د کابل پوهنتون دطبيعي علومو علمي ـــ څېړنيزه مجله
مجـــله علـــمی- تحقیقی علـــوم طبیعی پوهنتون کابل
Journal of Natural Sciences – Kabul University
e-ISSN:3078-6665 P-ISSN:3078-5561

عوامل مؤثر بر تخمر شکمبه و تأثیر آن بر رشد و کیفیت محصولات در نشخوارکننده‌گان

پوهندوی دکتور نورالله احمدزی

دیپارتمنت پرورش حیوانات، پوهنځی علوم وترنری، پوهنتون کابل، کابل، افغانستان
ایمیل: nahmadzai83@gmail.com

چکیده

نشخوارکننده‌گان دارای یک جمعیت میکروبی پیچیده شکمبه‌یی است که حیوان را قادر می‌سازد تا خوراک گیاهی خود را از طریق تخمر میکروبی هضم کند. تغذیه نشخوارکننده‌گان با مقدار بیشتر حبوبات، منجر به رسوب اسیدهای چرب اشباع شده و باعث بروز اسیدوز شکمبه می‌شود. عوامل مؤثر می‌تواند با اثرات اسیدی چنین رژیم‌های غذایی در شکمبه مقابله کند و ترکیب اسیدهای چرب را به طرف مثبت تغییر دهد که از یافته‌های این مطالعه می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی عوامل مؤثر بر تخمر جمعیت میکروبی شکمبه و تأثیر آن بالای تجزیه‌ی ترکیبات مواد مغذی به اسیدهای چرب مفر و پروتیین‌های میکروبی است. برای استحصال این هدف از مقالات نشر شده پیرامون موضوع استفاده شده است. از این‌که محصولات نهایی تخمر شکمبه‌یی برای تغذیه نشخوارکننده‌گان باعث ایجاد وابستگی متقابل بین میکرواورگانیزم‌های مختلف می‌شود، تأثیر آن بر رشد و کیفیت محصولات حیوانی از اهمیت به سزای بر خوردار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تخمر شکمبه؛ میتابولیزم میکروبیوم؛ میکروبیتای شکمبه؛ محصولات حیوانی

Factors Affecting Rumen Fermentation and Its Effects on Growth and Product Quality in Ruminants

Noorullah Ahmadzai

Department of Animal Production, Faculty of Veterinary Sciences, Kabul University, Kabul, Afghanistan
Email: nahmadzai83@gmail.com

Abstract

Ruminants possess a complex ruminal microbial population that enables them to digest plant-based feed through microbial fermentation. Diets rich in legumes can lead to the deposition of saturated fatty acids and may cause rumen acidosis. However, certain factors can mitigate the acidic effects of such diets in the rumen, positively altering the composition of fatty acids. This is one of the significant findings highlighted in this study, along with the breakdown of nutrients into fatty acids and microbial proteins. To explore these dynamics, relevant published articles were reviewed. The mutual dependence between various microorganisms in the rumen fermentation process directly impacts the growth and quality of animal products, making it a crucial area of focus for the food industry.

Keywords: Animal Products; Micro Biome Metabolism; Rumen Fermentation; Rumen Micro Biota; Yeast

ارجاع: احمدزی، ن. (۲۰۲٤). عوامل مؤثر بر تخمر شکمبه و تأثیر آن بر رشد و کیفیت محصولات در نشخوارکننده‌گان. *مجله علمی- تحقیقی علوم طبیعی پوهنتون کابل*، *۷(۳)*، ۱۱۱-۱۲۵.
https://doi.org/10.62810/jns.v7i3.318

مقدمه

در میان حیوانات اهلی، نشخوارکننده‌گان سهم بزرگی را در تأمین خوراک و سلامت بشر دارند. از جانب دیگر نشخوارکننده‌گان؛ مانند گاو، گوسفند و بز طوری تکامل یافته اند که از لیف ناخالص استفاده خوب می‌نمایند (Accetto, 2019). سازگاری اناتومیکی سیستم هضمی نشخوارکننده‌گان به آن‌ها اجازه می‌دهد تا از سلولوز به عنوان منبع انرژی بدون نیاز به منابع خارجی ویتامین B کمپلکس و یا امینواسیدهای ضروری استفاده شود. بنابراین، یک رابطه هم‌زیستی در شکمبه وجود دارد که محیط لازم را برای استقرار میکرواورگانیزم‌ها و بسترهای مورد نیاز برای نگهداری آن‌ها فراهم نموده که به نوبه خود، میکرواورگانیزم‌ها مواد مغذی را برای نشخوارکننده‌ی میزبان جهت تولید انرژی فراهم می‌کنند(Weiss, 2017). معده حیوانات نشخوارکننده از چهار بخش تشکیل گردیده است (Allen, 2013). سه بخش اول فاقد هر گونه غده بوده و پیش معده نامیده شده و بخش آخر(شکمبه) جایی است که هضم میکروبی یا تخمر در آن صورت می‌پذیرد. شکمبه دارای انواع باکتریاها، پروتوزواها و قارچ‌ها است اما باکتریا در تمام پروسه‌های تخمر شکمبه‌یی نقش غالب را بازی می‌کند (Aluwong, 2010).

تخمر شکمبه‌یی، نتیجه میتابولیزم باکتریاها، قارچ‌ها و پروتوزواهایی محیط شکمبه اند. مسیرهای میتابولیکی آن‌ها به نوع درهم آمیخته شده اند که محصول نهایی یا میتابولیت‌های واسطه هر نوع میکرواورگانیزم، بستر میکرواورگانیزم دیگری شده می‌تواند. بنابراین، میکرواورگانیزم‌ها به محصولات نهایی تخمر شکمبه‌یی که برای تغذیه نشخوارکننده‌گان ضرور است، دست می‌یابند. این وضعیت باعث ایجاد وابستگی متقابل بین میکرواورگانیزم‌های مختلف می‌شود (Achenbach, 2011).

شکمبه یک محیط پیچیده است که در آن مواد مغذی مصرف شده توسط میکرواورگانیزم‌ها؛ مانند باکتریاها، پروتوزواها و قارچ‌ها به صورت غیر هوازی هضم می‌شوند (Bhatia, 1974). محصولات نهایی تخمر شکمبه، اسیدهای چرب فرار (VFAs) و زیست کتله‌ی میکروبی هستند که توسط نشخوارکننده میزبان استفاده می‌شود. تعامل بین میکرواورگانیزم‌ها و حیوان میزبان منجر به یک رابطه همزیستی می‌شود که به نشخوارکننده‌گان اجازه می‌دهد رژیم‌های غنی از لیف و پروتئین کم را هضم کنند. محیط شکمبه، به میکرواورگانیزم‌ها کمک می‌کند تا انزایم‌های لازم برای هضم مواد مغذی را فراهم کنند. نشخوارکننده‌گان این توانایی را دارند که لیف بی‌کیفیت را به محصولاتی مانند گوشت و شیر که برای انسان مفید هستند تبدیل کنند. همچنان توانایی میکرواورگانیزم‌های شکمبه برای تولید

انزایم‌های لازم در پروسه‌ی تخمر به نشخوارکننده‌گان این امکان را می‌دهد تا انرژی موجود در علوفه‌ها را به طور مؤثر بدست آورند (Betancur, 2022).

در ارتباط با رشد سریع جمعیت انسانی، افزایش متناظر در تقاضا برای محصولات حیوانی در کشورهای در حال توسعه منجر به تشدید تولید محصولات حیوانی در سرتاسر جهان شده است که استفاده از رژیم غذایی با حبوبات را به منظور تقویت تولید حیوان ضروری می‌کند (Bodas, 2012). با این حال، استفاده از رژیم غذایی دانه‌ها برای بهبود محصولات، حیوانات را مستعد افزایش رسوب چربی و اختلالات میتابولیکی مانند اسیدوز در نشخوارکنندگان می‌کند. به این ترتیب، استفاده از افزودنی‌های خوراکی که سلامت شکمبه را هنگام تغذیه با جیره‌های حبوبات بهبود می‌بخشد، ضروری است. این مقاله با هدف ارائه یک نمای کلی از عوامل مؤثر بر تخمر شکمبه بر عملکرد، رشد pH شکمبه، میکروبیوتای شکمبه، متابولیزم میکروبیوم شکمبه و تأثیر آن بر فیزیولوژی میزبان و رابطه آن‌ها با حاصل‌دهی محصولات حیوانی در نشخوارکننده‌گان است.

قبل از این‌که به عوامل مؤثر بر تخمر شکمبه پرداخته شود لازم است در موارد؛ مانند محتویات شکمبه، گازهای حاصل از تخمر، اسیدهای چرب فرار و غیره به‌طور مختصر یادآوری شود.

محتویات شکمبه و ویژگی‌های تخمر در نشخوارکننده‌گان

شکمبه یک عضو پیچیده است که محل میکرواورگانیزم‌هایی‌که می‌توانند ترکیبات مواد مغذی در خوراک را به سوبستراهایی؛ مانند اسیدهای چرب مفر و پروتئین‌های میکروبی تجزیه کنند و نشخوارکننده‌گان می‌توانند از آن‌ها برای رشد استفاده نماید. محتویات شکمبه به صورت طبقه‌یی از ناحیه شکمی تا ناحیه پشتی از هم متمایز می‌باشند. همچنین بین محتویات قسمت‌های جلویی و عقبی شکمبه نیز تفاوت‌هایی وجود دارد، گازهای حاصل از تخمر در قسمت فوقانی شکمبه تجمع می‌یابند (Brown, 2006).

میکروبیوم (Micro biome): کتله‌ی جنیتیکی از میکرواورگانیزم‌ها در محیطی خاص است. میکروبیوم شکمبه نقش اساسی در تغذیه و انتخاب برای افزایش کارایی و همچنین سلامت نشخوارکننده‌گان دارد. انواع مختلف میکروبی موجود در میکروبیوم بر کارایی مصرف خوراک نشخوارکننده‌گان، انتشار میتان، تولید آمونیا و سلامت تأثیر می‌گذارد. اسیدهای چربی که در پروسه‌ی تخمر توسط میکروبیوم شکمبه تولید می‌شوند، می‌توانند تا ۷۰٪ انرژی نشخوارکننده‌گان را تولید کنند. میکروبیوم شکمبه عمدتاً متشکل از تجزیه‌کننده‌هاي غیر هوازي اند که میکرواورگانیزم‌ها جهت تولید حیوان از طریق رابطه همزیستي با

میزبان ارتباط برقرار می‌کنند. تعداد کمی میکرواورگانیزم‌های هوازی وجود دارند که وظیفه آن‌ها حذف اکسیجن است که در هنگام تغذیه به شکمبه وارد می‌شود (Burns, 2008).

میکروب‌های تولیدکننده متان، قارچ‌های غیر هوازی و پروتوزواها نیز بخشی از جمعیت میکروبیوم شکمبه را تشکیل می‌دهند. تنوع زیاد در انواع میکروبی به دلیل تأمین اجزای غذایی از خوراک و حذف مداوم محصولات نهایی تخمر؛ مانند اسیدهای چرب فرار (VFA) و متان است. حتی اگر تغذیه بیشترین تأثیر را در میکروبیوم شکمبه داشته باشد، هسته میکروبیوم شکمبه نیز تحت تأثیر ترکیب جنیتیکی میزبان قرار می‌گیرد (Callaway, 1997).

میکروبیوتا (Micro biota): موجودات زنده میکروسکوپی فعالی هستند که در محیطی خاص؛ مانند جهازهاضمه وجود دارند. عواملی که بر گسترش کتله میکروبی در گوساله‌های جوان تأثیر می‌گذارند عبارتند از: کتله میکروبی مادر، محیطی که گوساله در آن متولد شده است، مصرف فله، نوع خوراک مصرفی گوساله، مواجع شدن با عوامل بیماری‌زا و استفاده از انتی بیوتیک‌ها. تجمع باکتریاها در تمام جهازهاضمه از جمله شکمبه خیلی سریع اتفاق می‌افتد. اگرچه میکروفلور شکمبه خیلی سریع توسعه می‌یابد؛ اما همانطور که حیوان بالغ می‌شود میکروبیوم شکمبه تغییرات معنی‌داری می‌کند (Chaudhary, 1995).

میکروب‌های مفید: استراتیژی‌هایی مانند استفاده از مواد افزودنی می‌تواند برای افزایش میکروب‌های مفید در داخل میکروبیوم شکمبه استفاده شود. از این رو می‌توان از شناسایی انواع میکروبی شکمبه برای پیش‌بینی مؤثریت خوراک حیوان استفاده کرد. محققان دریافته اند، حیوانات که دارای تولید حاصل بلند اند، توانایی بیشتر در تخمر سولسینات به پروپیونات دارند. باکتریاهای تولیدکننده‌ی پروپیونات ازهایدروجن، محصول جانبی پروسه‌ی تخمر، برای تولید پروپیونات استفاده می‌کنند و در نتیجه انرژی حیوان افزایش می‌یابد. مطالعات نشان داده است که نسبت پروپیونات به استات در حیوانات پرحاصل بیشتر است. تغییر متوازن خوراک ممکن است به افزایش تخمر میکروبی و متابولیزم انرژی نسبت داده شود. بنابراین، اگر طیف وسیعی از مواد مغذی با یک تغذیه مناسب به مواد مغذی قابل سوخت و ساز تبدیل شوند، حاصل حیوان می‌تواند افزایش یابد. در این صورت تنوع جمعیت میکروبیوم شکمبه نیز بر حاصل‌دهی حیوان تأثیر می‌گذارد (Aluwong, 2010).

تولید میتان و انرژی: متان می‌تواند باعث کاهش ۲ تا ۱۲ واحد انرژی شود و حیوانات پرحاصل ۲۰ تا ۲۶ در صد متان کمتر تولید می‌کنند. در این روزها کاهش انتشار گاز میتان به یکی از مباحث مهم پرورش حیوانات تبدیل شده است؛ زیرا میتان تأثیر منفی بر محیط زیست دارد و نشخوارکننده‌گان یکی

از عمده‌ترین تولیدکننده‌گان میتان هستند. فراوانی میکروب‌هایی مانند Archaea که در انتشار میتان تأثیر می‌گذارد، می‌تواند کاهش یابد. در نتیجه انرژی بیشتری برای تولید در دسترس حیوان قرار می‌گیرد (Chiba, 2014).

گازهای حاصل از تخمر: تولید گاز در نشخوارکننده‌گانی مانند گاو ۲ تا ۴ ساعت بعد از هر وعده‌ی غذایی به ۴۰ لیتر در ساعت می‌رسد. یعنی زمانی‌که سرعت تخمر در بیشترین مقدار خود می‌باشد (Cole, 1982). گازهای اصلی شکمبه عبارتند از: کاربن دای اکساید ٦٠٪ ، میتان ۳۰ تا ۴۰ ٪، مقادیر متفاوتی از نایتروجن ، مقدار کمی‌هایدروجن پروکساید. گازهای تجمع‌یافته در قسمت فوقانی شکمبه را عمدتاً گازهای کاربنیک و متان تشکیل می‌دهند. متان یک گاز گلخانه‌یی قوی و بعد از کاربن‌دای‌اکساید عامل اصلی اثر گلخانه‌یی است. به طوری که حدود ۲۰ درصد از اثر گلخانه‌یی به دلیل حضور گاز متان می‌باشد. نشخوارکنندگان مسئول تولید ١٦ الی ۲۰ درصد از گاز متان گلخانه‌یی اتمسفر می‌باشند که ۷۵ فیصد آن به وسیله‌ی گاوها تولید می‌شود (Ding, 2009, Ellis, 2008).

اسیدهای چرب فرار: مقدار اسیدهای چرب فرار ۴ ساعت بعد از مصرف خوراک به حداکثر می‌رسد. اسیدهای چرب فرار منبع اصلی تأمین انرژی قابل متابولیزم برای حیوان نشخوارکننده می‌باشند. حدود ٦٠ الی ۷۰ درصد از انرژی اپیتلیوم روده از اسیدهای چرب، به ویژه از بوتیرات مشتق شده است. اسیدهای چرب فرار حدود ۸۰ درصد از انرژی ذخیره‌ی نشخوارکنندگان را تأمین می‌کنند، اسیدهای چرب فرار اصلی شکمبه به ترتیب عبارتند از: استیک، پروپیونیک، بوتیریک، ایزوبوتیریک، والریک، ایزو والریک، ۲-متیل بوتیریک، هگزانوئیک و هپتانوئیک اسید که در بخش‌های مختلف شکمبه بر اثر تخمر میکروبی لیف جیره تولید می‌شوند. تولید اسیدهای چرب فرار حاصل از تخمر میکروبی، باعث کاهش pH شکمبه شده که توسط لعاب دهن مجدداً به حد نورمال (pH٦,٧) خود باز گردانده می‌شود، می‌باشد (Ellis, 2012). زیرا کاهش pHشکمبه تا کمتر از ٦/٢ سرعت هضم را کاهش داده و باعث افزایش مرحله تأخیر در هضم می‌شود.

تأثیر عوامل مختلف بر تخمر شکمبه و عملکرد نشخوارکننده‌گان

بیست‌ها (yeasts): قابلیت هضم مواد خوراکی در شکمبه تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله منابع علوفه‌یی و جمعیت میکروبی می‌باشد. هنگامی‌که بخش عظیمی از کاه با رشقه و سایر سایلج‌ها مانند سورگوم و غیره جایگزین می‌شود، عمل‌کرد و قابلیت هضم بهبود می‌یابد. بیست‌ها با تأثیر بر باکتریاهای سلولایتیک سبب افزایش جمعیت آن‌ها و افزایش قابلیت هضم ماده‌ی خشک در شکمبه می‌شوند. تغییر قابلیت هضم ماده‌ی خشک خوراک به منابع علوفه‌یی آن بستگی دارد. هنگام استفاده

از بیست‌های زنده در خوراکه‌های حاوی علوفه رشقه سبب افزایش pH شکمبه شده و هم ممکن است سبب تثبیت pH شکمبه شود که نظر به نوع بیست مورد استفاده متفاوت می‌باشد. با استفاده از بیست‌های زنده pH شکمبه معمولاً در حدود ٦.٣٨ ثابت می‌ماند و در طولانی مدت حدود ٦.٢ می‌باشد. همچنان استفاده از بیست‌های زنده در سایلج جوار سبب افزایش کلی VFA موجود در شکمبه می‌شود. به‌علاوه استفاده بیست‌های زنده سبب افزایش غلظت استات در شکمبه می‌شود. این افزایش غلظت استات می‌تواند مربوط به افزایش جمعیت باکتریاهای سلولایتیک در اثر قرار گرفتن بیست‌های زنده‌ی موجود در شکمبه باشد. این نتایج متفاوت ممکن است به علت منابع خوراکی مورد استفاده باشد. همچنین بیست‌ها با تأثیر بر جمعیت میکروبی سبب کاهش تولید اسید لاکتیک و ممکن افزایش تولید پروپیونات در شکمبه شود. از طرفی بیست‌ها موجب کاهش آمونیا تولیدی در سیستم هاضمه در حدود ۱۰٪ می‌شوند. بر طبق تحقیقات صورت گرفته بیست‌ها سبب افزایش امینواسید ضروری میتونین شده است. در مقابل سبب افزایش تولید ۸ ٪ شیر شده است. در مجموع بیست‌ها سبب افزایش pH شکمبه، افزایش باکتریاهای سلولایتیک شکمبه، افزایش VFA شکمبه و کاهش گاز میتان تولیدی در شکمبه می‌شود. ریبوفلاوین از جمله محصولات جانبی بیست‌ها در صنایع غذایی می باشد. این محصول در تولیدات از جمله تولید بخش اعظیم پروتئین میکروبی نقش دارد.

جمعیت میکروبی پیچیده‌یی‌که در شکمبه زندگی می‌کند به نشخوارکنندگان اجازه می‌دهد تا کاربوهایدریت‌های لیف غیرقابل استفاده انسان را هضم و به محصولات مفید؛ مانند گوشت، شیر، پشم و غیره تبدیل کنند. برای همزیستی بین میکروبیوتای شکمبه و حیوان میزبان، وضعیت غیر هوازی شکمبه مهم است که از اکسید شدن کامل کربوهایدرایت‌ها به دی‌اکسیدکاربن‌دای‌اکسید و آب جلوگیری می‌کند. در عوض، کاربوهایدرایت‌ها به طور ناقص به اسیدهای چرب فرار (VFA) و گازها اکساید می‌شوند و حیوان میزبان VFA را به عنوان منابع و پیش‌سازهای انرژی، چربی، گلوکوز و امینواسیدهای غیر ضروری جذب و استفاده می‌کند(WenZhu, 2017). تخمر شکمبه نه تنها VFA را برای نشخوارکننده فراهم می‌کند. بخشی از تغییر انرژی منفی گیبس (ΔG) مرتبط با تخمر توسط میکروب‌های شکمبه برای تولید استفاده می‌شود که می‌تواند برای رشد میکروبی، انتقال فعال بسترها و تحرک مورد استفاده قرار گیرد. رشد میکروبی، پروتیین میکروبی را تولید می‌کند که اصلی‌ترین و اقتصادی‌ترین منبع امینواسیدها برای نشخوارکنندگان است. میکرواورگانیزم‌های شکمبه همچنین می‌توانند ویتامین‌های محلول در آب را سنتیز کنند. بنابراین، نیازی به گنجاندن آن‌ها در جیره غذایی اکثر نشخوارکننده‌گان نیست(Henderson, 2015).

مونسین (Monensin): فعالیت میکروبی در شکمبه با ایجاد گاز متان و آمونیا سبب هدر رفتن انرژی و جوار موجود در اجزای خوراک می‌شود. در نتیجه موجب تولید گازهای گلخانه‌یی و آلوده‌شدن محیط زیست می‌گردد. یکی از راه‌کارهای موجود استفاده از انتی‌بیوتیک‌های یونوفرها از جمله مونسین است. مونسین از جمله افزودنی‌های موجود در بازار است که برای کنترول جمعیت میکروبی شکمبه مورد استفاده قرار می‌گیرد. تغذیه با مونسین سبب کاهش تولید گاز میتان در شکمبه می‌شود. همچنین ایجاد روند متانوجنیز در شکمبه سبب افزایش پروپیونات و در مقابل کاهش تولید استات در شکمبه می‌شود. مونسین سبب مهار تولید متان در سکوم نیز می‌شود در ضمن مونسین در جیره‌های دارای فیصدی بلند کنسنتریت سبب افزایش بوتیرات در شکمبه می‌شود. مونسین تأثیری بر قابلیت هضم ظاهری ماده خشک نداشته، ولی بر غلظت کلی اسیدهای چرب شکمبه مؤثر است. از طرف دیگر کاهش آمونیا در شکمبه می‌تواند در اثر کاهش فعالیت پرولیتیک در شکمبه شود. هم‌چنین مونسین دارای خاصیت است که به نفوذ در قشر دیوار حجروی باکتریاهای گرام مثبت سبب نابودی آن‌ها می‌شود (Hegarty, 1999).

هایدروجن عامل کلیدی در تخمر شکمبه: غلظت هایدروجن نقش عمده‌یی در تنظیم تخمر میکروبی در شکمبه دارد. هایدروجن جز فشار یک تنظیم‌کننده‌ی کلیدی متابولیزم هایدروجن و دفع هایدروجن شکمبه با گاز محلول هایدروجن و آیون هایدروجن است. با توجه به این نقش تنظیمی مرکزی در تخمر شکمبه، هایدروجن را می‌توان واحد تخمر شکمبه در نظر گرفت (Hungate, 2013, Gressley, 2011).

هایدروجن یک میتابولیت مرکزی در تخمر شکمبه است و فشار جزئی آن عامل مهمی در میتانوجنیز شکمبه است. تعادل غلظت آیون هایدروجن (H+) و گاز هایدروجن محلول (H2) مستقیماً عامل ردوکس شکمبه و در نتیجه میزان احتمالی اکسیداسیون مواد غذایی را تعیین می‌کند. نفوذپذیری متفاوت غشای باکتریا به آیون‌هایدروجن و گازهایدروجن به این معنی است که نسبت این میتابولیت‌ها در مایع خارج حجره با نسبت آن‌ها متفاوت است (Hughes, 2011).

تخمر شکمبه برحاصل‌دهی نشخوارکنندگان و اثرات زیست‌محیطی تولید آن‌ها تأثیر می‌گذارد. انتشار متان تولید شده در شکمبه به اتمسفیر، از دست دادن انرژی و علت تغییرات آب و هوا است و مشخصات اسیدهای چرب فرار تولید شده در شکمبه بر متابولیزم پس از جذب حیوان میزبان تأثیر می‌گذارد. تخمر شکمبه توسط جریان‌های درون حجروی و بین حجروی هایدروجن متابولیک با محوریت تولید، انتقال بین انواع و ترکیب دی‌هایدروجن در مسیرهای رقابتی شکل می‌گیرد. عواملی

که بر رشد متانوجن‌ها و سرعت تخمر خوراک تأثیر می‌گذارند، بر غلظت دای‌هایدروجن در شکمبه تأثیر می‌گذارند که به نوبه‌ی خود تعادل بین مسیرهایی را که هایدروجن متابولیک تولید و ترکیب می‌کنند، کنترل می‌نماید (Kingston, 2013)

پریویتیلا Prevotella: یک میکروب بسیار همه‌کاره است که قادر به طیف گسترده‌یی از پروتیین‌ها و پولی ساکارایدها است و یکی از محصولات تخمر آن پروپیونات است. از آن‌جایی‌که پروپیونات؛ اما نه استات یا بوتیرات، یک هایدروجن را تشکیل می‌دهد. میکروب‌های مولد پروپیونات عامل کاهش تولید متان را دارند. بر این اساس، مطالعات متعدد نشان می‌دهد که اعضای جنس Prevotella توانایی منحرف کردن جریان هایدروجن در گلیکولیز را از متانوجنز و به نفع تولید اسید پروپیونیک دارند (McAllister, 1990).

بی‌کاربنات سودیم: به عنوان یک بفر در جیره‌ی نشخوارکنندگان مورد استفاده قرار می‌گیرد. منحیث یک رادیکال در شرایط شکمبه هنگام استفاده از خوراکه با فیصدی بالاتر کنسنتریت مورد استفاده قرار می گیرد که سبب تغییرات شکمبه‌یی می‌شود. ثابت نگهداشتن pHشکمبه یکی از فاکتورهای مهم در بهبود عملکرد شکمبه است. افزودن بی‌کاربونات سودیم به جیره‌ی گاوهای شیری سبب بهبود قابلت هضم ماده‌ی خشک و لیف خام در شکمبه می‌شود. همچنین فیصدی استات، پروپیونات و کل VFA در شکمبه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. همچنین افزودن بی‌کاربنات به جیره سبب افزایش چربی شیر استات و پروپیونات جیره می‌شود و در شکمبه سبب تبدیل آیون هایدروجن می‌شود (Abadi, 2024).

بنتونیت سودیم: افزودن بنتونیت سودیم به سایلج جوار سبب افزایش چربی شیر می‌شود. افزودن بنتونیت سودیم به سایلج جوار سبب تبدیل اسید لاکتیک به اسید بوتیرات در شکمبه می‌شود (Santra, 2003).

اکسید منیزیم: اکسید منیزیم سبب تحریک مصرف خوراک و قابلیت هضم ماده خشک و افزایش چربی شیر در طی دوره‌ی شیری می‌شود. اکسید منیزیم به عنوان منابع انیونی در جیره‌ی گاوهای شیری استفاده می‌شود. همچنین به‌واسطه خاصیت انیونی که دارد، سبب افزایش pH شکمبه شده و از اسیدوز در شکمبه جلوگیری می‌کند.

نیاسین(نیکوتنیک اسید): باکتریاهای شکمبه، نیاسین را در رابطه با نیاز خودشان تولید می‌کنند. به نظر می‌رسد که در اوائل شیردهی به دلایل مصرف خوراک کم بعد از زایمان و ناکافی بودن سنتیز شکمبه و نیاز بالای مواد غذایی برای تولید شیر، مقدار نیاسین مورد نیاز گاو تأمین نمی‌شود. نیاسین نقش

حائز اهمیتی در جلوگیری از کتوزیس و کاهش سطح کتون خون دارد. دلیل اصلی در بهبود تولید شیـــر به هنگام افزودن نیاسین به جیره ممکن است مربوط به نقش آن در میتابولیزم کاربوهایدرایتها و چربیها و در نتیـــجه کاهش کتوزیس باشد. نیاسین ممکن است برروی تخمرات شکمبه تأثیر داشته باشد. به طوریکه این مسأله از طریق افزودن نیاسین و مشاهده افزایش سنتیز پروتئین میکروبی و پروپیونات در شکمبه به اثبات رسیده است. تغذیه ٦ گرم نیاسین به ازای هر رأس گاو در روز در طی ماههای گرم سال در کاهش استرس مؤثر است (Park, 2010).

مؤثریت متممها یا افزودنیهای خوراکی

از تعامل بین میکروبیوم شکمبه و مواد مغذی خاص یا گروههای مغذی میتوان به تولیدکنندهگان و متخصصان تغذیه در تنظیم جیرهها برای بهبود کارایی و در نتیجه تغذیه دقیق کمک کرد. افزودن متممهای خوراکی به جیرههای نشخوارکنندهگان از روشهایی است که میتواند بر میکروبیوم شکمبه تأثیر بگذارد و در نهایت کارایی هضم و میکروبی را بهبود بخشد که منجر به افزایش تولید میشود. متممهای مطلوب باید ضمن کاهش انتشار میتان و حفظ پایدار pH شکمبه برای جلوگیری از اسیدوز، هضم را بهبود ببخشد. اسیدوز یک بیماری میتابولیک در حیواناتی است که در جیره خود از مقدار زیادی حبوبات تغذیه میکنند. جایی که تجمع اسید لاکتیک میتواند منجر به pH پایین و آسیب شکمبه شود. یونوفور[1]، آنتی بیوتیکهای یونوفور ترکیباتی هستند که توسط باکتریاهای تشکیلدهنده-ی هاگ[2] تولید میشوند. آنها به طور خاص با افزایش نفوذپذیری آیون غشای سلولی عمل میکنند. اما از آنجایی که انتیبیوتیکها از رشد باکتریا جلوگیری میکنند، تعداد باکتریای کمتر وجود دارد که با حیوان میزبان رقابت میکند. به دلیل خطرات مقاومت میکروبی، اتحادیه اروپا استفاده از انتیبیوتیک در خوراک حیوان را ممنوع کرده است (Bakker, 1979).

یونوفورها معمولاً به عنوان افزودنیهای خوراکی استفاده میشوند که رشد و کارایی خوراک را افزایش میدهند و همچنین از اسیدوز شکمبه، تب و کوکسیدیوز در نشخوارکنندهگان و طیور جلوگیری میکنند (Ungerfeld, 2020).

پروبیوتیکها: رشد سویههای مفید باکتریا در شکمبه را با کاهش باکتریاهای نامطلوب یا مضر تشویق میکنند. آنها در شرایط سخت زنده میمانند با اتصال به پوشش شکمبه برای ایجاد ثبات، تعادل و محافظت از محیط شکمبه. باکتریاهاییکه به عنوان پروبیوتیک استفاده میشوند، بیشتر گرام مثبت

[1] Ionophore
[2] Spore

هستند که شامل باسیلوس، پدیوکوکوس، انتروکوکوس، استرپتوکوکوس، ساکارومایسس و لاکتوباسیلوس می‌شود. در هنگام تغذیه پروبیوتیک به گاوها، رشد و اوسط رشد روزانه آن‌ها افزایش یافته؛ اما، اثر پروبیوتیک‌ها بر رشد ثابت نبوده و به نظر می‌رسد اثر پروبیوتیک‌ها بر میکروبیوم شکمبه به سویه‌های باکتریاها استفاده شود و همچنین به دوز مصرف آن بستگی دارد (Pitta, 2010).

کاهش تولید میتان: میتان، محصول تخمر شکمبه است که از طریق آروغ زدن دفع می‌شود و از عملکرد طبیعی انزایم‌های شکمبه‌یی جلوگیری می‌کند و تخمر شکمبه‌یی را کاهش می‌دهد. همچنین می‌تواند باعث کاهش انرژی جیره شود که می‌تواند توسط حیوانات برای اهداف تولیدی استفاده شود. کاهش ۲۰ درصدی تولید متان می‌تواند به حیوانات در حال رشد اجازه دهد تا به میزان ۷۵ گرام بیشتر در روز رشد کنند. در گاوهای شیری، کاهش ۲۰ درصدی تولید متان باعث ایجاد میزان انرژی مشابه می‌شود که می‌تواند برای تولید ۶۰۰ گرام شیر در روز استفاده شود. در گاوهای شیری، کاهش ۲۰ درصدی تولید متان باعث افزایش ۶۰۰ گرام تولید شیر می‌شود(Salah, 2020).

روغن‌های ضروری: از ترکیبات ثانویه گیاهی ساخته می‌شوند که خاصیت ضد میکروبی دارند و می‌توانند عوامل بیماری‌زای مضر را کاهش دهند. آن‌ها می‌توانند با کاهش باکتریاهای تولیدکننده‌ی استات، باکتریاهای تولیدکننده‌ی پروپیونات را افزایش دهند، نسبت VFA را به شیوه مشابه یونوفرها تحت تأثیر قرار دهند. همچنین متانوجن‌ها توسط روغن‌های ضروری مهار می‌شوند. بنابراین، انتشار متان کاهش می‌یابد. نمونه‌هایی از روغن‌های ضروری شامل carvacrol، eugenol، cinnamaldehyde و methanol است. اثرات روغن‌های ضروری بر میکروبیوم شکمبه یک‌نواخت نیست؛ زیرا به نظر می‌رسد بیشتر از VFA بر غلظت آمونیا تأثیر بگذارد و امکان دارد که استفاده از نایتروجن و انرژی را بهبود بخشد و در نتیجه حاصل‌دهی حیوان را افزایش دهد. افزودن چربی‌ها و روغن‌ها به جیره، تولید و انتشار متان را کاهش می‌دهد. کاهش بیشتر از ٤٠ در صد نیز قابل دسترسی است؛ اما اوسط کاهش به میزان ۱۰ تا ۲۵ درصد است. استفاده از چربی در جیره به عنوان منبع انرژی باعث کاهش میزان کاربوهایدریت می‌شود که پایه اصلی تولید متان است. چربی‌ها همچنین تعداد پروتوزواها را در شکمبه کاهش می‌دهند که بسیاری از آن‌ها به صورت فیزیکی متصل به متانوجن‌ها هستند. اما، تأثیرات چربی بر تولید متان به تعداد پروتوزواها محدود نمی‌شود (Riddell, 1980).

تأثیر استفاده از منابع مختلف چربی: در مطالعاتی که تأثیر چربی بر انتشار متان را بررسی می‌کند، روغن نارگیل به صورت متعدد استفاده شده است؛ زیرا غلظت اسیدهای چرب آن از سایر روغن‌های گیاهی متفاوت است (شامل میزان زیاد اسیدهای چرب است که در کاهش تولید میتان مؤثر هستند). روغن

نارگیل می‌تواند تولید میتان را تا ۷۰ ٪ کاهش دهد. بر ماده خشک مصرفی، قابلیت هضم، تولید و کیفیت شیر زمانی‌که به جیره‌ها تا سطح ۲۵۰ گرام در روز اضافه شود تأثیر بیشتر دارد (Russell, 2001). نشان داده شده است که استفاده از اسیدهای چرب غیر اشباع، بخصوص از کتان، باعث کاهش تولید متان در شکمبه می‌شود که می‌تواند روش کاهش عملی تولید متان در نشخوارکننده‌گان باشد. استفاده از محصولاتی که اساس آن‌ها تخم کتان باشد به علت افزایش همزمان ارزش تغذیه‌یی شیر و گوشت نشخوارکننده‌گان جذاب است، سایر مطالعات استفاده از روغن‌های سویا، کلزا، کانولا و آفتاب‌پرست را برای کاهش تولید متان نشان دادند. گزارش شده است که روغن‌هایی مانند کانولا و افتاب‌پرست که سرشار از اسیدهای چرب هستند، تولید متان را در گاوهایی که عمدتداً علوفه مصرف می‌کنند، کاهش می‌دهند و اثر انرژی خام را تا حدود ۲۲ درصد افزایش می‌دهند (Russell, 2002).

نتیجه‌گیری

تخمر شکمبه‌یی، نتیجهٔ میتابولیزم باکتریاها، قارچ‌ها و پروتوزواهایی محیط شکمبه اند. از آن‌جایی‌که متابولیت‌ها محصولات واسطه‌یی هستند، در طی روند متابولیزم تولید می‌شوند و توسط انزایم‌های مختلفی که به‌طور طبیعی در حجرات وجود دارند کتالیز می‌شوند. این میتابولیت‌های واسطه، در هر نوع میکرواورگانیزم، بستر میکرواورگانیزم دیگری شده می‌تواند. بنابراین، این وضعیت باعث ایجاد وابستگی متقابل، بین میکرواورگانیزم‌های مختلف می‌شود و به‌وجودآوردن میکرواورگانیزم‌های نوظهور را تسهیل می‌کنند. با رشد سریع جمعیت انسانی، سعی و تلاش کارشناسان تغذیه در مورد راه‌هایی برای بهبود تخمر شکمبه‌یی برای افزایش محصولات حیوانی بیشتر شده است که با استفاده از متمم‌ها (افزودنی‌ها) در رژیم غذایی برای بهبود استفاده بهتر از مواد مغذی در حال توسعه است. نتایج تحقیقات نشان داده اند که استفاده از ترکیبات افزودنی در جیره نشخوارکننده‌گان، تولید حیوان را با حداقل آسیب به محیط زیست و عمل‌کرد حیوان به علت بهبود تخمرشکمبه، بهتر می‌شود و از انرژی جیره برای رشد و تولید شیر، استفاده بیش‌تر شده می‌تواند. افزایش متناظر در تقاضا برای محصولات حیوانی در کشورهای در حال توسعه منجر به تشدید تولید محصولات حیوانی در سرتاسر جهان شده است که استفاده از رژیم غذایی با حبوبات را به منظور تقویت تولید حیوان ضروری می‌کند. بنابراین، استفاده از افزودنی‌های خوراکی که سلامت شکمبه را هنگام تغذیه با جیره‌های حبوبات بهبود می‌بخشد، ضروری است. پس عوامل مؤثر بر تخمر شکمبه‌یی می‌تواند حضور جمعیت‌های میکرواورگانیزم‌هایی راکه قادر به تغذیه‌یی بهتر برای حیوان هستند، دستکاری و تحریک کرد و تحقیقات بیشتر برعمل‌کرد شکمبه، میکروبیوتای شکمبه، متابولیزم میکروبیوم شکمبه و تأثیر آن بر فیزیولوژی میزبان صورت گیرد و به این ترتیب حاصل‌دهی محصولات حیوانی در نشخوارکننده‌گان را بهبود بخشید.

منابع

Abadi, E. I. K., Heydari, S., & Kazemi, M. (2024). Dietary incorporation of magnetic bentonite nanocomposite: impacts on in vitro fermentation pattern, nutrient digestibility, and growth performance of Baluchi male lambs. *Iranian Journal of Veterinary Research*, *25*(1), 16. DOI: 10.22099/IJVR.2024.47753.6919

Accetto, T., & Avguštin, G. (2019). The diverse and extensive plant polysaccharide degradative apparatuses of the rumen and hindgut Prevotella species: A factor in their ubiquity?. *Systematic and applied microbiology*, *42*(2), 107-116. DOI: 10.1016/j.syapm.2018.10.001

Allen, H. K., Levine, U. Y., Looft, T., Bandrick, M., & Casey, T. A. (2013). Treatment, promotion, commotion: antibiotic alternatives in food-producing animals. *Trends in microbiology*, *21*(3), 114-119. DOI: 10.1016/j.tim.2012.11.001

Aluwong, T., Kobo, P. I., & Abdullahi, A. (2010). Volatile fatty acids production in ruminants and the role of monocarboxylate transporters: a review. *African Journal of Biotechnology*, *9*(38), 6229-6232.

Aschenbach, J. R., Penner, G. B., Stumpff, F., & Gäbel, G. (2011). Ruminant nutrition symposium: role of fermentation acid absorption in the regulation of ruminal pH. *Journal of animal science*, *89*(4), 1092-1107. https://doi.org/10.2527/jas.2010-3301

Bhatia, I. S. (1974). The study of factors affecting the utilization of low-grade roughages and production of volatile fatty acids in the rumen of Indian cattle. https://community.nzdl.org/custom/gsdl-instrep/cgi-bin/linux/library.cgi?e=d-01000-00---off-0demo--00&a=d&c=demo&cl=CL4&d=b21wae.8

Bodas R, N Prieto, R Garcia-González, S Andrés, FJ Giráldez, S López Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Anim Feed Sci Tech. 2012. 176, 78-93.* https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.010

Brown, M. S., Ponce, C. H., & Pulikanti, R. (2006). Adaptation of beef cattle to high-concentrate diets: Performance and ruminal metabolism. *Journal of Animal Science*, *84*(suppl_13), E25-E33. DOI: 10.2527/2006.8413_supple25

Burns JC. ASAS Centennial Paper: utilization of pasture and forages by ruminants: a historical perspective. *J Anim Sci 86, 2008 3647-3663.* https://doi.org/10.2527/jas.2008-1240

Callaway, E. S., & Martin, S. A. (1997). Effects of a Saccharomyces cerevisiae culture on ruminal bacteria that utilize lactate and digest cellulose. *Journal of dairy science*, *80*(9), 2035-2044.

https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76148-4

Chaudhary, L. C., Srivastava, A., & Singh, K. K. (1995). Rumen fermentation pattern and digestion of structural carbohydrates in buffalo (Bubalus bubalis) calves as affected by ciliate protozoa. *Animal Feed Science and Technology*, *56*(1-2), 111-117. https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00810-A

Chiba, L. I. (2014). Rumen microbiology and fermentation. *Animal Nutrition Handbook*, 57-79. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=13.%09Chiba%2C+L.+I.+%282014%29.+Rumen+microbiology+and+fermentation.+Animal+Nutrition+Handbook%2C+57-79.&btnG=

Cole, N. A., McLaren, J. B., & Hutcheson, D. P. (1982). Influence of preweaning and B-vitamin supplementation of the feedlot receiving diet on calves subjected to marketing and transit stress. *Journal of Animal Science*, *54*(5), 911-917. https://doi.org/10.2527/jas1982.545911x

Ding, W. Q., & Lind, S. E. (2009). Metal ionophores–an emerging class of anticancer drugs. *IUBMB life*, *61*(11), 1013-1018. https://doi.org/10.1002/iub.253.

Ellis, J. L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Bannink, A., Odongo, N. E., McBride, B. W., & France, J. (2008). Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modelling of methane production in cattle. *The Journal of Agricultural Science*, *146*(2), 213-233. DOI: https://doi.org/10.1017/S0021859608007752

Ellis, J. L., Dijkstra, J., Bannink, A., Kebreab, E., Hook, S. E., Archibeque, S., & France, J. (2012). Quantifying the effect of monensin dose on the rumen volatile fatty acid profile in high-grain-fed beef cattle. *Journal of Animal Science*, *90*(8), 2717-2726. https://doi.org/10.2527/jas.2011-3966

Henderson, G., Cox, F., Ganesh, S., Jonker, A., Young, W., & Janssen, P. H. (2015). Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Scientific reports*, *5*(1), 14567. https://www.nature.com/articles/srep14567

Hegarty, R. S., & Gerdes, R. (1999). Hydrogen production and transfer in the rumen. *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia*, *12*, 37-44. https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=b2a4682ea63dc4b786349d1c6cf542704a1769f9

Hungate, R. E. (2013). *The rumen and its microbes*. Elsevier. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=TK_SBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=20.%09Hungate,+R.+E.+(2013).+The+rumen+and+its+microbes.+Elsevier.&ots=9GNMpIeTDk&sig=vLSB5sVSLgMaHuPXu4e8rxGzAKM

Gressley, T. F., Hall, M. B., & Armentano, L. E. (2011). Ruminant nutrition symposium: productivity, digestion, and health responses to hindgut acidosis in ruminants. *Journal of animal science*, *89*(4), 1120-1130. https://doi.org/10.2527/jas.2010-3460

Hughes, J., Kwong, W. Y., Li, D., Salter, A. M., Lea, R. G., & Sinclair, K. D. (2011). Effects of omega-3 and-6 polyunsaturated fatty acids on ovine follicular cell steroidogenesis, embryo development and molecular markers of fatty acid metabolism. *Reproduction*, *141*(1), 105-118. DOI: 10.1530/REP-10-0337

Kingston-Smith, A. H., Marshall, A. H., & Moorby, J. M. (2013). Breeding for genetic improvement of forage plants in relation to increasing animal production with reduced environmental footprint. *Animal*, *7*(s1), 79-88. DOI: https://doi.org/10.1017/S1751731112000961

McAllister, T. A., Rode, L. M., Major, D. J., Cheng, K. J., & Buchanan-Smith, J. G. (1990). Effect of ruminal microbial colonization on cereal grain digestion. *Canadian Journal of Animal Science*, *70*(2), 571-579.

Can. J. Anim. Sci. Downloaded from cdnsciencepub.com by 203.215.32.16 on 12/04/24

Santra, A., Chaturvedi, O. H., Tripathi, M. K., Kumar, R., & Karim, S. A. (2003). Effect of dietary sodium bicarbonate supplementation on fermentation characteristics and ciliate protozoal population in rumen of lambs. *Small Ruminant Research*, *47*(3), 203-212. https://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00241-9

Park, B. K., Choi, N. J., Kim, H. C., Kim, T. I., Cho, Y. M., Oh, Y. K., ... & Kwon, E. G. (2010). Effects of amino acid-enriched ruminally protected fatty acids on plasma metabolites, growth performance and carcass characteristics of Hanwoo steers. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, *23*(8), 1013-1021. https://doi.org/10.5713/ajas.2010.90559

Pitta, D. W., Pinchak, W. E., Dowd, S. E., Osterstock, J., Gontcharova, V., Youn, E., ... & Malinowski, D. P. (2010). Rumen bacterial diversity dynamics associated with changing from bermudagrass hay to grazed winter wheat diets. *Microbial ecology*, *59*, 511-522. DOI: 10.1007/s00248-009-9609-6

Riddell, D. O., Bartley, E. E., & Dayton, A. D. (1980). Effect of nicotinic acid on rumen fermentation in vitro and in vivo. *Journal of Dairy Science*, *63*(9), 1429-1436. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)83100-6

Russell, J. B., & Rychlik, J. L. (2001). Factors that alter rumen microbial ecology. *Science*, *292*(5519), 1119-1122. DOI: 10.1126/science.1058830

Russell, J. B., & Mantovani, H. C. (2002). The bacteriocins of ruminal bacteria and their potential as an alternative to antibiotics. *Journal of molecular microbiology and biotechnology*, *4*(4), 347-355. PMID: **12125815**

Bakker, E. P. (1979). Ionophore antibiotics. In *Mechanism of action of antibacterial agents* (pp. 67-97). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. log in via an institution

Ungerfeld, E. M. (2020). Metabolic hydrogen flows in rumen fermentation: principles and possibilities of interventions. *Frontiers in Microbiology*, *11*, 589. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00589

Weiss, W. P. (2017). A 100-Year Review: From ascorbic acid to zinc Mineral and vitamin nutrition of dairy cows. *Journal of dairyscience*, *100*(12), 10045-10060. https://doi.org/10.3168/jds.2017-12935

WenZhu Yang (2017). Factors Affecting Rumen Fermentation Using Batch Culture. *Technique/Agriculture and Agri-Food Canada, Chapter 5, 77-92* http://dx.doi.org/10.5772/64207.