دامستیک؛ دوره ۲۳، شماره ۲ (شماره ۲۶ پیاپی): ۳۶-۲۸

نشریهٔ علمی- ترویجی (حرفه‌ای)

دامِستیک

انجمن علمی- دانشجویی گروه مهندسی علوم دامی دانشگاه تهران؛ پاییز ۱۴۰۲

https://domesticsj.ut.ac.ir/article_96461.html

مقاله علمی- ترویجی

جنبه‌های غذایی، میکروبیولوژیکی و زیست محیطی تولید متان در نشخوارکنندگان

کتایون مهرانی[1*] و کامل عموزاده آرائی[2]

[1] دانشجوی دکتری تخصصی گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، گلستان، ایران

[2] دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، گلستان، ایران

https://doi.org/10.22059/domesticsj.2023.364802.1133

چکیده

متان حاصل از تخمیر مواد خوراکی در شکمبه، یک گاز گلخانه‌ای است که در حدود ۳۷ درصد از متان تولید شده در طبیعت را شامل می‌شود و می‌تواند نقش مخرب زیست محیطی داشته باشد. متان فراوان‌ترین گاز آلی موجود در اتمسفر بوده که رهاسازی بی‌رویهٔ آن تأثیر بسزایی بر افزایش دمای کرهٔ زمین دارد. اگر شرایط تخمیر در شکمبه به گونه‌ای باشد که منجر به تولید متان مازاد گردد، این گاز می‌تواند بهره‌وری انرژی خام را برای دام ۱۰-۷ درصد کاهش دهد، لذا جلوگیری از تولید متان با هدف بهبود کارآیی تغذیه و حفظ محیط‌زیست ضروری می‌باشد. عواملی مانند نوع کربوهیدرات موجود در جیرهٔ غذایی، سطح تغذیه، میزان عبور غذا، وجود یونوفورها یا لیپیدها در جیره و دمای محیط بر انتشار متان از نشخوارکنندگان تأثیر می‌گذارد. تدوین استراتژی‌هایی برای کاهش تولید متان، بدون ایجاد تأثیر منفی بر تولید نشخوارکنندگان، همچنان یک چالش بزرگ برای متخصصان تغذیه و میکروب شناسان است. احیای دی‌اکسیدکربن (CO_2) به استات و دست‌کاری مستقیم ژنتیکی باکتری‌های متانوژن (تولیدکنندهٔ متان) راه حل‌هایی است که ممکن است هدر رفت انرژی از طریق دفع متان در نشخوارکنندگان را بیشتر کاهش دهد.

کلمات کلیدی: متان، متانوژنز، محیط‌زیست، نشخوارکنندگان

***نویسنده مسئول:** katimhr@gmail.com

بخش: تغذیه دام **دبیر تخصصی:** صادق فرضی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۶ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۰۸/۱۴ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۹/۱۸ **تاریخ انتشار آنلاین:** ۱۴۰۲/۰۹/۲۱

رفرنس‌دهی: مهرانی، ک.، عموزاده آرائی، ک. جنبه‌های غذایی، میکروبیولوژیکی و زیست محیطی تولید متان در نشخوارکنندگان. *علمی- ترویجی (حرفه‌ای) دامِستیک*، ۱۴۰۲؛ ۲۳(۲): ۳۶-۲۸.

مقدمه

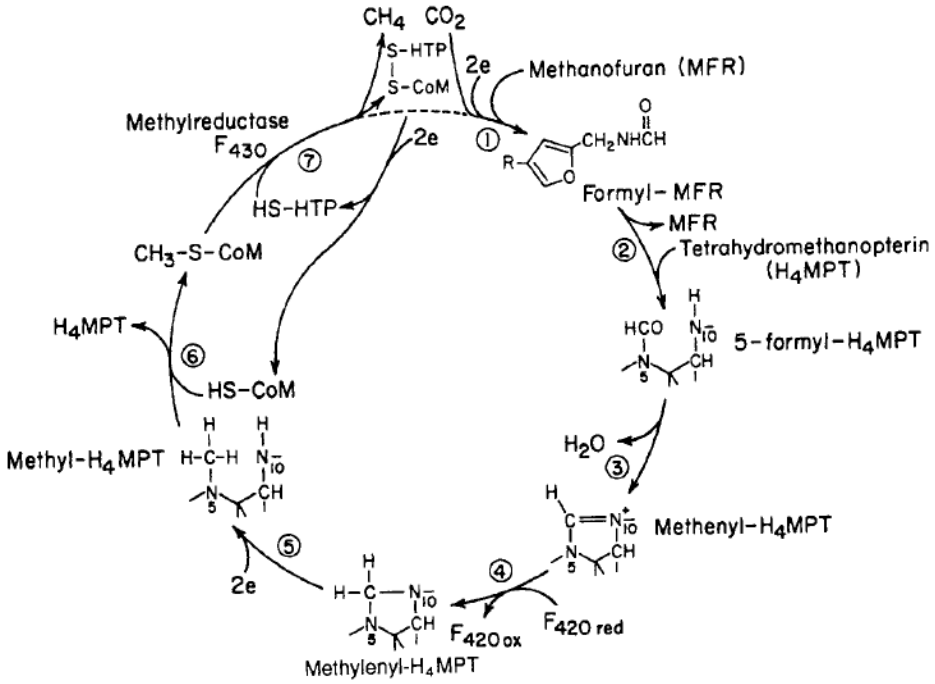
تولید متان در نشخوارکنندگان نشان‌دهندهٔ هدر روی انرژی خوراک هضم شده است. متان توسط متانوژن‌های شکمبه‌ای عمدتاً از CO_2 و H_2 و تا حدودی از فرومات تشکیل می‌شود. H_2 و فرومات محصولات حد واسط تخمیر هستند و بیشتر توسط باکتری‌های متانوژن (تولیدکنندهٔ متان) و سایر باکتری‌ها استفاده می‌شوند. رقابت برای استفاده از H_2 و فرومات بین میکروارگانیسم‌ها می‌تواند بر تولید متان در شکمبه اثر بگذارد و متعاقباً بر عملکرد نشخوارکنندگان تأثیر داشته باشد (Van Middelaar *et al.*, 2013; Ghanbari Maman *et al.*, 2020). میکروارگانیسم‌های شکمبه مواد غذایی را تجزیه کرده و اسیدهای چرب فرار و پروتئین‌های میکروبی تولید می‌کنند که به‌عنوان انرژی و پروتئین در نشخوارکنندگان استفاده می‌شود. ولی این فرآیند تخمیر که دارای هدر روی انرژی به‌صورت متان و پروتئین به شکل نیتروژن آمونیاکی است، ممکن است عملکرد تولیدی حیوان را محدود کرده و آلاینده‌هایی را در محیط منتشر کند. در نشخوارکنندگان دو مکانیسم اصلی برای تولید گاز متان وجود دارد، اول، مقدار کربوهیدرات تخمیرشده در حفرهٔ نگاری-شکمبه‌ای که بر تعادل بین نرخ کربوهیدرات تخمیری و نرخ عبور آن تأثیر می‌گذارد و دوم، مقدار ذخیره هیدروژن قابل‌دسترس که نسبت اسیدهای چرب فرار تولیدی را برای تولید متان تنظیم می‌کند (Kirchgessner *et al.*, 1991; Iqbal *et al.*, 2008).

میکروبیولوژی تولید متان شکمبه

متانوژن‌ها گروه متمایزی از میکروارگانیسم‌ها هستند که دارای کوفاکتورهای منحصر به‌فردی مانند کوآنزیم M، HS-HTP، F420 و لیپیدها به‌عنوان مثال، استرهای ایزوپرانیل گلیسرول هستند. پوشش سلولی این باکتری‌ها می‌تواند حاوی سودوموروئین، پروتئین، گلوکوپروتئین یا هتروپلی‌ساکاریدها باشد (Ghanbari Maman *et al.*, 2020). تاکنون ۶۶ گونهٔ متانوژن، از انواع زیستگاه‌های بی‌هوازی ازجمله باتلاق‌های اسیدی، خاک‌های غرقاب، دریاچه‌های نمکی و دستگاه گوارش حیوانات جدا شده است. فقط پنج مورد از این‌گونه در شکمبهٔ نشخوارکنندگان یافت شده است. با این وجود، متانوژن‌ها یکی از اجزای اساسی میکروفلورشکمبه هستند که در اوایل زندگی نشخوارکنندگان (مثلاً طی ۳۰ ساعت بعد از تولد) در شکمبه مستقر می‌شوند (Morvan *et al.*, 1996; Newbold *et al.*, 2004).

بیوشیمی تولید متان

متانوژن‌ها از طریق چهار واسطهٔ احیاکننده، دی‌اکسیدکربن را به متان تبدیل می‌کنند: فرمیل (Formyl)، متنیل (Methylene)، متیلنیل (Methylenyl) و متیل (Methyl). این ترکیبات به‌عنوان واسطه‌های آزاد وجود ندارند و محققان فرض کردند که واحد کربن در طی واکنش‌های احیای پی‌درپی به یک سری حامل متصل می‌شود (Martin *et al.*, 2010).



شکل ۱- چرخه احیای دی‌اکسیدکربن به متان به وسیله متانوژن‌ها (McAllister *et al.*, 1996)

تا به امروز، حضور شش کوآنزیم به‌عنوان شرکت‌کنندگان در واکنش احیای دی‌اکسید کربن به متان تأیید شده است (شکل ۱). تثبیت دی‌اکسید کربن با متانوفوران، متانوفوران فرمیل را تولید می‌کند که اولین واسطهٔ پایدار متانوژنز است (واکنش ۱) (Lee *et al.*, 2009). گروه فرمیل متعاقباً به تتراهیدرو متانوپترین (واکنش ۲) منتقل می‌شود که به‌عنوان حامل برای واسطه‌های فرمیل، متنیل، متیلنیل و متیل عمل می‌کند. احیای متنیل-تتراهیدرو متانوپترین به متیلنیل-تتراهیدرو متانوپترین (واکنش ۴) و متیلنیل-تتراهیدرو متانوپترین به متیل-تتراهیدرو متانوپترین (واکنش ۵) توسط کوآنزیم فرون دیازاف تاوتن احیا شده انجام می شود. قبل از احیا به متان، گروه متیل- تتراهیدرو متانوپترین به کوآنزیم M (واکنش ۶)، یک فاکتور رشد ضروری برای برخی جدایه‌های متانوبروی باکتر شکمبه منتقل می‌شود. کوآنزیم M همچنین به عنوان حامل متیل توسط باکتری متانوسارسینا در طی متابولیسم استات و متیلامین استفاده می‌شود. متیل کوآنزیم M توسط متیل کوآنزیم ردوکتاز، یک سیستم پیچیده از پروتئین‌ها و تعدادی کوفاکتور، به متان تبدیل می‌شود (واکنش ۷). این واکنش چرخه را کامل می‌کند و با فعال شدن دی‌اکسید کربن برای تشکیل متانوفوران فرمیل مرتبط است (McAllister *et al.*, 1996).

تأثیر عوامل محیطی بر تولید متان

نوع خوراک و سطح خوراک مصرفی

افزایش مصرف خوراک نشخوارکنندگان به دلیل سرعت عبور سریع‌تر، زمان ماندگاری خوراک در شکمبه را کاهش می‌دهد. زمان ماندگاری کوتاه‌تر دسترسی میکروبی به ماده آلی را محدود می‌کند، در نتیجه میزان تخمیر شکمبه را کاهش می‌دهد و منجر به کاهش متان می‌شود؛ اگرچه انتشار کل متان با مصرف خوراک و هضم بیشتر افزایش می‌یابد (Arndt *et al.*, 2022). افزایش نسبت کنسانتره در جیره، تراکم انرژی جیره را افزایش می‌دهد، نسبت کربوهیدرات‌های ساختاری را کاهش می‌دهد، سرعت خروجی شکمبه را افزایش می‌دهد و pH شکمبه را کاهش می‌دهد و به همان نسبت تولید متان در واحد ماده خشک را کاهش می‌دهد (Beauchemin *et al.*, 2022). فرآوری غلات و کنسانتره‌های تغذیه با نشاسته به سرعت قابل تخمیر، تخمیر نشاسته را در شکمبه افزایش می‌دهد و تولید پروپیونات را افزایش می‌دهد که به عنوان مخزن هیدروژن متابولیکی جایگزین متانوژنز عمل می‌کند (ungerfeld, 2015). بررسی‌ها نشان داده است که استفاده از جیره‌های غذایی سرشار از نشاسته و یا افزودن یک واحد کربوهیدرات محلول مانند گلوکز به جیره سبب افزایش تولید پروپیونات، کاهش تولید متان و کاهش نسبت استات به پروپیونات می‌شود. تغییر در الگوی تخمیر در شکمبه به‌دلیل افزایش میزان تخمیر، منجر به تولید پروپیونات بیش از متان می‌شود. تغذیه با کربوهیدرات‌های محلول یا نشاسته سبب کاهش pH در شکمبه خواهد شد. این کاهش در میزان pH و افزایش تخمیر ممکن است از فعالیت باکتری‌های متانوژن جلوگیری کرده و تولید پروپیونات را افزایش دهد. همچنین کاهش pH شکمبه از رشد تک‌یاخته‌ها جلوگیری می‌کند، در نتیجه عرضهٔ اکسیژن و H_2 جهت متانوژنز کاهش می‌یابد (Newbold *et al.*, 2015). روش‌های فرآوری غلات (استفاده از ترکیبات مختلف، حرارت، رطوبت، زمان و اقدامات مکانیکی) می‌تواند تخمیر نشاسته و pH شکمبه را اصلاح کند (Hales *et al.*, 2012). عدم تعادل پروتئین ممکن است باعث کاهش سرعت رشد، افزایش هزینه‌های تغذیه و انتشار گازها به‌ویژه متان شود (Newbold *et al.*, 2015).

دما و نرخ عبور

تولید متان با افزایش میزان عبور خوراک از شکمبه همراه با سازگاری با سرما کاهش می‌یابد. Patra (۲۰۱۴) ۲۰ درصد کاهش تولید متان در گوسفندان بالغ را وقتی دما از ۳۳ درجه سانتی‌گراد به ۸ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت ثبت کرد. همچنین، کاهش ۳۰ درصدی تولید متان در گوسفندان سازگار با سرما را گزارش کردند، در حالی که نرخ عبور مایع شکمبه و ذرات معلق به ترتیب ۵۴ و ۶۸ درصد افزایش یافت. محیط‌های سرد ممکن است همیشه تولید متان را کاهش ندهند، به‌ویژه هنگامی‌که مصرف جیرهٔ غذایی به‌میزان قابل‌توجهی افزایش یابد. تأثیر دمای بین ۲۰ تا ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد بر تولید متان متغیر است. وقتی متغیرهای خوراکی زیاد باشد، تولید متان در دمای بالا کاهش می‌یابد، در حالی که در مصرف کمتر از سطح نگهداری، دما بر تولید متان تأثیر نمی‌گذارد؛ بنابراین، همیشه نمی‌توان این فرض را داشت که وقتی نشخوارکنندگان در محیط‌های سرد قرار دارند، تولید متان کاهش می‌یابد (McAllister *et al.*, 1996).

کاهش شیمیایی و بیوتکنولوژی تولید متان در شکمبه

اتلاف قابل توجه انرژی خوراک به‌صورت متان، تحقیق در مورد کاهش تولید متان در شکمبه را مورد توجه قرار داده است. تحقیقات در مورد بررسی استراتژی‌ها در سطح حیوانات، گیاهان، میکروارگانیسم‌ها و مواد مغذی یک راه‌حل طولانی مدت برای کاهش تولید متان ارائه می‌دهد. در سطح دام، انتخاب ژنتیکی، تحقیقاتی است که بیشترین شانس را برای یافتن راه حل دارد. با انتخاب گونه‌های گیاهی تولیدکنندهٔ متابولیت‌های ثانویه برای کاهش متانوژنز، مانند ساپونین‌ها، فلاونوئیدها و تانن‌ها می‌توان انتشار متان را کاهش داد. روش‌های مهار متانوژن‌ها شامل

استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها، مواد افزودنی خوراکی (چربی و روغن)، نمک‌های نیترات و اسیدهای دی‌کربوکسیلیک است (Van Middelaar *et al.*, 2013). واکسیناسیون علیه متانوژن‌ها، آنالوگ‌های هالوژنه، بروموکلرومتان و سیکلودکسترین نیز از دیگر روش‌های کاهش تولید متان هستند. روش‌های افزایش گونه‌های میکروبی استفاده کننده از هیدروژن، شامل تلقیح گونه‌های استوژنیک، تغذیهٔ خوراک بسیار قابل هضم و تخمیر به نفع پروپیونات و اصلاح شرایط شکمبه از دیگر راهکارها است. به‌طور خلاصه راهکارها به این شرح است: ۱- کاهش تعداد باکتری‌های متانوژن ۲- کاهش تولید هیدروژن ۳- تحریک استفادهٔ بهینه از هیدروژن در حیوان.

تک‌یاخته‌های مژک‌داری شناخته شده‌اند که بر متانوژن‌ها تأثیرمی‌گذارند. حذف تک‌یاخته‌های مژک‌دار از شکمبه به عنوان ابزاری برای افزایش بهره‌وری نشخوارکنندگان پیشنهاد شده است (Newbold *et al.*, 2013). اهمیت باکتری‌های متانوژن مرتبط با پروتوزوآی مژک‌دار با حذف پروتوزوآ از مایع شکمبه مشخص شد (عموزاده آرائی و همکاران، ۱۴۰۲). باکتری‌های متانوژن مرتبط با مژک‌داران شکمبه مسئول بین ۹ تا ۲۵ درصد متانوژنز در مایع شکمبهٔ گوسفندان هستند (Newbold *et al.*, 2004). نشان داده شده است که حذف پروتوزوآ از شکمبه، تولید متان را تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهد. مهار پروتوزوآ بسته به جیرهٔ غذایی ۲۰ تا ۵۰ درصد تولید متان را کاهش می‌دهد. حذف تک‌یاخته از شکمبه برای کاهش متانوژنز نویدبخش است، اما این گزینه باید ازنظر عملکرد دام با دقت ارزیابی شود. عدم وجود پروتوزآ در شکمبه می‌تواند اثرات مختلفی بر روی حیوانات بگذارد که بسته به نوع جیرهٔ غذایی و نوع تولید مورد نظر می‌تواند منفی یا مثبت باشد (Martin *et al.*, 2010). چندین مادهٔ افزودنی به خوراک مانند یونوفورها، اسیدهای آلی و عصاره‌های گیاهی نیز مورد سنجش قرار گرفته‌اند (Martin *et al.*, 2010; Guerci *et al.*, 2013). مسیر احتمالی در آینده برای کاهش خروجی متان، ایمن‌سازی حیوانات در برابر متانوژن‌ها و تک‌یاخته‌ها است. با استفاده از یک داروی ایمنی‌زا، پاسخ ایمنی نسبت به پروتوزوآهای شکمبه ایجاد می‌شود و این امر می‌تواند فعالیت متانوژن‌های شکمبه را تحت تأثیر قرار دهد، زیرا آن‌ها با پروتوزوآها در شکمبه ارتباط دارند (Cook *et al.*, 2008). ساخت واکسن ضد متان در حال انجام است. پیش‌بینی می‌شود که واکسیناسیون می‌تواند میزان خروجی متان را بسیار کاهش دهد. برای اثر بخشی این روش کار بیشتری لازم است، زیرا گونه‌های مختلفی از متانوژن‌ها در شکمبه وجود دارند. اگر این عمل موفقیت‌آمیز باشد، واکسیناسیون ابزاری ارزشمند برای کاهش تولید متان خواهد بود، زیرا می‌تواند در کل جمعیت نشخوارکنندگان اعمال شود.

باکتریوسین‌ها

باکتریوسین‌ها سموم پروتئینی تولید شده توسط باکتری‌ها برای جلوگیری از رشد سویه‌هایی از باکتری هستند که به طور معمول از آنتی‌بیوتیک‌های با طیف محدود گرفته می‌شوند. برخی از باکتریوسین‌ها (نایسین و بوویسین) شناخته شده‌اند که باعث کاهش تولید متان می‌شوند. باکتریوسین‌ها می‌توانند در مهار مستقیم متانوژن‌ها و هدایت هیدروژن به سایر باکتری‌های احیاکننده مانند تولیدکننده‌های پروپیونات یا استوژن‌ها مؤثر باشند. نیسین بدست آمده از *Lactobaccilus lactis ssp* نشان داده شده است که تولید متان را در شرایط آزمایشگاهی کاهش می‌دهد؛ اگرچه مکانیسم آن هنوز نامشخص است. نیسین ۳۶ درصد متانوژنز شکمبه را کاهش می‌دهد (Martin *et al.*, 2010). همچنین گزارش‌شده است که *Bovicin HC5*، باکتریوسین دیگر تولید شده توسط *Streptococcus bovis* در شکمبه، ۵۰ درصد تولید متان را در شرایط *in vitro* سرکوب می‌کند. باکتریوسین‌ها ممکن است یک راهکار مفید جهت کاهش تولید متان در شکمبه ارائه دهند (Dämmgen *et al.*, 2012).

پروبیوتیک‌ها

پروبیوتیک‌ها افزودنی‌های خوراکی میکروبی (میکروارگانیسم‌های زنده) هستند که بر تخمیر شکمبه تأثیر می‌گذارند و با تعدیل میکروفلور روده، سلامت دام را بهبود می‌بخشند (Patel *et al.*, 2015). از پروبیوتیک‌های پرکاربرد می‌توان از مخمر، *ساکارومایسس‌سرویزیه*، *لاکتوباسیلوس اسپوروژنس* و برخی دیگر را نام برد. فرض بر این است که کشت‌های مخمر تولید متان را بیشتر کاهش می‌دهد. پروبیوتیک‌ها تولید بوتیرات یا پروپیونات را افزایش می‌دهند. همچنین، پروبیوتیک باعث کاهش تعداد پروتوزوآ می‌شود؛ بنابراین، وجود مخمر برای میکروفلور شکمبه مفید است. پروبیوتیک‌ها سنتز میکروبی را افزایش می‌دهند و استوژنز را تقویت می‌کنند. کاهش تولید متان ممکن است به دلیل استفاده از هیدروژن متابولیک توسط باکتری‌های استوژنیک برای تولید استات باشد.

ساپونین‌ها

ساپونین‌ها گلوکوزیدهایی با ویژگی‌های کف‌کنندگی هستند که تأثیر مستقیمی بر میکروارگانیسم‌های شکمبه دارند. آن‌ها در بسیاری از گونه‌های گیاهی وجود دارند. ساپونین‌ها بر اساس اسکلت‌های کربنی خود طبقه‌بندی می‌شوند. ۱۱ نوع اصلی

از ساپونین شناسایی‌شده است: داماران‌ها، تیروکالان‌ها، لوپان‌ها، هاپان‌ها، اولئانان‌ها، تاراکساستران‌ها، اورسان‌ها، سیکلوآرتان‌ها، لانوستان‌ها، کوکربیتان‌ها و استروئیدها. Vincken و همکاران (۲۰۰۷) نه مورد مختلف موجود در *Sesbania sesban* را برای سمیت آن‌ها برای پروتوزوآهای مژک‌دار ارزیابی کردند؛ نشان داده شد که برگ‌های این گیاه سبب از بین رفتن پروتوزوآها در شکمبه می‌شود. ساپونین‌ها تجزیهٔ پروتئین را کاهش می‌دهند و همزمان پروتئین میکروبی و سنتز زیست توده را افزایش می‌دهند، دو فرآیندی که منجر به کاهش در دسترس بودن هیدروژن برای تولید متان می‌شود (Teferedegne *et al.*, 1999). تحقیقات نشان می‌دهد برخی از ساپونین‌ها در واقع برای هضم شکمبه مفید هستند. با این حال، ساپونین‌ها تلخ هستند و باعث کاهش خوش خوراکی خوراک دام می‌شوند؛ بنابراین، برخی از ساپونین‌ها باعث کاهش مصرف خوراک و سرعت رشد حیوانات غیر نشخوارکننده می‌شوند.

تانن‌ها

بسیاری از گیاهان حاوی تانن هستند. فرض بر این است که اهمیت بیولوژیکی بسیاری از انواع تانن به محافظت در برابر عفونت، حشرات یا حیوانات گیاه‌خوار مربوط است. تانن‌ها ترکیبات گیاهی پلی‌فنلی با میل ترکیبی برای اتصال به پروتئین‌ها و سایر ترکیبات هستند. آن‌ها به عنوان ترکیبات گیاهی متراکم و قابل هیدرولیز طبقه‌بندی می‌شوند و نشان داده شده است که هر دو نوع تانن به طور مستقیم با مهار برخی متانوژن‌ها و به طور غیرمستقیم با کاهش تعداد تک‌یاخته‌ها که با همزیستی میزبان متانوژن‌ها هستند، اثرات ضد متانوژنی دارند (Aboagye and Beauchemin, 2019). دو گروه عمده از ترکیبات پلی‌فنلی گیاهی به غیر از لیگنین، قابل هیدرولیز شدن هستند (پلی‌استرهای اسید گالیک و انواع مختلف قندها و تانن‌های تغلیظ شده (پلیمرهای فلاونوئیدها)) (McSweeney *et al.*, 2001). تانن‌های متراکم موجود در علوفه‌ها، بسته به کیفیت و فعالیت بیولوژیکی تانن، بر قابلیت هضم خوراک تأثیر دارند (Schofield *et al.*, 2001). علوفه‌های حاوی تانن متراکم که می‌توان آن‌ها را به‌عنوان عوامل اصلاح‌کنندهٔ شکمبه طبقه‌بندی کرد، میزان انتشار متان را کاهش می‌دهند (Clark, 2009; Clark *et al.*, 2011). تحقیقات نشان داده است که برخی از گیاهان حاوی مقادیر بالای تانن هستند و در شرایط آزمایشگاهی و همچنین در داخل بدن انتشار متان توسط میکروارگانیسم‌های شکمبه را کاهش می‌دهند. در گیاهان حاوی تانن، فعالیت ضد متانوژنز عمدتاً به گروه تانن‌های متراکم نسبت داده شده است. تانن‌های قابل هیدرولیز برای حیوان سمی هستند (Field *et al.*, 1989). Tavendale و همکاران (۲۰۰۵) اثرات مهار تانن تغلیظ شدهٔ قابل استخراج از *L. pedunculatus* را بر متانوژن‌های شکمبه (*Methanobrevibacter ruminantium*) ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که اثر تانن متراکم در متانوژنز را می‌توان به اثر غیرمستقیم از طریق کاهش تولید هیدروژن (و احتمالاً کاهش قابلیت هضم علوفه) و از طریق اثر مستقیم بر متانوژن‌ها نسبت داد.

یونوفورها

یونوفورها (مونسین و لازالوسید) مواد ضد میکروبی هستند که به‌دلیل توانایی در کاهش تولید متان در نشخوارکنندگان به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این ترکیبات همچنین به‌عنوان آنتی‌بیوتیک طبقه‌بندی می‌شوند و استفاده از آن‌ها در برخی از کشورها غیرقابل قبول است. اثر آن‌ها بر روی میکروب‌ها و تک‌یاخته‌ها نشان داده شد. یونوفورها پلی‌اتیلن‌های بسیار لیپوفیلی هستند که در غشای سلول تجمع یافته و حرکت سریع یون را کاتالیز می‌کنند (Russell and Houlihan, 2003). یونوفورها حرکت کاتیون‌ها مانند سدیم، پتاسیم و کلسیم را در غشای سلول تعدیل می‌کنند. این مواد همچنین تولید استات را کاهش می‌دهد و باعث مهار مستقیم هیدروژن در تخمیر شکمبه‌ای می‌شود (Russell and Houlihan, 2003; Sejian and Naqvi, 2012). نشان‌دهنده شده است که اثرات یونوفورها بر تولید متان مربوط به کاهش جمعیت تک‌یاخته‌های مژک‌دار است (Patra, 2014). یونوفورها باعث تغییر در جمعیت باکتری‌های شکمبه از گرم مثبت به گرم منفی می‌شوند و با تغییر تخمیر از استات به پروپیونات، واکنش با کاهش متانوژنز همراه است (Sejian and Naqvi, 2012). متأسفانه، اثرات مهاری یونوفورها بر متانوژنز ممکن است با گذشت زمان ادامه نداشته باشد. انتشار متان در گوسفندان و گاوها می‌تواند با استفاده از یونوفورها در کوتاه مدت حدود ۱۸ درصد کاهش یابد اما نشانه‌هایی وجود دارد که متانوژن‌ها و همچنین سایر اعضای جمعیت میکروبی می‌توانند با حضور آن‌ها سازگار شوند (Patra, 2014). استفاده از یونوفورها در خوراک دام تأثیر بسزایی در انتقال مقاومت آنتی‌بیوتیکی از حیوانات به انسان دارد (Russell and Houlihan, 2003). بنابراین، استفاده از یونوفور در تولید دام پس از ممنوعیت در ژانویه ۲۰۰۶ در اتحادیه اروپا مجاز نیست (Benchaar and Greathead, 2011).

۳–نیتروکسی پروپانول (3-Nitrooxypropanol)

۳-نیتروکسی پروپانول مولکولی است که وقتی در دوزهای کم (۶۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) در خوراک نشخوارکنندگان قرار می‌گیرد، تولید متان را در شکمبه مهار می‌کند. ۳-نیتروکسی پروپانول برای کاهش متان در سال ۲۰۱۲

ثبت اختراع شد (Duval and Kindermann, 2012) و به طور گسترده مورد آزمایش قرارگرفته است (Duin *et al*., 2016, Yu *et al*., 2021). ۳-نیتروکسی پروپانول، متیل کوآنزیم M ردوکتاز را هدف قرار می‌دهد که آخرین مرحلهٔ متانوژنز را کاتالیز می‌کند. مکانیسم اثر آن و همچنین محصولات حاصل از متابولیسم آن در شکمبه مشخص شده است (Duin *et al*., 2016.).

لیپیدها

چربی‌ها با مهار تک‌یاخته‌ها، کاهش فعالیت متانوژن‌های شکمبه، کاهش تعداد پروتوزوآها، کاهش پیوندهای دوگانه در اسیدهای چرب اشباع نشده و افزایش تولید پروپیونات، باعث کاهش انتشار متان می‌شوند. مکمل‌های لیپیدی می‌توانند متانوژنز را کاهش دهند، بدون اینکه بر روی قابلیت هضم کل و pH شکمبه تأثیر منفی بگذارد (Hook *et al*., 2010). افزودنی‌های کوتاه مدت به عنوان روغن‌های غذایی یا چربی می‌توانند به منظور کاهش انتشار متان با کاهش تخمیر و کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌های شکمبه اضافه شوند. مکمل چربی می‌تواند به عنوان یک منبع انرژی مهم در جیره‌های غذایی نشخوارکنندگان پر تولید عمل کند. با این‌حال، اضافه شدن چربی بیش از حد باعث تخریب فیبر در شکمبه می‌شود. چربی سوبسترای قابل تخمیر را کاهش می‌دهد و می‌تواند تجزیه‌پذیری مواد آلی و فیبر را کاهش دهد (Patra, 2014). علاوه بر این، گنجاندن اسیدهای چرب، بسته به طول زنجیره و درجه اشباع، جمعیت تک‌یاخته‌ها و متانوژن‌ها را در شکمبه مهار می‌کند. علاوه بر این، بیوهیدروژناسیون اسیدهای چرب غیراشباع در شکمبه سبب تغییر مسیر H_2 می‌شود (Maigaard *et al*.,2023). اسانس‌های روغنی به‌طور طبیعی متابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند که فعالیت‌های ضد میکروبی را در برابر باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت نشان می‌دهند، خاصیتی که به وجود ترکیبات ترپنوئید و فنلی نسبت داده شده است (Meale *et al*., 2014). برخی از این اسانس‌ها، به‌ویژه ترکیبات آلی گوگردی آن‌ها، قادر به تأثیر بر تخمیرات شکمبه و کاهش تولید متان در شرایط *in vitro* هستند. گیاهان دارویی که حاوی غلظت بالایی از اسانس‌های روغنی هستند در برابر انتشار متان و رشد تک‌یاخته در شکمبه مؤثر هستند (Benchaar and Greathead, 2011). اثرات مثبت اسیدهای چرب بر کاهش تولید متان از طریق سمیت آن‌ها برای متانوژن‌ها نیز اثبات شده است (Sejian and Naqvi, 2012). اسیدهای چرب غیراشباع به‌عنوان پذیرندهٔ الکترون در طی هیدروژناسیون بیولوژیک عمل می‌کنند و باعث ایجاد کاهش در تولید متان می‌شوند. اضافه کردن اسیدهای چرب به جیره تولید متان را کاهش می‌دهد (Martin *et al*., 2008). Moate و همکاران (۲۰۱۱) دریافتند که به ازای هر ۱۰ گرم در هر کیلوگرم افزایش غلظت چربی در جیره غذایی، انتشار متان ۳/۵ درصد کاهش می‌یابد. مکمل‌های غذایی با چربی امیدوارکننده‌ترین استراتژی غذایی است، اما تولید شیر و پاسخ به چربی‌های مکمل پیچیده است و در جیره‌های غذایی متفاوت است. این امر همچنین تحت تأثیر مرحلهٔ شیردهی، درجهٔ اشباع چربی اضافه شده، مقدار چربی اضافه شده و محتوای چربی و ترکیب جیرهٔ غذایی پایه است (Benchaar and Greathead, 2011). روغن‌های ضروری به طور طبیعی متابولیت‌های ثانویهٔ گیاهی هستند که فعالیت‌های ضد میکروبی در برابر باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت نشان می‌دهند، خاصیتی که به‌وجود ترکیبات ترپنوئید و فنلی نسبت داده شده است (Meale *et al*., 2014). برخی از روغن‌های اساسی، به‌ویژه ترکیبات آلی گوگردی آن‌ها، قادر به تأثیر بر تخمیرات شکمبه و کاهش تولید متان در شرایط *in vitro* هستند (McAllister and Newbold, 2008).

ایمن‌سازی در برابر متانوژن‌ها

توسعهٔ یک واکسن ضد متانوژن که سیستم ایمنی حیوانات را تحریک می‌کند، تا آنتی‌بادی علیه متانوژن‌ها تولید کند، بیش از ۲ دهه پیش آغاز شد. نشان داده شده است که واکسیناسیون علیه متانوژن‌ها باعث القای حضور آنتی‌بادی‌ها در سرم و بزاق و تحویل آن‌ها به شکمبه می‌شود (Subharat *et al*., 2016). علاوه بر این، نشان داده‌شده است که آنتی‌بادی‌ها در مایع شکمبه برای چند ساعت پایدار هستند (Subharat *et al*., 2016) و متانوژن‌ها را در شرایط آزمایشگاهی آگلوتینه می‌کنند (Wedlock *et al*., 2010). اگرچه تحقیقات در توسعهٔ واکسن‌ها علیه متانوژن‌ها موفقیت‌آمیز بوده است، تأثیرات چشمگیری بر روی تولید متان در داخل بدن دیده نشده است (Baca-González *et al*., 2020). تنوع بین حیوانات و تفاوت‌های بین منطقه‌ای در میکروبیوم شکمبه، ایجاد یک واکسن با کاربرد گسترده را چالش برانگیز می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

کاهش انتشار متان به یک اولویت و بخشی جدایی‌ناپذیر از کنترل آب و هوا تبدیل‌شده است. ما در این بررسی تعدادی از تکنیک‌هایی که در صورت استفاده در مقیاس تجاری منجر به کاهش انتشار متان می‌شود را بیان کردیم. بااین‌حال، توسعهٔ روش‌های بیشتر در مراحل اولیهٔ کار است. همچنین، هزینهٔ برخی از استراتژی‌ها برای پرورش تجاری بسیار گران است. مهار مستقیم تولید متان، واکسیناسیون و پروبیوتیک‌ها رویکردهای امیدوارکننده برای تحقیقات آینده است. تولید واکسن‌هایی که نشخوارکنندگان را به تولید آنتی‌بادی علیه متانوژن‌های شکمبه تحریک می‌کند، در اصل ممکن است امکان‌پذیر باشد، اما با تولید

موفقیت‌آمیز یک واکسن هنوز فاصله زیادی وجود دارد. از پروبیوتیک‌ها به‌طور بالقوه استفاده می‌شود، اما نتایج خیلی رضایت‌بخش نبوده است. در مورد یونوفورها، بسیاری از ترکیبات شیمیایی به عنوان مواد افزودنی برای نشخوارکنندگان آزمایش شده‌اند. مشخص شده است که مونسین میزان انتشار متان را کاهش می‌دهد. با این حال، اثرات متغیر است و ممکن است اثرات مهاری در متانوژنز با گذشت زمان ادامه نداشته باشد. همچنین، استفاده از یونوفورها در تولیدات دامی در اتحادیه اروپا پس از منع تحریک‌کننده‌های رشد مجاز نیست. بیشتر گزارش‌های مثبت مربوط به چربی، اسانس‌های روغنی، تانن‌ها، ساپونین‌ها و عصاره‌های گیاهی است. اسیدهای چرب اشباع‌نشده از طریق اثر سمی بر باکتری‌های سلولتیک و تک‌یاخته‌ها به کاهش متان کمک می‌کنند. به نظر می‌رسد چربی جیرهٔ غذایی بدون تأثیر بر سایر پارامترهای شکمبه، یک گزینهٔ تغذیه‌ای امیدوارکننده برای کاهش متانوژنز شکمبه باشد. چربی‌های جیرهٔ غذایی می‌توانند در کاهش انتشار متان مؤثر باشند، اما کاربرد آن‌ها به تأثیر بر مصرف خوراک، قابلیت هضم فیبر، تولید و ترکیب شیر بستگی خواهد داشت. افزودن چربی به جیره غذایی می‌تواند منجر به کاهش مداوم انتشار متان شود. بااین‌حال، افزودن روغن برای تغذیه ممکن است باعث کاهش مصرف ماده خشک و قابلیت هضم فیبر شود. استفاده از عصاره‌های گیاهی مورد توجه قرار می‌گیرد، زیرا به عنوان یک جایگزین طبیعی برای مواد افزودنی شیمیایی دیده می‌شود و به خوبی توسط مصرف‌کنندگان قابل پذیرش است. به طور خلاصه، در این مطالعه نشان داده است که کاهش متان امکان‌پذیر است. با این حال، نیاز به بررسی *in vivo* شیوه‌های پیشنهادی وجود دارد.

منابع

عموزاده آرائی، ک.، قورچی، ت.، توغدری، ع.، اسدی، م.، و مهرانی، ک. (۱۴۰۲). "اثر سطوح مختلف گیاه اوجی بر عملکرد، قابلیت هضم مواد مغذی، رفتار نشخوار، فراسنجه‌های خونی و شکمبه‌ای میش‌های دالاق." *تولیدات دامی*، ۲۵(۱)، ۷۱-۸۱.

Aboagye, I.A., and Beauchemin, K.A. (2019). "Potential of Molecular Weight and Structure of Tannins to Reduce Methane Emissions from Ruminants: A Review". *Animals*, *9*, 856.

Arndt, C., Hristov, A. N., Price, W. J., McClelland, S. C., Pelaez, A. M., and et al. (2022). "Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5°C target by but not 2050." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA 119: e2111294119.

Baca-González, V., Asensio-Calavia, P., González-Acosta, S., Pérez de la Lastra, J.M., and Morales de la Nuez, A. (2020). "Are Vaccines the Solution for Methane Emissions from Ruminants?" *Vaccines*, *8*, 460.

Beauchemin, K. A., Ungerfeld, E. M., Eckard, R. J. and Wang, M. (2020). "Fifty years of research on rumen methanogenesis: Lessons learned and future challenges for mitigation." *Animal*, *14*, s2-s16.

Benchaar, C., and Greathead, H. (2011). "Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants." *Animal Feed Science and Technology*, *166*, 338-355.

Clark, H. (2009). "Methane emissions from ruminant livestock; are they important and can we reduce them?" *In Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 73-76.

Clark, H., Kelliher, F., and Pinares-Patino, C. (2010). "Reducing CH4 emissions from grazing ruminants in New Zealand: challenges and opportunities." *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *24*(2), 295-302.

Cook, S. R., Maiti, P. K., Chaves, A. V., Benchaar, C., Beauchemin, K. A., and et al. (2008). "Avian (IgY) anti-methanogen antibodies for reducing ruminal methane production: in vitro assessment of their effects." *Australian Journal of Experimental Agriculture*, *48*(2), 260-264.

Dämmgen, U., Rösemann, C., Haenel, H. D., and Hutchings, N. J. (2012). "Enteric methane emissions from German dairy cows." *Landbauforsch*, *62*(1/2), 21-31.

Duin, E. C., Wagner, T., Shima S., Prakash, D., B. Cronin, D. and et al. (2016). "Mode of action uncovered for the specific reduction of methane emissions from ruminants by the small molecule 3-nitrooxypropanol." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*, 6172-6177. "

Duval, S., and Kindermann, M. (2012). "Use of nitrooxy organic molecules in feed for reducing enteric methane production in ruminants, and/or to improve ruminant performance." *International Patent*, *7*, 2022.

Field, J. A., Kortekaas, S., and Lettinga, G. (1989). "The tannin theory of methanogenic toxicity." *Biological Wastes*, *29*(4), 241-262.

Ghanbari Maman, L., Palizban, F., Fallah Atanaki, F., Elmi Ghiasi, N., Ariaeenejad, S., and et al. (2020). "Co-abundance analysis reveals hidden players associated with high methane yield phenotype in sheep rumen microbiome." *Scientific Reports*, *10*(1), 4995.

Guerci, M., Bava, L., Zucali, M., Sandrucci, A., Penati, C., and et al. (2013). "Effect of farming strategies on environmental impact of intensive dairy farms in Italy." *Journal of Dairy Research*, *80*(3), 300-308.

Hook, S. E., Wright, A. D. G., and McBride, B. W. (2010). "Methanogens: methane producers of the rumen and mitigation strategies." *Archaea*, *2010*.

Iqbal, M. F., Cheng, Y. F., Zhu, W. Y., and Zeshan, B. (2008). "Mitigation of ruminant methane production: current strategies, constraints and future options." *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *24*, 2747-2755.

Khanbabaee, K., and Van Ree, T. (2001). "Tannins: classification and definition." *Natural Product Reports*, *18*(6), 641-649.

Kirchgessner, M., Windisch, W., Müller, H. L., and Kreuzer, M. (1991). "Release of methane and of carbon dioxide by dairy cattle." *Agribiological Research;* (Germany), 44(2/3).

Patra, A. K. (2014). "A meta-analysis of the effect of dietary fat on enteric methane production, digestibility and rumen fermentation in sheep, and a comparison of these responses between cattle and sheep." *Livestock Science*, 162, 97-103.

Russell, J. B., and Houlihan, A. J. (2003). "Ionophore resistance of ruminal bacteria and its potential impact on human health." *FEMS Microbiology Reviews*, *27*(1), 65-74.

Schofield, P., Mbugua, D. M., and Pell, A. N. (2001). "Analysis of condensed tannins: a review." *Animal Feed Science and Technology*, 91(1-2), 21-40.

Sejian, V., and Naqvi, S. M. K. (2012). "Livestock and climate change: mitigation strategies to reduce methane production." *Greenhouse Gases-Capturing, Utilization and Reduction*, 255-276.

Sejian, V., and Naqvi, S. M. K. (2012). "Livestock and climate change: mitigation strategies to reduce methane production." *Greenhouse Gases-Capturing, Utilization and Reduction*, 255-276.

Subharat, S., Shu, D., Zheng, T., Buddle, B.M., Kaneko, K., and et al. (2016). "Vaccination of Sheep with a Methanogen Protein Provides Insight into Levels of Antibody in Saliva Needed to Target Ruminal Methanogens." *PLoS One*, *11*(7): e0159861.

Tavendale, M. H., Meagher, L. P., Pacheco, D., Walker, N., Attwood, G. T., and et al. (2005). "Methane production from in vitro rumen incubations with Lotus pedunculatus and Medicago sativa, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis." *Animal Feed Science and Technology*, *123*, 403-419.

Teferedegne, B., McIntosh, F., Osuji, P. O., Odenyo, A., Wallace, R. J., and et al. (1999). "Influence of foliage from different accessions of the sub-tropical leguminous tree, Sesbania sesban, on ruminal protozoa in Ethiopian and Scottish sheep." *Animal Feed Science and Technology*, *78*(1-2), 11-20.

Van Middelaar, C. E., Berentsen, P. B. M., Dijkstra, J., and De Boer, I. J. M. (2013). "Evaluation of a feeding strategy to reduce greenhouse gas emissions from dairy farming: The level of analysis matters." *Agricultural Systems*, 121, 9-22.

Vincken, J. P., Heng, L., de Groot, A., and Gruppen, H. (2007). "Saponins, classification and occurrence in the plant kingdom." *Phytochemistry*, 68(3), 275-297.

Yu, G., Beauchemin, K. A., and Dong, R (2021). "A review of 3-nitrooxypropanol for enteric methane mitigation from ruminant livestock." *Animals (Basel)*, 11, 3540.

Wedlock, D.N., Pedersen, G., Denis, M., Dey, D., Janssen, P.H., and et al. (2010). "Development of a vaccine to mitigate greenhouse gas emissions in agriculture: Vaccination of sheep with methanogen fractions induces antibodies that block methane production *in vitro*." *New Zealand Veterinary Journal*, *58*(1), 29-36.

Publisher Note

Animal Science Students Scientific Association, Campus of Agriculture and Natural Resources at the University of Tehran

Submit Your Manuscript:
https://domesticsj.ut.ac.ir/contacts?_action=loginForm

Lee, S. Y., Yang, S. H., Lee, W. S., Kim, H. S., Shin, D. E., and et al. (2009). "Effect of 2-bromoethanesulfonic acid on in vitro fermentation characteristics and methanogen population." *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *22*(1), 42-48.

Maigaard, M., Weisbjerg, M., Johansen, M., Walker, N., Ohlsson, C. and et al. (2023). "Effects of dietary fat, nitrate, and 3-NOP and their combinations on methane emission, feed intake and milk production in dairy cows." *Journal of Dairy Science*, 0022-0302(23)00625-2.

Martin, C., Morgavi, D. P., and Doreau, M. (2010). "Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale." *Animal*, *4*(3), 351-365.

Martin, C., Rouel, J., Jouany, J. P., Doreau, M., and Chilliard, Y. (2008). "Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cow's crude linseed, extruded linseed, or linseed oil." *Journal of Animal Science*, *86*(10), 2642-2650.

McAllister, T. A., and Newbold, C. J. (2008). "Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis." *Australian Journal of Experimental Agriculture*, *48*(2), 7-13.

McAllister, T. A., Cheng, K. J., Okine, E. K., and Mathison, G. W. (1996). "Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants." *Canadian Journal of Animal Science*, *76*(2), 231-243.

McSweeney, C. S., Palmer, B., McNeill, D. M., and Krause, D. O. (2001). "Microbial interactions with tannins: nutritional consequences for ruminants." *Animal Feed Science and Technology*, *91*(1-2), 83-93.

Meale, S. J., Chaves, A. V., McAllister, T. A., Iwaasa, A. D., Yang, W. Z., and. (2014). "Including essential oils in lactating dairy cow diets: Effects on methane emissions1." *Animal Production Science*, *54*(9), 1215-1218.

Moate, P. J., Williams, S. R. O., Grainger, C., Hannah, M. C., Ponnampalam, E. N., and et al. (2011). "Influence of cold-pressed canola, brewer's grains and hominy meal as dietary supplements suitable for reducing enteric methane emissions from lactating dairy cows." *Animal Feed Science and Technology*, *166*, 254-264.

Morvan, B., Bonnemoy, F., Fonty, G., and Gouet, P. (1996). "Quantitative determination of H 2-utilizing acetogenic and sulfate-reducing bacteria and methanogenic archaea from digestive tract of different mammals." *Current Microbiology*, *32*, 129-133.

Newbold, C. J., De La Fuente, G., Belanche, A., Ramos-Morales, E., and McEwan, N. R. (2015). "The role of ciliate protozoa in the rumen." *Frontiers in Microbiology*, *6*, 1313.

Newbold, C. J., McIntosh, F. M., Williams, P., Losa, R., and Wallace, R. J. (2004). "Effects of a specific blend of essential oil compounds on rumen fermentation." *Animal Feed Science and Technology*, 114(1-4), 105-112.

Patel, S., Shukla, R., and Goyal, A. (2015). "Probiotics in valorization of innate immunity across various animal models." *Journal of Functional Foods*, 14, 549-561.

Domestic; 23 (2): 28-36

Scientific-Extensional (Professional) Journal

Domestic

Animal Science Students Scientific Association at the University of Tehran, Autumn 2023

https://domesticsj.ut.ac.ir/article_96461.html

Scientific-Extensional Article

Nutritional, microbiological and environmental aspects of methane production in ruminants

Katayoun Mehrani[2*] and Kamel Amozadeh Araee[1]

[1] Ph.D. student, Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Golestan, Iran

[2] M.Sc. Student, Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Golestan, Iran

https://doi.org/10.22059/domesticsj.2023.364802.1133

Abstract

Methane resulting from the fermentation of food in the rumen is a greenhouse gas that includes about 37% of the methane produced in nature and can play a destructive role in the environment. Methane is the most abundant organic gas in the atmosphere, and its excessive release has a significant effect on increasing the temperature of the earth. If the fermentation conditions in the rumen are such that it leads to excess methane production, this gas can reduce raw energy efficiency for livestock by 7-10%, so it is necessary to prevent methane production in order to improve feeding efficiency and preserve the environment. Factors such as the type of carbohydrates in the diet, the feeding level, the rate of food passage, the presence of ionophores or lipids in the diet, and the ambient temperature affect methane emissions from ruminants. Developing strategies to reduce methane production without adversely affecting ruminant production remains a major challenge for nutritionists and microbiologists. Reduction of carbon dioxide (CO2) to acetate and direct genetic manipulation of methanogenic bacteria (methane producer) are solutions that may further reduce energy waste through methane excretion in ruminants.

Keyword(s): Environment, Methane, Methanogens, Ruminants

***Corresponding Author E-mail:** katimhr@gmail.com

Section: Animal Nutrition **Associate Editor:** Sadegh Farzi

Received: 07 Sep 2023 **Revised:** 05 Nov 2023 **Accepted:** 09 Dec 2023 **Published online:** 12 Dec 2023

Citation: Mehrani, K., Amozadeh Araee, K. Nutritional, microbiological, and environmental aspects of methane production in ruminants, *Professional Journal of Domestic*, 2023; 23(2): 28-36.