربی و فرار از هضم شکمبه‌ای سبب بهبود

جدول ۴- اثر منابع متفاوت چربی بر تجزیه پذیری ماده خشک، پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی با استفاده از کیسه‌گذاری

نایلونی در شکمبه گوسفند

Table 4. Effects of different fat sources on dry matter, crude protein and NDF degradability using nylon bag technique in sheep rumen

تجزیه پذیری موثر در سطح ۵ درصد	نرخ جریان			فراسنجه های تجزیه پذیری				شاخص اندازه گیری
	Flow rate	Flow rate	Flow rate	Degradability factors				Factors
Effective degradability 5%	k=8%	k=5%	k=2%	c	a+b	b	a	تجزیه پذیری
ماده خشک (Dry matter)								
36.48 ^c	56.66	60.13	65.2	0.11	70.13	31.88 ^a	38.25 ^d	تیمار شاهد Control
39.69 ^a	58.43	61.66	66.31	0.12	70.74	30.15 ^b	40.59 ^a	چربی کلسیمی Ca soap
38.64 ^{ab}	58.14	61.46	66.2	0.12	70.69	31.33 ^a	39.36 ^b	چربی حیوانی Beef tallow
37.86 ^{bc}	57.52	60.93	68.85	0.12	70.55	31.84 ^a	38.71 ^c	روغن کلزا Canola oil
0.421	0.299	0.282	0.261	0.001	0.245	0.253	0.422	SEM
0.0252	0.1259	0.1586	0.2097	0.33	0.2765	<0.0001	0.0141	p-Value
پروتئین خام (Crud protein)								
47.07 ^{ab}	57.33	58.72	60.58	0.16	62.2	14.64	47.11 ^{ab}	ماده خشک (Dry matter)
47.96 ^a	57.76	59.2	61.12	0.16	62.81	15.07	47.86 ^a	تیمار شاهد Control
47.14 ^{ab}	57.03	58.61	60.8	0.14	62.79	15.65	47.02 ^a	چربی کلسیمی Ca soap
46.65 ^b	56.49	58.1	60.32	0.14	62.35	15.87	46.60 ^c	چربی حیوانی Beef tallow
0.172	0.267	0.226	0.17	0.007	0.155	0.279	0.28	SEM
0.0416	0.1308	0.135	0.144	0.4859	0.1553	0.965	0.0251	p-Value
الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber								
17.95 ^b	26.19 ^b	28.22 ^b	31.54 ^b	0.07	35.54 ^b	17.76 ^a	17.78 ^b	ماده خشک (Dry matter)
20.43 ^a	28.45 ^a	30.43 ^a	33.66 ^a	0.08	37.61 ^a	18.23 ^a	20.38 ^a	تیمار شاهد Control
16.21 ^c	23.71 ^c	25.77 ^c	29.20 ^c	0.07	33.29 ^c	17.90 ^{ab}	15.39 ^c	چربی کلسیمی Ca soap
15.72 ^c	23.69 ^c	25.79 ^c	29.34 ^c	0.07	32.90 ^c	17.45 ^b	15.45 ^c	چربی حیوانی Beef tallow
0.572	1.142	1.118	1.055	0.002	0.954	0.197	1.139	SEM
<0.0001	0.0214	0.0111	0.0134	0.3005	0.0011	0.0535	0.0412	p-Value

اعداد دارای حروف و اختصارات لاتین متفاوت در هر ستون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر دارند.

a= بخش محلول یا سریع تجزیه این بخش عرض از مبدأ منحنی تجزیه پذیری در ساعت صفر به درصد است.

b= بخش نامحلول و لیکن قابل تخمیر (درصد)، c= ثابت تجزیه یا نرخ تجزیه پذیری در ساعت، a+b= بالقوه قابل تجزیه یا تجزیه پذیری کل (درصد) و k

= نرخ جریان مواد متشکله. تجزیه پذیری موثر با معادله روبرو محاسبه شده است (ED=a+bc/(c+k))

Means that have different superscript in column are significantly different from each diet.

در جیره‌های آزمایشی الیاف جیره کنترل بالاتر و در عین حال بخش کربوهیدرات غیرالیافی آن نیز بالاتر است که در فرآیند تخمیر اثرات متفاوتی دارند. معمولاً الیاف بالاتر سبب کاهش تخمیر و از سوی دیگر کربوهیدرات غیرالیافی سبب افزایش تخمیر می‌شود.

رابطه بین ضرایب قابلیت هضم روش تولید گاز و فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری: ضرایب همبستگی بین فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک بدست آمده از روش کیسه‌های نایلونی و تولید گاز در جیره‌های محتوی منابع متفاوت لیپید در جدول ۵ آمده است. نتایج بررسی همبستگی فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک با تولید گاز نشان داد که همبستگی بسیار بالایی با برآورد انرژی قابل متابولیسم به روش تست گاز با بخش محلول و کند تجزیه و ثابت تجزیه در روش تجزیه پذیری کیسه های نایلونی وجود دارد ($P < 0/01$). این نتایج مشابه نتایج سایر محققین بود (۸). این نتیجه بیانگر آن است که بخش محلول خوراک و همچنین بخش کند تجزیه در برآورد انرژی قابل متابولیسم برآورد شده مورد استفاده قرار گیرد. به نظر می‌رسد تکرار بیشتر دو آزمایش می‌تواند منجر به استخراج روابط ریاضی بین این شاخص‌ها شود. مقایسه اسیدهای چرب کوتاه زنجیره برآورده شده با روش تست گاز با بخش سریع تجزیه در آزمایش کیسه‌های نایلونی همبستگی مثبت ($P = 0/05$) و با بخش کند تجزیه و ثابت نرخ تجزیه ماده خشک همبستگی آماری مشاهده نشد.

فراسنجه قابلیت هضم ماده آلی در تست گاز با بخش محلول و کند تجزیه همبستگی بسیار بالایی دارد ($P < 0/01$). از نکات جالب همبستگی منفی بالای بخش کند تجزیه با تولید گاز در ساعت ۱۲ تست گاز ($P = 0/01$) و همبستگی منفی بخش قابل تجزیه با تولید گاز در ساعت ۸ داشت ($P = 0/05$). البته بخش

محلول نیز همبستگی کمی با تولید گاز در ساعت ۱۲ نشان داد ($P = 0/11$). ثابت تجزیه با فراسنجه تولید گاز در ساعت ۲ همبستگی کمی نشان داد ($P = 0/16$). بخش محلول جیره‌های آزمایشی نیز با تولید گاز در ساعت ۴ همبستگی کمی نشان داد ($P = 0/11$). بخش کند تجزیه با تولید گاز در همین ساعت نیز همبستگی کمی داشت ($P = 0/07$). به نظر می‌رسد با افزایش تولید گاز در ساعت ۸ و ۱۲ بخش متوسط زنجیره در جیره‌های آزمایشی قابلیت تجزیه کمتری در شکمبه مشاهده شده است و تولید گاز با قابلیت تجزیه در ۱۲ ساعت اولیه همبستگی منفی با قابلیت تجزیه در جیره‌های محتوی منابع لیپیدی داشت (داده‌های منتشر نشده محققین این پژوهش).

اسیدهای چرب کوتاه زنجیره برآورد شده در آزمایش اول همبستگی مثبت بسیار بالایی با بخش محلول ($P = 0/005$)، همبستگی مثبت با بخش کند تجزیه ($P = 0/02$) و بخش قابل تجزیه ($P = 0/03$) در شکمبه برای جیره‌های محتوی منابع لیپیدی نشان داد. انرژی قابل متابولیسم برآورد شده با نتایج تست گاز با تجزیه‌پذیری پروتئین خام محلول و قابل تجزیه در شکمبه همبستگی بالایی نشان داد ($P = 0/01$). این شاخص با بخش قابل تجزیه پروتئین خام جیره دارای همبستگی کمی داشت ($P = 0/07$)

بررسی ضرایب همبستگی پیرسون فراسنجه ماده آلی قابل تجزیه برآورد شده با روش تست گاز با پروتئین محلول ($P = 0/02$)، کند تجزیه ($P = 0/009$) و کل پروتئین خام قابل تجزیه ($P = 0/007$) به دست آمده از روش کیسه‌های نایلونی همبستگی بسیار بالایی نشان داد. که نشان از بالا بودن سهم پروتئین قابل تجزیه بالاتر در ماده آلی جیره‌های محتوی منابع لیپیدی است.

بخش محلول پروتئین خام با تولید گاز در ساعات ۶ و ۱۲ همبستگی کمی نشان داد (به ترتیب ۰/۰۷ و

بود (به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۶۶). ضریب همبستگی این شاخص با بخش قابل تجزیه الیاف نامحلول در شوینده خنثی نیز معنی دار بود ($P=0/03$). انرژی قابل متابولیسم تخمین زده شده از تست گاز با ضرائب تجزیه پذیری بخش های مختلف الیاف نامحلول در شوینده خنثی همبستگی مثبت داشت. به طوری که این ضریب برای بخش محلول (۰/۷۲) و بخش کند تجزیه (۰/۷۰) بالا و بخش قابل تجزیه (۰/۵۸) معنی دار بود. این بدان معناست که با افزایش تجزیه پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی، انرژی قابل متابولیسم افزایش می یابد و نقش الیاف در تولید انرژی را در نشخوارکنندگان پررنگ تر می کند.

بخش کند تجزیه پروتئین خام با تولید گاز در ساعت ۱۲ همبستگی نشان داد ($P=0/02$) به طوری که با افزایش تجزیه بخش متوسط تجزیه پروتئین خام جیره های آزمایش، گاز کمتری تولید شده است.

نتایج بررسی ضرایب همبستگی پیرسون فراسنجه های تجزیه پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی در جیره های محتوی منابع متفاوت لیپید به روش *in situ* و فراسنجه های برآورد شده با روش تست گاز به روش *in vitro* در جدول ۸ آمده است. ضریب همبستگی اسیدهای چرب کوتاه زنجیره برآورد شده از داده های تست گاز با بخش محلول و بخش قابل تجزیه الیاف نامحلول در شوینده خنثی بالا

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین فراسنجه های تجزیه پذیری ماده خشک بدست آمده از روش کیسه های نایلونی و تولید گاز در جیره های محتوی منابع متفاوت لیپید.

Table 5. Correlation coefficients (r) between the degradability of dry matter parameters obtained from nylon bag technique and gas production in different lipid rations.

GP96	GP72	GP48	GP36	GP24	ثابت تجزیه c	بخش قابل تجزیه a+b	بخش کند تجزیه b	بخش سریع تجزیه a	ماده آلی قابل هضم OMD	انرژی قابل متابولیسم ME	اسیدچرب کوتاه زنجیره SCFA
0.4502	0.6615	0.0543	0.9547	0.8012	0.945	0.0321	0.0235	0.0053	0.0394	0.042	SCFA
0.2883	0.28	0.6298	0.9633	0.8246	0.887	0.0711	0.0122	0.0156	0.0192		0.61972 ME
0.685	0.7554	0.8971	0.8279	0.6316	0.7752	0.0077	0.0093	0.0029		0.6885	0.62589 OMD
0.3403	0.841	0.3237	0.7228	0.2882	0.565	<.0001	<.0001		0.80272	0.70399	0.7728 a
0.1859	0.7927	0.389	0.1973	0.1335	0.7239	<.0001		0.92429	0.73958	0.72138	0.67217 b
0.188	0.6739	0.1811	0.262	0.1115	0.4175		0.91084	0.93155	0.75096	0.56335	0.64506 a+b
0.7854	0.6659	0.241	0.5728	0.6737		0.27254	0.12061	0.19529	-0.09762	-0.04867	0.02363 c
0.0231	0.7434	0.8338	0.0687		-0.14353	-0.50689	-0.48177	-0.35213	-0.16319	-0.07586	0.08611 GP24
0.2559	0.8552	0.4719		0.56734	-0.19147	-0.37054	-0.42094	-0.1211	-0.07439	0.01577	0.01946 GP36
0.1625	0.4076		0.24281	0.07181	-0.386	-0.43512	-0.28882	-0.3287	-0.04431	-0.16406	-0.5934 GP48
0.6172		0.27813	-0.06248	-0.11181	-0.14714	0.14347	0.0899	0.06867	0.10646	-0.35782	-0.14919 GP72
	-0.17004	-0.45231	-0.37493	-0.67338	-0.09312	0.429	0.43077	0.3182	0.13836	0.35208	0.25444 GP96

بخش بالایی قطر ضریب p-value و پایین قطر ضرایب همبستگی را نشان می دهند.

^{۱،۲،۳} به ترتیب اسیدهای چرب کوتاه زنجیره، انرژی قابل متابولیسم و قابلیت هضم ماده خشک برآورد شده با روش (Steingass و Menke (۱۹۸۸)

و b، a به ترتیب بخش سریع تجزیه، کند تجزیه و ثابت تجزیه جیره های آزمایشی با روش کیسه های نایلونی

GP96H و GP72H، GP48H، GP36H، GP24H، GP12H، GP8H، GP6H، GP4H، GP2H

۶، ۸، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت انکوباسیون

جدول ۶- همبستگی بین ضرایب به دست آمده از روش آزمون گاز و فراسنج‌های تجزیه‌پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی در

جیره‌های محتوی منابع متفاوت لیپید

Table 6. Correlation coefficients (r) between the degradability parameters of NDF obtained from nylon bag technique and gas production in different lipid rations.

GP96	GP72	GP48	GP36	GP24	ثابت تجزیه c	بخش قابل تجزیه a+b	بخش کند تجزیه b	بخش سریع تجزیه A	ماده آلی قابل هضم OMD	انرژی قابل متابولیسم ME	اسیدچرب کوتاه زنجیره SCFA
0.4303	0.5652	0.0783	0.9912	0.8132	0.9923	0.035	0.0248	0.0079	0.0321	0.0185	SCFA ^۱
0.449	0.2735	0.6179	0.9717	0.7885	0.9208	0.0579	0.0144	0.0114	0.009		ME ^۲
0.6403	0.763	0.8138	0.6024	0.4293	0.811	0.0089	0.0073	0.0015		0.74171	OMD ^۳
0.3815	0.9416	0.2342	0.4318	0.1833	0.5318	<.0001	<.0001		0.83115	0.72613	A
0.1951	0.9762	0.2261	0.1006	0.0941	0.6118	<.0001		0.9437	0.75468	0.70962	B
0.2572	0.9615	0.109	0.1632	0.0857	0.3642		0.93807	0.95385	0.74244	0.58641	a+b
0.5807	0.457	0.1528	0.619	0.7218		0.30353	0.17259	0.2118	-0.08182	-0.03404	C
0.0539	0.7505	0.7765	0.0655		-0.12155	-0.54099	-0.52925	-0.43314	-0.26592	-0.09174	GP24
0.1954	0.9028	0.3959		0.57281	-0.16918	-0.45161	-0.52061	-0.26454	-0.17711	-0.01216	GP36
0.1855	0.3405		0.28486	0.09706	-0.46175	-0.51004	-0.39746	-0.39118	-0.0806	-0.16971	GP48
0.7125		0.31805	-0.04182	-0.10863	-0.2508	0.01653	0.01022	0.02511	0.10308	-0.3623	GP72
	-0.12579	-0.43118	-0.4226	-0.59427	-0.18762	0.37395	0.4228	0.29322	0.1591	0.25511	GP96

بخش بالایی قطر ضریب p-value و پایین قطر ضرایب همبستگی

^{۱،۲،۳} به ترتیب اسیدهای چرب کوتاه زنجیره، انرژی قابل متابولیسم و قابلیت هضم ماده خشک برآورد شده با روش (Steingass و Menke) (۱۹۸۸)

a، b و c به ترتیب بخش سریع تجزیه، کند تجزیه و ثابت تجزیه جیره‌های آزمایشی با روش کیسه‌های نایلونی

GP96H، GP72H، GP48H، GP36H، GP24H، GP12H، GP8H، GP6H، GP4H، GP2H و GP96H ضرایب همبستگی و تولید گاز در ساعات ۲، ۴، ۶، ۸

۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت انکوباسیون

نامحلول در شوینده خنثی و اسید لینولئیک بیشتر) تولید گاز کمتری نسبت به تیمارهای محتوی لیپید داشت. با توجه به بالاتر بودن کربوهیدرات غیرالیافی در تیمار کنترل به نظر می‌رسد بالاتر بودن NDF، اثر بیشتری بر روند تولید گاز داشته است. از سوی دیگر با توجه به کمتر بودن نسبت علوفه به کنسانتره نسبت به جیره گاوهای شیری، اثر پوشاندگی منابع لیپیدی به ویژه روغن گیاهی در کنار افزایش فعالیت آنزیم‌های لینگولپتیک متاثر از منابع لیپیدی بر محدودیت تولید گاز کم‌اثر بوده و با افزایش فعالیت آنزیم‌های مذکور دسترسی میکروبه‌های شکمبه برای تجزیه سلولز و همی سلولز بیشتر شده و تخمیر بهبود می‌یابد. این به معنای استفاده بیشتر از اسکلت کربنی این مواد شیمیایی برای ساخت ترکیبات میکروبی و در نهایت متابولیت‌های مورد نیاز دام خواهد بود.

بخش محلول، کند تجزیه و کل الیاف نامحلول در شوینده خنثی قابل تجزیه با قابلیت هضم ماده‌آلی به دست آمده از تست گاز همبستگی بسیار بالایی نشان داد ($P < 0.01$). بخش سریع تجزیه الیاف نامحلول در شوینده خنثی با تولید گاز در ساعت ۱۲ همبستگی منفی داشت ($P = 0.03$). البته بخش کند تجزیه ($P = 0.03$) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی قابل تجزیه و نیز با تولید گاز در ساعت ۱۲ همبستگی داشته و در ساعت ۲۴ تمایل به معنی‌داری داشت.

نتیجه گیری

تولید گاز و نرخ آن با تغییر منابع لیپیدی متفاوت بود. تولید گاز در تیمار چربی محافظت شده در شکمبه (نمک کلسیمی) نسبت به چربی حیوانی و روغن گیاهی بیشتر بود. تیمار کنترل (با الیاف

بهینه‌ای از چربی محافظت شده و الیاف کافی در جیره یکی از راهکارهای افزایش و بهبود بهره‌وری در دامپروری باشد.

نتایج بررسی همبستگی نتایج دو آزمایش به روش کیسه‌های نایلونی و آزمایشگاهی نشان داد که همبستگی بسیار بالایی برای برآورد انرژی قابل متابولیسم، SCFA، قابلیت هضم ماده آلی به روش تست گاز با بخش a و کند تجزیه و ثابت تجزیه در روش تجزیه‌پذیری کیسه‌های نایلونی وجود دارد. با این نتایج می‌توان توصیه کرد که در جیره‌های محتوی منابع لیپیدی تا سطح ۵ درصد روش تولید گاز جایگزین بسیار مناسبی برای ارزیابی سریع‌تر و ارزاتر کتیک هضم و شناخت رفتار جیره‌های آزمایشی به جای روش کیسه‌های نایلونی باشد. از این رو با توجه به اینکه بسیاری از سیستم‌های ارزیابی خوراک از جمله نورفور از تکنیک کیسه‌های نایلونی برای تجزیه‌پذیری دیواره سلولی و پروتئین خام استفاده می‌کنند، روش آزمون گاز می‌تواند در این بین برای ارزیابی آسانتر و سریعتر مواد خوراکی پیشنهاد شود.

منابع

1. Aluwong, T., Kobo, P.I. and Abdullahi, A. 2010. Volatile fatty acids production in ruminants and the role of monocarboxylate transporters: Review. *African Journal of Biotechnology*. 9(38). 6229-6232.
2. AOAC. 2002. AOAC International Methods Committee Quidelines for validation of qualitative and quantitative food microbiological official methods of analysis. *Journal of AOAC International*. 85(5): 1187-1200.
3. Azizi-Shotorkhoft, A., Mohammadabadi, T., Motamedi, H., Chaji, M. and Fazaeli, H. 2016. Isolation and identification of termite gut symbiotic bacteria with lignocellulose-degrading potential, and their effects on the nutritive value for ruminants of some

قابلیت هضم ماده آلی و انرژی قابل متابولیسم برآورد شده از روش تولید گاز در اسیدچرب محافظت شده، نسبت به سایر تیمارها بالاتر بود که شرایط بهینه تخمیر در محیط بافزی را نشان می‌دهد. از سوی دیگر تولید اسیدهای چرب فرار در این نوع چربی‌ها نیز کمی بیشتر از سایر لیپیدها بود. نرخ تجزیه‌پذیری ماده خشک، پروتئین خام و NDF در چربی کلسیمی نسبت به سایر تیمارها بالاتر بوده و در شکمبه با سرعت بیشتری تجزیه شد. که احتمالاً ناشی از تفاوت در درجه اشباع، محافظت در شکمبه، فرار از هضم شکمبه‌ای بوده، سبب بهبود رشد میکروب‌های شکمبه و در نتیجه هضم بهتری برای مواد خوراکی در بر دارد. به نظر می‌رسد این تصویری از شمای کلی حاکم بر استفاده از انواع لیپیدها باشد به طوری که چربی‌های محافظت شده در شکمبه، کارایی بهتری از روغن گیاهی (دارای اسیدهای چرب غیراشباع) و همچنین چربی حیوانی (دارای اسیدهای چرب اشباع) نشان می‌دهد. همچنین برای افزایش بهره‌وری و افزایش درآمد دامداران، تنظیم ترکیب

- by-products. *Animal Feed Science and Technology*. 221: 234-242.
4. Bateman II, H.G. and Jenkins, T.C. 1998. Influence of soybean oil in high fiber diets fed to nonlactating cows on ruminal unsaturated fatty acids and nutrient digestibility. *Journal of Dairy Science*. 81(9): 2451-2458.
 5. Bauman, D.E. and Lock, A.L. 2006. Concepts in lipid digestion and metabolism in dairy cows. In *Proceedings of the Tri-State Dairy Nutrition Conference*, Fort Wayne, Indiana, USA, 25-26 April. Ohio State University. 1-14.
 6. Beam, T.M., Jenkins, T.C., Moate, P.J., Kohn, R.A. and Palmquist, D.L. 2000. Effects of amount and source of fat on the rates of lipolysis and biohydrogenation of fatty acids in

- ruminal contents. Journal of Dairy Science. 83(11): 2564-2573.
7. Belhadj Slimen, I., Najar, T., Ghram, A. and Abdrrabba, M. 2016. Review: Heat stress effects on livestock: molecular, cellular and metabolic aspects. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 100(3): 401-412.
 8. Blummel M. and Ørskov, E. 1993. Comparison of *in vitro* gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting feed intake in cattle. 40(2-3): 109-119.
 9. Chalupa, W., Rickabaugh, B., Kronfeld, D. and Sklan, S.D. 1984. Rumen fermentation *in vitro* as influenced by long chain fatty acids. Journal of Dairy Science. 67(7): 1439-1444.
 10. Getachew, G., Blümmel, M., Makkar, H.P.S. and Becker, K. 1998. *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. Animal Feed Science and Technology. 72(3-4): 261-281.
 11. Grummer, R.R. 1988. Influence of prilled fat and calcium salt of palm oil fatty acids on ruminal fermentation and nutrient digestibility. Journal of Dairy Science. 71(1): 117-123.
 12. Jenkins, T. 1993. Lipid metabolism in the rumen. Journal of Dairy Science. 76(12): 3851-3863.
 13. Jing, Y.J., Wang, Y.F., Wang, M.Z., Gao, J., Ouyang, J.L. and Cheng, L. 2019. Effects of certain long-chain fatty acid combinations on the ruminal microbe species relating to fermentation type *in vitro*. Indian Journal of Animal Research. 53(6).
 14. Kholif, A.E., Morsy, T.A., Abd El Tawab, A.M., Anele, U.Y. and Galyean, M.L. 2016. Effect of supplementing diets of Anglo-Nubian goats with soybean and flaxseed oils on lactational performance. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 64(31): 6163-6170.
 15. Kim, H., Jung, E., Lee, H.G., Kim, B., Cho, S., Lee, S., Kwon, I. and Seo, J. 2019. Essential oil mixture on rumen fermentation and microbial community—an *in vitro* study. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 32(6): 808.
 16. Kumar, S.R., Reddy, Y.R., Kumari, N.N., Sridhar, K. and Rao, D.S. 2017. *In vitro, in situ* and *in vivo* evaluation of straw based diets supplemented with bypass fat as concentrated energy source in Murrah buffaloes. Buffalo Bulletin. 36(2): 357-368.
 17. Makkar, H.P.J.A.Q., Production, S.O.A.F.F.A. and Series, H. 2004. Recent advances in the *in vitro* gas method for evaluation of nutritional quality of feed resources. 160: 55-88.
 18. Mansuri, H., Nikkhah, A., Rezaeian, M., Moradi Shahraback, M. and Mirhadi, M. 2003. Determination of Roughages degradability through *in vitro* gas production and nylon bag techniques. Iranain Journal of Agricultural Sciences. 34(2): 495-507.
 19. Menke, K.H. and Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Animal research and development. 28(1): 7-55
 20. Mohammadzade, H. 2018. Degra. Degradability and gas production parameters calculation system. software, V.3.00, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture. Tabriz University. Iran.
 21. Mould, F.K., K.E., Morgan, R. and Mauricio, R.M. 2005. *In vitro* microbial inculum: A review of its function and properties. Journal of Animal Feed Science and Technology. 123: 31-50.
 22. Murillo, M., Herrera, E., Reyes, O., Gurrola, J.N. and Gutierrez, E., 2011. Use *in vitro* gas production technique for assessment of nutritional quality of diets by range steers. African Journal of Agricultural Research. 2522-2526.
 23. Ørskov, E., Hovell, F.D.B. and Mould, F. 1980. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. Tropical Animal Production. 5(3): 195-213.
 24. Ørskov, E. and McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. Journal of Agricultural Science. 92(02): 499-503.

25. Owens, F.N. and M. Basalan. 2016. Ruminant fermentation, in Rumenology Springer. (Eds DD Millen, M De Beni Arrigoni, RD Lauritano Pacheco). 63-102.
26. Palmquist, D. and T. Jenkins. 2017. A 100-year review: fat feeding of dairy cows. Journal of Dairy Science. 100(12): 10061-10077.
27. Ramin, M., Krizsan, S., Jancik, F. and Huhtanen, P. 2013. Short communication: measurements of methane emission from feed samples in filter bags or dispersed in the medium in an *in vitro* gas production system. Journal of dairy science. 96: 4643-4646.
28. Rodrigues, J.P.P., Ramin, M., Huhtanen, P., Aru, F., Detmann, E. and Marcondes, M.I. 2018. Effect of soya bean oil supplementation and forage type on methane production and fibre digestibility using the *in vitro* gas production system. Grass and Forage Science. 73(2): 368-380.
29. Rusli, N.D., Azmi, M.A., Mat, K., Hasnita, C.H., Wan-Zahari, M., Azhar, K., Zamri-Saad, M. and Hassim, H.A. 2019. The effect of physical and Biological Pre-treatments of Oil Palm Fronds on *in vitro* Ruminant Degradability. Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science. 42(2).
30. SAS. 2013. Statistical Analysis Systems. Software, V.9.4 (TS1M2), SAS Institute, Cary, NC.
31. Steele, W., Noble, R.C. and Moore, J.H. 1971. The effects of 2 methods of incorporating soybean oil into the diet on milk yield and composition in the cow. Journal of Dairy Research. 38: 43-48.
32. Sukhija, P.S. and Palmquist, D. 1990. Dissociation of Calcium Soaps of Long-Chain Fatty Acids in Rumen Fluid. Journal of Dairy Science. 73(7): 1784-1787
33. Van Soest, P.V., Robertson, J. and Lewis, B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science. 74(10): 3583-3597.
34. Wang, M., Jing, Y., Wang, Y., Liu, S., Gao, J., Ouyang, J. and Vercoe, P. 2019. Effects of unsaturation of long-chain fatty acids on rumen protozoal engulfment and microbial protein recycling in protozoa *in vitro*. Animal Production Science. 59(4): 647-653.
35. Wang, C., Liu, Q., Guo, G., Huo, W.J., Ma, L., Zhang, Y.L., Pei, C.X., Zhang, S.L. and Wang, H. 2018. Effects of dietary soybean oil and coated folic acid on ruminal digestion kinetics, fermentation, microbial enzyme activity and bacterial abundance in Jinnan beef steers. Livestock Science. 217: 92-98.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Ruminant Research, Vol. 8(4), 2021
<http://ejrr.gau.ac.ir>

Effect of three sources of lipid on gas production and degradability of dry matter, neutral detergent fiber, and crude protein using *in Sacco* and *in vitro* techniques

*G. Halakoo¹, A. Teimouri Yansari², Y. Chashnidel³ and M. Mohajer⁴

¹Ph.D. Graduated, ²Professor and ³Associate Prof., Dept of Animal Sciences, Faculty of Animal Sciences and Fishery, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran, ⁴Assistant prof., Dept. of Animal Sciences Research, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Gorgan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

Received: 11/20/2019; Accepted: 03/17/2020

Abstract

Background and objectives: Fat is one of the most important nutrients in ruminant nutrition and its fate is effective in the efficiency of feed usage in the gut, especially in the fermentation medium and rumen. It is important to know about the digestibility and energy content of feed ingredients as well as their dry matter degradability, neutral detergent fiber (NDF), and crude protein as measurable nutrients when formulating balanced diets for ruminants. Also, it is important to clearly understand the mechanisms of nutrient degradability and their digestion and absorption while considering the increase in the income of farmers. To study the digestive properties and fermentation kinetics of experimental diets, measuring the gas production was introduced and applied *in vitro* by incubating feed ingredients within the buffered rumen fluid in late 1970. On the other hand, the nylon bag technique is used to estimate dry matter disappearance, NDF, crude protein, and digestive parameters. In the current study, the effects of different lipid sources on gas production (*in vitro*), degradability of dry matter, NDF, and crude protein (*in sacco*) were evaluated within the lipid-containing treatments. Pearson method was applied to evaluate the correlation coefficients of measured parameters.

Material and methods: Two experiments were conducted to evaluate the fate and behavior of feed ingredients and the kinetics of digestion of three fat sources. In the first experiment, the amount of gas production from the digestion of four experimental treatments including 1) no added lipid source (control) and 2, 3, and 4) with 5% calcium fatty acid, animal fat, and rapeseed oil, respectively, incubated in rumen fluid, was measured *in vitro*. In the second trial, 4 rumen fistulated Dalagh rams were allotted to measure dry matter, fiber, and crude protein degradability parameters within treatments, using the nylon bag technique. Finally, the Pearson method was used to analyze the results of the correlation between the two experiments.

Results: The gas production was higher in the control when compared to the other lipid-containing treatments at the first 2 h of incubation, while it was not significant at 24 h and it was significant at 96 h within the lipid-containing treatments comparing to the control. Organic matter digestibility, production of short-chain volatile fatty acids, and metabolizable energy in the gas test were significantly higher in the calcium fatty acid

*Corresponding author; flowermino@gmail.com

treatment than in the control, animal fat and rapeseed oil treatments ($P < 0.05$). The dry matter degradability of calcium fatty acid treatment was higher than other fat sources within the whole ruminal incubation period ($P = 0.01$). The potential for crude protein degradability and fiber degradability were not significantly affected by the different fat sources ($P = 0.07$). The degradability of NDF decreased slightly when fat sources were added to the treatments. In this experiment, high correlations were observed in the estimation of biodegradability and prediction parameters of dry matter, crude protein, and NDF in the experimental treatments within the gas test and nylon bag techniques.

Conclusion: Results from the current study showed that gas production and biodegradability were different in treatments containing lipid sources. Diets containing protected fat with higher digestibility produced more short-chain fatty acids, higher metabolizable energy, and greater volume of gas at 96 h after incubation within the rumen fluid than that produced by animal fat and vegetable oil containing treatments. The highest effective degradability was observed at 5% flow level for dry matter, crude protein and NDF. All of these results indicate that although the incorporation of lipid sources especially protected fat as the energy source has no adverse effect on fermentation, its application also has increased fermentation efficiency. On the other hand, a high correlation was observed between the parameters of the gas test (SCFA, ME, and organic matter digestibility) and the nylon bag technique (a, b and c) using the Pearson method. To conclude, the gas test can be used to evaluate the lipid sources added to the rations with a high efficiency instead of the costly nylon bag technique.

Keywords: Beef tallow, Calcium fatty acids, Canola oil, Gas test, Nylon bag

