

اثر افزودنی‌های مختلف در بهبود تخمیر شکمبه‌ای جیره‌های آلوده به آفت‌کش فن‌پروپاترین، در شرایط برون‌تنی

محمدرضا ابوطالب یزدی^۱، جواد رضائی^{۲*}، علی مختصی بیدگلی^۳، یوسف روزبهان^۴

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲. دانشیار تغذیه دام، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳. دانشیار زراعت، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۴. استاد تغذیه دام، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

مشخصات مقاله

کلمات کلیدی: بیوجار، تخمیر

برون‌تنی، سم،

ضایعات کشاورزی، فعالیت

میکروبی، مخمر

دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۷

پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۳

آنلاین: ۱۴۰۵/۰۲/۲۶

*مسئول مکاتبات:

جواد رضائی

آدرس ایمیل:

rezaei.j@modares.ac.ir

چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی کارایی افزودنی‌های آلی و معدنی در کاهش اثرات منفی فن‌پروپاترین بر فرآیند تخمیر شکمبه به‌صورت برون‌تنی انجام شد. آزمون گاز با ۲۵ تیمار، ۴ تکرار و ۲ سری، در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. تیمارها شامل جیره شاهد (فاقد آفت‌کش و افزودنی‌ها)، دُرهای ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میکرولیتر فن‌پروپاترین در ۲۰۰ میلی‌گرم جیره بدون افزودنی، و جیره‌های آلوده به آفت‌کش به‌همراه ۲ یا ۳ درصد افزودنی خوراکی (تفاله انار، بیوجار پوست گردو، مخمر، ژئولیت یا پرلیت) بودند. فن‌پروپاترین در دُر ۲۵۰ میکرولیتر تأثیری بر فراسنجه‌های تخمیر نداشت، اما دُر ۱۰۰۰ میکرولیتر و بیشتر موجب توقف تخمیر شد. بنابراین، اثر افزودنی‌ها فقط در دُرهای ۵۰۰ و ۷۵۰ میکرولیتر آفت‌کش بررسی گردید. تولید گاز، ناپدیدشدن ماده آلی، انرژی، سوبسترای تجزیه‌شده، پروتئین میکروبی، پروتوزوا، توده میکروبی، آمونیاک، اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیب گازها تعیین شدند. افزودنی‌ها بخش قابل‌توجهی از اثرات منفی فن‌پروپاترین را خنثی کردند، هرچند عملکرد یکسانی نداشتند. در خنثی‌سازی اثر ۵۰۰ میکرولیتر آفت‌کش، ۳ درصد ژئولیت مؤثرتر بود ($P < 0.05$). در آلودگی ۷۵۰ میکرولیتر، افزودن تفاله انار و ژئولیت در سطح ۳ درصد موجب بیشترین بهبود در ناپدیدشدن ماده آلی شد ($P < 0.05$). توده میکروبی و پروتئین میکروبی با گنجاندن افزودنی‌ها در جیره‌های آلوده افزایش یافت ($P < 0.05$). پرلیت و مخمر اثرات خفیف‌تری در بهبود شاخص‌های تخمیری جیره‌های آلوده نشان دادند. در کل، کاربرد افزودنی‌های آلی و معدنی (به‌ویژه تفاله انار، بیوجار و ژئولیت) در جیره‌های آلوده به فن‌پروپاترین، به‌عنوان یک راهکار تغذیه‌ای زیست‌سازگار برای خنثی‌سازی اثرات منفی این آفت‌کش قابل پیشنهاد است.



© 2025 Novel Research in Animal Science (NRAS), Lorestan University.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

مقدمه

سلامت انسان (ازجمله آسیب کبدی، اختلالات عصبی، مشکلات تولید مثل و برخی سرطان‌ها) ایجاد کند (۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴).

فن‌پروپاترین یک آفت‌کش شیمیایی از گروه پیرتروئیدها است که به طور گسترده برای کنترل طیف وسیعی از آفات در محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ترکیب با تأثیر بر سیستم عصبی حشرات، باعث فلج و مرگ آن‌ها می‌شود و به دلیل پایداری نسبی و اثربخشی زیاد، در بسیاری از کشورها کاربرد دارد (۱۱). مطالعات در زمینه آثار بقایای این سم در نشخوارکنندگان محدود است. به هر حال، فن‌پروپاترین در مدل‌های حیوانی، مانند موش، باعث مرگ سلول‌های عصبی دوپامینرژیک، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (تنش اکسیداتیو)، اختلال در عملکرد و دینامیک میتوکندری، اختلال در ارتباطات سیناپسی و افزایش آپوپتوز می‌شود و در نهایت علائم مشابه بیماری پارکینسون را در حیوانات ایجاد می‌کند (۱۵). از طرفی، تاکنون تحقیقاتی در خصوص خنثی‌سازی آثار این سم توسط افزودنی‌های مختلف خوراکی در جیره دام انجام نشده است، که همین مسأله ضرورت بررسی راهکارهای تغذیه‌ای برای کاهش اثرات منفی فن‌پروپاترین را برجسته می‌کند.

به‌طور کلی، برای کاهش یا حذف بقایای سموم از بدن دام سه رویکرد اصلی پیشنهاد شده است: ۱- کاربرد مواد جاذب و یا پیوندکننده که قادر به جذب سموم ورودی به شکمبه و روده باشند و از انتشار آن‌ها در بدن پیشگیری کنند؛ ۲- استفاده از روش‌های شیمیایی که بتواند بدن را تحریک کند تا سم را با سرعت بیشتری متابولیزه و دفع نماید؛ ۳- کاربرد ترکیبات با عملکرد فیزیولوژیک

تأمین امنیت غذایی و افزایش بهره‌وری تولیدات کشاورزی در دهه‌های اخیر موجب گسترش قابل‌توجه مصرف آفت‌کش‌ها در سیستم‌های تولید کشاورزی شده است (۱). در بسیاری از کشورها، استفاده بی‌رویه و غیراصولی از این ترکیبات به‌عنوان راهکاری سریع برای کنترل آفات و افزایش عملکرد محصولات رواج دارد و این امر نگرانی‌های زیست‌محیطی و بهداشتی گسترده‌ای را ایجاد کرده است (۲). شواهد علمی نشان می‌دهد برخی از علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها آثار نامطلوبی بر محیط‌زیست، سلامت انسان و دیگر موجودات زنده دارند؛ از این‌رو، نهادهای نظارتی در کشورهای مختلف طی سال‌های گذشته استفاده از برخی ترکیبات را محدود یا ممنوع کرده‌اند (۳، ۴). افزون بر این، بقایای آفت‌کش‌ها ممکن است در محصولات کشاورزی، علوفه یا مراتع باقی بماند و عملکرد و سلامت شکمبه دام را تحت‌تأثیر قرار دهد (۵، ۶، ۷). از سوی دیگر، امروزه استفاده از پسماندها و محصولات جنبی کشاورزی-صنعتی در تغذیه دام (به‌منظور کاهش هزینه‌های تولید) افزایش یافته است و نگرانی‌هایی در خصوص احتمال آلودگی این مواد به بقایای سموم نیز وجود دارد؛ زیرا این ترکیبات می‌توانند از مسیرهای مختلف وارد بدن دام شوند. ازجمله این مسیرها می‌توان به مصرف خوراک‌های حاصل از محصولات کشاورزی سم‌پاشی‌شده، استفاده از آفت‌کش‌ها برای کنترل انگل‌های خارجی دام، و یا انتقال مادری از طریق بافت‌ها و شیر اشاره کرد (۸، ۹). تجمع آفت‌کش‌ها در بافت‌ها و شیر حیوانات می‌تواند باعث عواقب بالینی و تحت‌بالینی متنوع، کاهش بهره‌وری و مشکلات سلامت دام شود و خطراتی را نیز برای

خاص با هدف خنثی‌سازی آثار سموم (۱۲). بر این اساس، یکی از بهترین راه‌کارهای تغذیه‌ای برای بهبود جمعیت میکروبی شکمبه و فعالیت آنزیمی آن‌ها (برای نیل به بهترین پتانسیل تخمیر و گوارش) استفاده از افزودنی‌ها است (۱۶). فرض بر این است که افزودن ترکیبات معدنی و آلی دارای ویژگی‌های جذب‌کنندگی، پیونددهی یا خنثی‌سازی سموم به جیره دام بتواند شدت آثار زیان‌بار آفت‌کش‌ها، به‌ویژه فن‌پروپاترین، را کاهش دهد. در این میان، بازدارنده‌ها و مواد جاذب مختلف - به‌ویژه ترکیبات با منشأ طبیعی - ممکن است قادر باشند بخشی از بقایای آفت‌کش‌ها را در محیط شکمبه غیرفعال نمایند، کارایی آن‌ها را کاهش دهند یا موجب تخریب‌شان شوند؛ موضوعی که می‌تواند در بهبود فرآیندهای تخمیر و ارتقای کارایی سیستم‌های پرورش دام مؤثر واقع شود.

در این راستا، سالانه مقادیر زیادی پسماندهای صنعتی-کشاورزی در کشور بر جای می‌ماند که حاوی مواد مؤثره مختلفی هستند و ممکن است برای بهبود متابولیسم شکمبه و عملکرد دام مفید باشند. یکی از این پسماندها، تفاله انار است که تولید سالانه آن در ایران بیش از ۱۲۰,۰۰۰ تن می‌باشد (۱۷). در پژوهشی، محققان نقش پوست انار در کاهش بقایای آفت‌کش‌ها را بررسی کردند و مشاهده نمودند که استفاده از نانوامولسیون پوست انار منجر به کاهش ۵۴/۷۱ درصدی دیازینون، ۴۴/۸۹ درصدی پاراتیون و ۲۹ درصدی کلروپیریفوس در نمونه‌های آلوده به این سموم شد. این نتایج نشان‌دهنده پتانسیل قابل‌توجه پوست انار به‌عنوان یک جاذب طبیعی برای کاهش آلودگی‌های سموم کشاورزی است (۱۸). همچنین، امروزه انواع ضایعات کشاورزی به

بیوپچار تبدیل می‌شوند و برای اهداف مختلف مورداستفاده قرار می‌گیرند (۱۹,۲۰). برخی محققان نشان دادند که مصرف همزمان کربن فعال با آفت‌کش ارگانوفسفره رانل در جیره گوسفندان، موجب کاهش میزان تجمع بافتی سم شد، بدون آن که تأثیر زیانباری بر سلامت حیوانات داشته باشد (۲۱). از سوی دیگر، آلومینوسیلیکات‌ها، مانند زئولیت و پرلیت، به دلیل ساختار متخلخل خود توانایی زیادی در جذب و پیوندکردن آفت‌کش‌ها و آلاینده‌ها از خوراک و محیط دارند (۲۲). مخمرها نیز همراه با سایر پروبیوتیک‌ها می‌توانند بقایای آفت‌کش‌ها را از مواد غذایی حذف کنند. این میکروارگانیسم‌ها قادر به تجزیه مؤثر ترکیبات آفت‌کش هستند و بنابراین جایگزین قابل اعتمادی برای روش‌های شیمیایی سنتی در حذف آفت‌کش‌ها به شمار می‌آیند (۲۳).

در مجموع، بررسی منابع علمی نشان داد که تاکنون تحقیقات خاصی در خصوص عملکرد افزودنی‌های آلی (تفاله انار، بیوپچار پوست گردو و مخمر) و معدنی (زئولیت و پرلیت) در خنثی‌سازی اثرات سوء آفت‌کش‌ها از جمله فن‌پروپاترین در شکمبه دام انجام نشده است و بیشتر تحقیقات به بررسی اثر افزودنی‌ها بر تخمیر شکمبه بدون حضور سموم آفت‌کش پرداخته‌اند. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف مقایسه عملکرد سطوح ۲ و ۳ درصد تفاله انار، بیوپچار پوست گردو، مخمر، زئولیت و پرلیت در خنثی‌سازی و کاهش آثار منفی آفت‌کش فن‌پروپاترین بر تخمیر شکمبه در شرایط برون‌تنی انجام شد.

مواد و روش‌ها

در گام نخست، به منظور شناسایی و تعیین دُز

افزودنی‌های آلی (تفاله انار، بیوپار پوست گردو و مخمر) و معدنی (ژئولیت و پرلیت) بودند. بر این اساس، ۲۵ تیمار (جیره شاهد، جیره‌های آلوده به آفت‌کش بدون افزودنی، و جیره‌های آلوده به آفت‌کش + افزودنی) با ۴ تکرار و در ۲ سری در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفتند.

برای مقایسه تأثیر تیمارهای مختلف بر تخمیر شکمبه‌ای، از روش تولید گاز برون‌تنی استفاده شد (۲۵). در این آزمون، به هر سرنگ شیشه‌ای حاوی ۲۰۰ میلی‌گرم نمونه (جیره‌های مختلف)، ۳۰ میلی‌لیتر مخلوط مایع شکمبه-بازای مصنوعی افزوده شد و در هر سری، ۳ بلنک در ابتدا، میانه و انتها قرار گرفت. حجم کل گاز تولیدی پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون ثبت شد و تولید اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر (SCFA; mmol/g DM) بر اساس حجم گاز تولیدی (mL/g DM) و با استفاده از رابطه زیر برآورد گردید (۲۶):

$$SCFA = 0.0222 \times GP - 0.00425$$

ناپدیدشدن ماده آلی (OMD)، انرژی قابل‌متابولیسم (ME) و انرژی خالص شیردهی (NE_L) با استفاده از معادلات زیر محاسبه شدند (۲۷):

$$OMD = 14.88 + 0.8893 \times GP + 0.0448 \times CP + 0.0651 \times ash$$

$$ME = 1.68 + 0.1418 \times GP + 0.0073 \times CP + 0.0217 \times EE + 0.0028 \times ash$$

$$NE_L = (-0.06) + 0.1047 \times GP + 0.0049 \times CP + 0.0130 \times EE - 0.0010 \times ash$$

در این روابط، GP: حجم گاز تولیدی ۲۴ ساعته (mL/200 mg DM)، CP: پروتئین خام، ash: خاکستر، EE: عصاره اتری، ME: انرژی قابل‌متابولیسم و NE_L: محتوای انرژی خالص شیردهی

مؤثر آفت‌کش فن‌پروپاترین (با فرمول شیمیایی C₂₂H₂₃NO₃ و با نام علمی 3-(cyano-methyl)-2,2,3,3-phenoxycyclopropane-1-carboxylate)، یک آزمایش با گنجاندن دُزهای ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ میکرولیتر از محلول رقیق‌شده سم (نسبت ۹ به ۱ با آب؛ طبق پروتکل رقیق‌سازی در مزرعه) در ۲۰۰ میلی‌گرم نمونه جیره، و سپس انکوباسیون برون‌تنی توسط ۳۰ میلی‌لیتر مایع شکمبه بافری‌شده انجام گردید. طبق نتایج غربال‌گری، آلودگی جیره با دُز ۲۵۰ میکرولیتر فن‌پروپاترین اثر معنی‌داری بر تخمیر نداشت، در حالی‌که دُز ۱۰۰۰ میکرولیتر اثر منفی شدید داشت و دُز ۱۵۰۰ میکرولیتر باعث توقف فرآیند تخمیر شکمبه‌ای شد. بنابراین، عملکرد و کارایی افزودنی‌های آلی و معدنی (در سطح ۲ و ۳ درصد جیره) در کاهش اثرات سوء فن‌پروپاترین فقط در جیره‌های آلوده به دُزهای ۵۰۰ و ۷۵۰ میکرولیتر آفت‌کش بررسی شد. با این وجود، تأثیر دُزهای ۲۵۰ و ۱۵۰۰ میکرولیتر سم (به‌عنوان حداقل و حداکثر دز مصرفی) در جیره فاقد افزودنی نیز گزارش شد.

در بخش اصلی آزمایش، یک جیره پایه شامل یونجه خشک (۳۵ درصد)، کاه گندم (۵ درصد)، جو (۲۶ درصد)، ذرت (۲۵ درصد)، کنجاله سویا (۸ درصد)، نمک (۰/۵ درصد) و مکمل معدنی-ویتامینی (۰/۵ درصد) تنظیم شد (۲۴). جیره مذکور که غیرآلوده به فن‌پروپاترین و فاقد افزودنی بود، به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. سایر تیمارهای آزمایشی شامل ترکیب جیره پایه با سطوح ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میکرولیتر فن‌پروپاترین بدون افزودنی، یا دُزهای ۵۰۰ و ۷۵۰ میکرولیتر سم به همراه ۲ و ۳ درصد

(MJ/kg DM) می‌باشد.

منظور گردید. حجم گاز باقی‌مانده به‌عنوان متان + مقدار جزئی هیدروژن در سیستم بسته ثبت شد. در نهایت، نسبت CO_2 به گاز باقی‌مانده محاسبه گردید.

برای شمارش پروتوزوآ، نمونه‌هایی از شیرابه تخمیری با محلول فرمالین-سالین ترکیب، و در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. شمارش سلول‌های پروتوزوآ با استفاده از لام هموسیتومتر و میکروسکوپ نوری انجام گرفت (۳۳).

داده‌های این آزمایش (۲۵ تیمار، ۴ تکرار، و ۲ سری) با نرم‌افزار SAS در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه شدند. تیمار به‌عنوان اثر ثابت و سری به‌عنوان اثر تصادفی در مدل آماری زیر در نظر گرفته شدند:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + R(T)_{ij} + e_{ij}$$

در این مدل، Y_{ij} : مقدار مشاهده، μ : میانگین کل، T_i : اثر ثابت تیمار، R_j : اثر تصادفی سری (run)، و e_{ij} : خطای باقیمانده است. مقایسه میانگین تیمارها در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام شد.

نتایج و بحث

تولید گاز، ناپدیدشدن ماده آلی، محتوای انرژی و اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر: بر اساس داده‌های جدول ۱، آلودگی جیره با ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میکرولیتر فن‌پروپاترین موجب افت قابل‌توجه در حجم گاز تولیدی ۲۴ ساعته، ناپدیدشدن ماده آلی، انرژی قابل متابولیسم، انرژی خالص شیردهی و اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر شد ($P < 0/05$). کم‌ترین مقادیر این شاخص‌ها در تیمارهای حاوی دُزهای ۷۵۰ و

برای تعیین محتوای سوپسترای تجزیه‌شده حقیقی (TDS; mg/g DM)، محتویات هر سرنگ پس از پایان انکوباسیون با محلول شوینده خنثی به مدت یک ساعت جوشانده، و سپس صاف شد. نمونه‌ها به همراه کاغذ صافی خشک و توزین گردیدند. در نهایت، سوزاندن در کوره الکتریکی انجام شد. اختلاف وزن اولیه (DM1) و باقی‌مانده (DM2) مقدار TDS طبق رابطه زیر مشخص شد (۲۸):

$$TDS = DM1 - DM2$$

تولید توده میکروبی (MBP; mg/g DM)، پروتئین خام میکروبی (MCP; g/kg TDS) و شاخص تفکیک‌پذیری (PF; mg/mL) به‌ترتیب طبق روابط ذیل برآورد گردیدند (۲۸، ۲۹).

$$MBP = TDS - (GP \times 2.2)$$

$$MCP = ([19.3 \times TDS] / 1000) \times 6.25$$

$$PF = mg \text{ TDS} / mL \text{ GP}$$

به منظور سنجش غلظت آمونیاک، نمونه‌های تخمیری با اسید سولفوریک ۵۰ درصد مخلوط، و در دمای منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. اندازه‌گیری نیتروژن آمونیاکی به روش فنل-هیپوکلرایت و رنگ‌سنجی انجام گرفت (۳۰). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل با روش FRAP و سنجش تغییر رنگ حاصل از احیای Fe^{3+} به Fe^{2+} در حضور معرف TPTZ ارزیابی شد (۳۱).

برای تخمین ترکیب گازهای تخمیری، آزمون تولید گاز مانند بالا انجام شد. پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون، ۴ میلی‌لیتر سود ۱۰ مولار به هر سرنگ تزریق شد تا CO_2 جذب گردد (۳۲) و کاهش حجم گاز در سرنگ به‌عنوان حجم CO_2

۱۵۰۰ میکرولیتر فاقد افزودنی مشاهده گردید. آلودگی فن‌پروپاترین در سطح ۲۵۰ میکرولیتر اثر منفی خاصی نداشت و چنین تغییراتی را ایجاد نکرد. این نتیجه نشان داد که میکروفلور شکمبه در برابر این مقدار کم آفت‌کش کارایی خود را حفظ می‌کند یا مقدار جزئی سم را احتمالاً متابولیزه و تجزیه می‌کند.

کاهش معنی‌دار شاخص‌های مرتبط با تخمیر در جیره آلوده به دُزهای متوسط و زیاد آفت‌کش را می‌توان به اثر مهاری این ترکیب سمی بر تراکم و فعالیت میکروارگانیسم‌های شکمبه‌ای نسبت داد. در تأیید این موضوع، افزایش میزان برخی آفت‌کش‌ها موجب کاهش فعالیت میکروبی، اختلال در تولید گاز و محدود شدن فرآیندهای هضمی شده است (۱۲، ۱۳، ۱۴، ۳۴). در تحقیقی، افزایش سطح سم فوزالون از صفر به ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام، نرخ و میزان تولید گاز را در زمان‌های ۲۴، ۴۸ و ۹۶ ساعت انکوباسیون کاهش داد (۳۴). مطالعات خاصی در خصوص آثار فن‌پروپاترین در نشخوارکنندگان وجود ندارد، با این وجود شواهد پژوهشی در سایر مدل‌های حیوانی نشان می‌دهد که آفت‌کش‌های پیروتریوئیدی (مانند فن‌پروپاترین) اثرات مضر بر جمعیت‌های میکروبی دارند. برای نمونه، مواجهه ماهی کپور با فن‌پروپاترین باعث آسیب ساختار روده، التهاب، تنش اکسیداتیو و آپوپتوز سلولی شده و تنوع میکروبیوتای روده به طور قابل‌توجهی تغییر کرده است که می‌تواند عملکرد طبیعی روده و رشد حیوان را مختل کند (۳۵). فن‌پروپاترین در کرم ابریشم نیز باعث کاهش باکتری‌های مفید روده و آسیب به بافت‌های گوارشی شده است (۳۶). در مجموع، کاهش

ناپدید شدن ماده آلی نشان‌دهنده تضعیف کارایی میکروارگانیسم‌های شکمبه و وقوع تخمیر ناکامل است که در نهایت منجر به کاهش تولید اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر می‌شود. از آنجا که این اسیدهای چرب تأمین‌کننده بخش عمده انرژی موردنیاز نشخوارکنندگان هستند، کاهش آن‌ها باعث افت انرژی قابل‌متابولیسم و بازده مواد مغذی می‌شود (۱۶). این الگو با کاهش گاز، تجزیه سوبسترا و شاخص‌های انرژی در جیره‌های آلوده در مطالعه حاضر سازگار بود.

استفاده از افزودنی‌های آلی و معدنی مختلف در جیره‌های آلوده به فن‌پروپاترین توانست بخش قابل‌توجهی از اثرات نامطلوب را کاهش دهد. به‌استثنای سطح ۲ درصد پرلیت، بیشتر افزودنی‌ها موجب افزایش تولید گاز، ناپدید شدن ماده آلی، محتوای انرژی و غلظت اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر شدند ($P < 0.05$)؛ به‌طوری‌که در دُز ۵۰۰ میکرولیتر، افزودنی‌ها (به‌جز پرلیت ۲ درصد) آثار نامطلوب سم را تا حد مطلوبی جبران کردند. در بین تیمارها، دُز ۳ درصد زئولیت بیشترین کارایی را در خنثی‌سازی اثر سم داشت و نتایجی تقریباً مشابه تیمار شاهد را باعث شد. کارایی پرلیت کمتر از سایر افزودنی‌ها بود، به طوری‌که سطح ۳ درصد آن تا حدودی مشابه ۲ درصد زئولیت عمل کرد. در دُز آلودگی ۷۵۰ میکرولیتر فن‌پروپاترین، افزودن ۳ درصد تفاله انار و زئولیت به ترتیب بهترین نتایج را در افزایش تولید گاز و تجزیه سوبسترا، ناپدید شدن ماده آلی و انرژی‌زایی نشان دادند ($P < 0.05$). سایر افزودنی‌ها نیز روند تخمیر را بهبود دادند، اما نتوانستند به سطح تیمار شاهد برسند.

جدول ۱- عملکرد افزودنی‌های آلی و معدنی در تعدیل اثر منفی فن‌پروپاترین بر تولید گاز ۲۴ ساعته، ناپدیدشدن ماده آلی، محتوای انرژی و اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر

SCFA (mmol/g DM)	NE _L (MJ/kg DM)	ME (MJ/kg DM)	OMD (%)	GP ₂₄ (mL/200 mg DM)	دز سم (mL)/افزودنی
۱/۰۵ ^a	۵/۵۳ ^a	۹/۲۷ ^a	۶۶/۹۴ ^a	۴۷/۵۰ ^a	شاهد (بدون سم و افزودنی)
۱/۰۳ ^a	۵/۴۵ ^a	۹/۱۵ ^a	۶۶/۲۰ ^a	۴۶/۶۷ ^a	۲۵۰ - بدون افزودنی
۰/۰۹ ^g	۱/۰۱ ^g	۳/۱۵ ^g	۲۸/۵۵ ^g	۴/۳۳ ^g	۱۵۰۰ - بدون افزودنی
۰/۷۸ ^f	۴/۲۷ ^f	۷/۵۶ ^f	۵۶/۲۶ ^f	۳۵/۵۰ ^f	۵۰۰ - بدون افزودنی
۰/۷۹ ^f	۴/۳۲ ^f	۷/۶۳ ^f	۵۶/۷۱ ^f	۳۶/۰۰ ^f	۵۰۰ + ۲ درصد پرلیت
۰/۹۷ ^b	۵/۱۶ ^b	۸/۷۷ ^b	۶۳/۸۲ ^b	۴۴/۰۰ ^b	۵۰۰ + ۳ درصد پرلیت
۰/۹۸ ^b	۵/۲۱ ^b	۸/۸۴ ^b	۶۴/۲۷ ^b	۴۴/۵۰ ^b	۵۰۰ + ۲ درصد ژئولیت
۱/۰۳ ^a	۵/۴۸ ^a	۹/۱۹ ^a	۶۶/۴۹ ^a	۴۷/۰۰ ^a	۵۰۰ + ۳ درصد ژئولیت
۰/۸۶ ^{de}	۴/۶۴ ^{de}	۸/۰۶ ^{de}	۵۹/۳۷ ^{de}	۳۹/۰۰ ^{de}	۵۰۰ + ۲ درصد تفاله انار
۰/۹۳ ^c	۴/۹۸ ^c	۸/۵۲ ^c	۶۲/۲۶ ^c	۴۲/۲۵ ^c	۵۰۰ + ۳ درصد تفاله انار
۰/۸۴ ^c	۴/۵۶ ^c	۷/۹۵ ^c	۵۸/۷۱ ^c	۳۸/۲۵ ^c	۵۰۰ + ۲ درصد بیوجار گردو
۰/۹۵ ^{bc}	۵/۰۶ ^{bc}	۸/۶۳ ^{bc}	۶۲/۹۳ ^{bc}	۴۳/۰۰ ^{bc}	۵۰۰ + ۳ درصد بیوجار گردو
۰/۸۳ ^c	۴/۵۳ ^c	۷/۹۲ ^c	۵۸/۴۹ ^c	۳۸/۰۰ ^c	۵۰۰ + ۲ درصد مخمر
۰/۸۸ ^d	۴/۷۴ ^d	۸/۲۰ ^d	۶۰/۲۶ ^d	۴۰/۰۰ ^d	۵۰۰ + ۳ درصد مخمر
۰/۷۱ ^f	۳/۹۳ ^f	۷/۱۰ ^f	۵۳/۳۷ ^f	۳۲/۲۵ ^f	۷۵۰ - بدون افزودنی
۰/۷۳ ^{ef}	۴/۰۱ ^{ef}	۷/۲۱ ^{ef}	۵۴/۰۴ ^{ef}	۳۳/۰۰ ^{ef}	۷۵۰ + ۲ درصد پرلیت
۰/۷۹ ^d	۴/۳۲ ^d	۷/۶۳ ^d	۵۶/۷۱ ^d	۳۶/۰۰ ^d	۷۵۰ + ۳ درصد پرلیت
۰/۸۰ ^d	۴/۳۸ ^d	۷/۷۰ ^d	۵۷/۱۵ ^d	۳۶/۵۰ ^d	۷۵۰ + ۲ درصد ژئولیت
۰/۸۶ ^c	۴/۶۴ ^c	۸/۰۶ ^c	۵۹/۳۷ ^c	۳۹/۰۰ ^c	۷۵۰ + ۳ درصد ژئولیت
۰/۸۰ ^d	۴/۳۵ ^d	۷/۶۴ ^d	۵۶/۹۳ ^d	۳۶/۲۵ ^d	۷۵۰ + ۲ درصد تفاله انار
۰/۹۰ ^b	۴/۸۵ ^b	۸/۳۴ ^b	۶۱/۱۵ ^b	۴۱/۰۰ ^b	۷۵۰ + ۳ درصد تفاله انار
۰/۷۳ ^{ef}	۳/۹۸ ^{ef}	۷/۱۷ ^{ef}	۵۳/۸۳ ^{ef}	۳۲/۷۵ ^{ef}	۷۵۰ + ۲ درصد بیوجار گردو
۰/۸۰ ^d	۴/۳۵ ^d	۷/۶۴ ^d	۵۶/۹۳ ^d	۳۶/۲۵ ^d	۷۵۰ + ۳ درصد بیوجار گردو
۰/۷۵ ^c	۴/۱۱ ^c	۷/۳۵ ^c	۵۴/۹۳ ^c	۳۴/۰۰ ^c	۷۵۰ + ۲ درصد مخمر
۰/۸۱ ^d	۴/۴۳ ^d	۷/۷۸ ^d	۵۷/۶۰ ^d	۳۶/۷۵ ^d	۷۵۰ + ۳ درصد مخمر
۰/۰۱۲	۰/۰۶۲	۰/۰۸۵	۰/۵۳۶	۰/۶۰۳	SEM
<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	P-value

GP₂₄، تولید گاز ۲۴ ساعته؛ OMD، ناپدیدشدن ماده آلی؛ ME، انرژی قابل متابولیسم؛ NE_L، انرژی خالص شیردهی؛ SCFA، اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر؛ SEM، اشتباه استاندارد میانگین. در هر ستون و برای هر دز سم، حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری بین تیمارها و با شاهد است (P<۰/۰۵).

از نظر مکانیسم عمل، تأثیر مثبت ژئولیت در جبران اثر منفی فن‌پروپاترین را می‌توان تا حدی به ساختار متخلخل و سطح ویژه زیاد آن نسبت داد. در تأیید این موضوع، گزارش شده است که آلومینوسیلیکات‌ها به واسطه ساختار بلوری متخلخل و ظرفیت تبادل یونی زیاد، توانایی

چشمگیری در جذب و اتصال آفت‌کش‌ها و سایر آلاینده‌های موجود در خوراک و محیط دارند (۲۲، ۳۷، ۳۸). این ترکیبات می‌توانند اثرات زیان‌بار سموم را از دو مسیر تعدیل کنند. نخست، با برخورداری از ظرفیت زیاد جذب و اتصال ترکیباتی مانند مایکوتوکسین‌ها و فلزات سنگین،

سوبسترای تجزیه‌شده، توده میکروبی، آمونیاک، پروتئین میکروبی و شاخص تفکیک‌پذیری: مطابق جدول ۲، آلودگی جیره با فن‌پروپاترین بدون مصرف افزودنی، به‌ویژه دُز ۱۵۰۰ میکرولیتر، باعث کاهش معنی‌دار سوبسترای تجزیه‌شده حقیقی، تولید توده میکروبی، غلظت نیتروژن آمونیاکی و پروتئین خام میکروبی نسبت به شاهد شد ($P < 0.05$). علت این کاهش می‌تواند مشابه آنچه پیش‌تر ذکر شد، ناشی از تخریب جمعیت و فعالیت میکروبی و ایجاد تنش اکسیداتیو در اثر آفت‌کش باشد. با این حال، مصرف دُز ۲۵۰ میکرولیتر فن‌پروپاترین تأثیری بر این متغیرها نداشت و با تیمار شاهد مشابه بود، که بیانگر مقاومت نسبی میکروفلور شکمبه در برابر دُزهای اندک بقایای سموم است.

گنجاندن افزودنی‌های مختلف در جیره باعث جبران آثار منفی فن‌پروپاترین با شدت‌های متفاوت شد. اگرچه اطلاعات خاصی درباره نقش افزودنی‌ها در کاهش اثرات سمی این آفت‌کش و ترکیبات مشابه وجود ندارد، اما شواهد نشان می‌دهد این افزودنی‌ها در کل می‌توانند به‌طور بالقوه عملکرد محیط تخمیر را در شرایط آلودگی بهبود دهند. در یک مطالعه، استفاده از سطوح صفر، ۱/۵، ۳ و ۴/۵ درصد زئولیت طبیعی در جیره قوچ‌های فیستوله‌دار موجب بهبود قابلیت هضم شد (۴۷). با این حال، چنین سطوح از زئولیت در جیره‌های حاوی یونجه و کنسانتره، تفاوت معنی‌داری را در متغیرها نشان نداده است

بخشی از سموم موجود در خوراک را غیرفعال می‌کنند و در نتیجه، دسترسی آن‌ها به میکروارگانیسم‌های دستگاه گوارش کاهش می‌یابد (۳۷، ۳۸، ۳۹). دوم، حضور کاتیون‌های تبادلی فعال در ساختار آلومینوسیلیکات‌ها می‌تواند فرآیند تخمیر، تولید اسیدهای چرب فرار و پایداری جمعیت میکروبی را تقویت نماید و توان مقابله با تنش‌های ناشی از سموم را افزایش دهد (۴۰، ۴۱، ۴۲، ۴۳). همسو با نتایج تحقیق حاضر، محققان با بررسی جیره‌های حاوی سطوح مختلف سم فوزالون، اثر بهبوددهنده بنتونیت بر تجزیه‌پذیری ماده خشک تیمار آلوده به ۱۰۰ پی‌پی‌ام فوزالون را مشاهده کردند. به هر حال، در دزهای دیگر سم نتایج چنین نبوده است (۱۳).

در خصوص تفاله انار، بخشی از بهبود متغیرهای تخمیری جیره آلوده به سم در اثر کاربرد این افزودنی را می‌توان به ترکیبات فنولی و تانن‌ها نسبت داد (۴۴). این ترکیبات از طریق تأثیر مثبت بر جمعیت میکروبی و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی محیط تخمیر، احتمالاً موجب کاهش اثرات بازدارنده فن‌پروپاترین بر فرآیند تجزیه و تخمیر نسبت به تیمارهای بدون افزودنی شده‌اند. در تأیید این موضوع، گزارش شده است که عصاره پوست انار، به دلیل دارا بودن مقادیر زیاد پلی‌فنول‌ها، با کاهش تنش اکسیداتیو و التهاب، توانسته اثرات منفی آفت‌کش فن‌پروپاترین را در موش صحرایی کاهش دهد (۴۵). همچنین، ترکیبات فعال انار دارای اثرات محافظتی در برابر سموم شیمیایی از جمله آفت‌کش‌ها، فلزات، عوامل نوروکسیک، کاردیوتوکسیک، هپاتوتوکسیک و نفروتوکسیک بوده است (۴۶).

گوسفند موجب افزایش نیتروژن میکروبی گردیده است (۴۹).

همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، مواد معدنی سیلیکاته نظیر بنتونیت، زئولیت، کائولین و گرانیت می‌توانند از طریق اثرگذاری بر فرآیندهای تخمیری، الگوی تخمیر شکمبه را بهبود دهند (۴۳). از این‌رو، انتظار می‌رود که در جیره‌ها و محیط تخمیر آلوده به سم نیز بتوانند میزان هضم، سوبسترای تجزیه‌شده و توده میکروبی را افزایش دهند. افزون بر این، استفاده از مخمر در جیره نشخوارکنندگان سبب تقویت رشد و فعالیت باکتری‌های فیبرولیتیک شده است (۵۱، ۵۰). بنابراین، انتظار می‌رود تقویت این جوامع میکروبی، علاوه بر افزایش فراهمی مواد مغذی و سوبسترای تجزیه‌شده، در نهایت موجب افزایش سنتز پروتئین میکروبی شود.

آلودگی فن‌پروپاترین در تمامی دُرها موجب کاهش معنی‌دار غلظت نیتروژن آمونیاکی در مقایسه با شاهد شد ($P < 0.05$). با توجه به اینکه بخش قابل‌توجهی از آمونیاک شکمبه حاصل پروتئولیز و دِآمیناسیون باکتریایی و نیز پروتوزوایی است، لذا آفت‌کش با تخریب و کاهش کل توده میکروبی موجب افت قابل‌توجه در غلظت آمونیاک شده است.

(۴۸). تحقیقات در زمینه کاربرد پرلیت در تغذیه دام محدود است، اما نتایج مطالعه حاضر نشان داد عملکرد سطح ۳ درصد این افزودنی در بهبود اغلب متغیرهای تخمیری جیره‌های آلوده مشابه سطح ۲ درصد زئولیت بود و همچون سایر افزودنی‌های معدنی از خانواده آلومینوسیلیکات‌ها می‌تواند برای نشخوارکنندگان سودمند باشد.

در دُز ۵۰۰ میکرولیتر سم، استفاده از ۳ درصد زئولیت منجر به بهبود قابل‌توجهی در تجزیه سوبسترا، تولید توده میکروبی و پروتئین خام میکروبی گردید ($P < 0.05$)، که مانند قبل می‌توان آن را به ساختار متخلخل و سطح ویژه بالای آلومینوسیلیکات‌ها به‌خصوص زئولیت برای جذب سموم خوراک (۲۲، ۳۷، ۳۸) و اثر مثبت ترکیبات فنولی و تانن‌های تفاله انار (۴۴) در بهبود محیط شکمبه‌ای نسبت داد. در این راستا، گزارش شده است که با افزودن بنتونیت در سطح ۱۰۰ پی‌پی‌ام سم فوزالون، تجزیه‌پذیری ماده خشک افزایش یافت (۱۳)، هرچند محققان دلیل خاصی را در این مورد ذکر نکردند. از سوی دیگر، استفاده از تفاله انار علاوه بر بهبود ناپدیدشدن ماده آلی و تجزیه سوبسترا، سبب افزایش تولید توده میکروبی و پروتئین میکروبی شده است. در پژوهشی، افزودن عصاره تفاله انار به جیره

جدول ۲- عملکرد افزودنی‌های آلی و معدنی در جبران اثر منفی فن‌پروپاترین بر سوبسترای تجزیه‌شده، توده میکروبی، آمونیاک، پروتئین میکروبی و شاخص تفکیک‌پذیری

دز سم (mL)/افزودنی	TDS (%)	MBP (mg/g DM)	NH ₃ -N (mg/dL)	MCP (mg/g TDS)	PF (mg TDS/mL GP)
شاهد (بدون سم و افزودنی)	۶۷/۰۸ ^a	۱۴۸/۳۴ ^a	۱۴/۲۰ ^a	۸۰/۹۲ ^a	۲/۸۲
۷۵۰ - بدون افزودنی	۶۵/۵۷ ^a	۱۴۲/۳۹ ^a	۱۳/۷۵ ^a	۷۹/۱۰ ^a	۲/۸۱
۱۵۰۰ - بدون افزودنی	۶/۰۵ ⁱ	۱۲/۸۳ ^g	۵/۳۰ ^h	۷/۳۰ ⁱ	۲/۹۸
۵۰۰ - بدون افزودنی	۴۸/۹۳ ^h	۹۸/۷۹ ^f	۱۰/۳۹ ^f	۵۹/۰۲ ^h	۲/۸۶
۵۰۰ + ۲ درصد پرلیت	۴۹/۵۹ ^h	۹۹/۹ ^f	۱۰/۵۸ ^f	۵۹/۸۲ ^h	۲/۸۶
۵۰۰ + ۳ درصد پرلیت	۶۰/۶۱ ^{cd}	۱۲۲/۰۶ ^c	۱۳/۹۷ ^a	۷۳/۱۱ ^{cd}	۲/۸۵
۵۰۰ + ۲ درصد ژئولیت	۶۱/۲۷ ^c	۱۲۳/۲۱ ^c	۱۳/۴۶ ^b	۷۳/۹۱ ^c	۲/۸۵
۵۰۰ + ۳ درصد ژئولیت	۶۵/۰۸ ^b	۱۳۳/۸۳ ^b	۱۲/۰۸ ^d	۷۸/۵۱ ^b	۲/۸۷
۵۰۰ + ۲ درصد تفاله انار	۵۳/۷۳ ^{fg}	۱۰۸/۲۴ ^e	۱۲/۷۸ ^c	۶۴/۸۰ ^{fg}	۲/۸۶
۵۰۰ + ۳ درصد تفاله انار	۵۸/۱۹ ^e	۱۱۷/۱۴ ^{cd}	۱۱/۹۰ ^{de}	۷۰/۱۹ ^e	۲/۸۵
۵۰۰ + ۲ درصد بیوجار گردو	۵۲/۵۹ ^g	۱۰۵/۱۵ ^{ef}	۱۰/۶۸ ^f	۶۳/۴۴ ^g	۲/۸۵
۵۰۰ + ۳ درصد بیوجار گردو	۵۹/۲۳ ^{de}	۱۱۹/۳۰ ^c	۱۰/۱۳ ^f	۷۱/۴۵ ^{de}	۲/۸۵
۵۰۰ + ۲ درصد مخمر	۵۲/۳۶ ^g	۱۰۵/۶۳ ^{ef}	۱۰/۵۰ ^f	۶۳/۱۶ ^g	۲/۸۶
۵۰۰ + ۳ درصد مخمر	۵۵/۱۰ ^f	۱۱۱/۰۰ ^{de}	۱۱/۳۴ ^e	۶۶/۴۶ ^f	۲/۸۶
۷۵۰ - بدون افزودنی	۴۴/۷۱ ^f	۹۲/۳۰ ^{ef}	۶/۱۹ ^g	۵۳/۹۳ ^f	۲/۸۷
۷۵۰ + ۲ درصد پرلیت	۴۵/۴۸ ^{ef}	۹۱/۸۱ ^f	۷/۵۴ ^{ef}	۵۴/۸۶ ^{ef}	۲/۸۶
۷۵۰ + ۳ درصد پرلیت	۴۹/۴۷ ^d	۹۸/۷۴ ^{de}	۱۰/۷۷ ^b	۵۹/۶۸ ^d	۲/۸۵
۷۵۰ + ۲ درصد ژئولیت	۵۰/۲۵ ^d	۱۰۰/۹۵ ^d	۱۰/۲۹ ^b	۶۰/۶۱ ^d	۲/۸۵
۷۵۰ + ۳ درصد ژئولیت	۵۳/۷۴ ^c	۱۰۸/۳۹ ^c	۸/۵۶ ^{cd}	۶۴/۸۲ ^c	۲/۸۶
۷۵۰ + ۲ درصد تفاله انار	۴۹/۸۸ ^d	۱۰۰/۰۷ ^d	۹/۲۴ ^c	۶۰/۱۷ ^d	۲/۸۵
۷۵۰ + ۳ درصد تفاله انار	۵۶/۸۴ ^b	۱۱۷/۴۵ ^b	۷/۷۰ ^{de}	۶۸/۵۷ ^b	۲/۸۷
۷۵۰ + ۲ درصد بیوجار گردو	۴۵/۱۸ ^{ef}	۹۱/۵۳ ^f	۷/۵۴ ^{ef}	۵۴/۵۰ ^{ef}	۲/۸۶
۷۵۰ + ۳ درصد بیوجار گردو	۴۹/۹۸ ^d	۱۰۱/۰۳ ^d	۶/۷۱ ^{fg}	۶۰/۲۹ ^d	۲/۸۶
۷۵۰ + ۲ درصد مخمر	۴۶/۸۴ ^e	۹۴/۴۳ ^{def}	۷/۳۰ ^{ef}	۵۶/۵ ^c	۲/۸۶
۷۵۰ + ۳ درصد مخمر	۵۰/۵۸ ^d	۱۰۱/۵۳ ^d	۸/۰۴ ^{de}	۶۱/۰۱ ^d	۲/۸۵
SEM	۰/۸۸۰	۳/۶۱	۰/۳۳۲	۱/۰۶۱	۰/۰۶۶
P-value	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۹۹

TDS، سوبسترای تجزیه‌شده حقیقی؛ MBP، تولید توده میکروبی؛ NH₃-N، نیتروژن آمونیاکی؛ MCP، پروتئین خام میکروبی؛ PF، شاخص تفکیک‌پذیری؛ SEM، اشتباه استاندارد میانگین. در هر ستون و برای هر دز سم، حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری بین تیمارها و با شاهد است (P<۰/۰۵).

چنین کاهش مطلوب نیست، زیرا طبیعی نبوده و حاصل سمیت فن‌پروپاترین است. در تأیید مکانیسم ذکرشده، محققان کاهش نیتروژن آمونیاکی را با افزایش دیازینون از صفر به ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام گزارش نمودند و بیان کردند احتمالاً بخشی از این کاهش مربوط به اثر سم بر جمعیت باکتری‌های تولیدکننده آمونیاک بوده است (۳۴). اثر افزودنی‌ها و دُزهای مختلف آنها بر غلظت

آمونیاک متغیر بود. کاربرد سطح ۳ درصد تمامی افزودنی‌ها در تیمارهای آلوده به ۵۰۰ و ۷۵۰ میکرولیتر فن‌پروپاترین، موجب افزایش معنی‌دار غلظت آمونیاک نسبت به جیره آلوده به سم بدون افزودنی گردید (P<۰/۰۵). این افزایش نشان‌دهنده احیای فعالیت میکروبی و رفع مهار ناشی از سم است. افزودنی‌هایی نظیر ژئولیت، تفاله انار، بیوجار و مخمر در جیره آلوده ممکن

(به جز سطح ۲۵۰ میکرولیتر) به طور معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0.05$). پروتوزوا با مشارکت در هضم فیبر و نشاسته، تنظیم جمعیت باکتری‌ها و بازچرخش مواد مغذی در شکمبه نقش مهمی دارد، بنابراین کاهش شدید جمعیت آن‌ها از دیدگاه عملکرد شکمبه مطلوب نیست و در اغلب پژوهش‌ها کاهش نسبی آن‌ها مدنظر قرار می‌گیرد. در آزمایش حاضر، فن‌پروپاترین در دزهای بیش از ۲۵۰ میکرولیتر باعث تخریب شدید ساختار این گروه میکروبی شد که پدیده نامطلوبی است.

کاربرد افزودنی‌هایی مانند ژئولیت، تفاله انار، انواع بیوپار و مخمر در جیره‌های فاقد آفت‌کش معمولاً باعث کاهش آمونیاک، پروتوزوا و میزان متان‌زایی می‌شود

(۴۰، ۴۱، ۴۴، ۴۹، ۵۰، ۵۲، ۵۳، ۵۴)، که عمدتاً به توان جذب ترکیبات نیتروژنی یا مولکول‌های فعال، تغییر الگوی جمعیت میکروبی و محدود کردن فعالیت میکروارگانیسم‌های متان‌زا نسبت داده شده است. در تحقیق حاضر، گنجاندن افزودنی‌ها در جیره‌های آلوده باعث نتیجه عکس شد و توانست با تعدیل اثر بازدارنده فن‌پروپاترین، جمعیت پروتوزوایی را افزایش دهد ($P < 0.05$)، که این اختلاف را می‌توان به نقش حمایتی و حفاظتی افزودنی‌ها تحت شرایط تنش سموم، کاهش یا حذف سموم و برقراری شرایط مساعدتر برای تعادل کل جمعیت‌های میکروبی نسبت داد. ژئولیت‌ها به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد و ساختار متخلخل قادرند فلزات سنگین، مایکوتوکسین‌ها و دیگر ترکیبات مضر (مانند فن‌پروپاترین) در این مطالعه را جذب، و از محیط تخمیر حذف کنند که منجر به کاهش تنش محیط شکمبه و شرایط مناسب‌تر برای فعالیت و

است از طریق جذب سم، کاهش تنش اکسیداتیو و بهبود شرایط تخمیر، موجب افزایش فعالیت باکتری‌های پروتئولیتیک و در نتیجه افزایش نرخ آمین‌زدایی پروتئین شده باشند. افزایش جمعیت پروتوزوایی در اثر افزودنی‌ها در جیره آلوده نیز می‌تواند در افزایش آمونیاک مؤثر بوده باشد. زیاد شدن آمونیاک در این تیمارها یک رخداد نامطلوب نیست و منعکس‌کننده بازگشت عملکرد میکروبی شکمبه به وضعیت طبیعی است. از سوی دیگر، غلظت آمونیاک محیط تخمیری در سطح ۳ درصد افزودنی‌ها کمتر از سطح ۲ درصد بود که با مقدار بیشتر پروتئین میکروبی در تیمارهای ۳ درصد افزودنی هم‌راستا می‌باشد، زیرا افزایش زیست‌توده باکتریایی نیازمند مصرف آمونیاک بیشتری به عنوان منبع نیتروژن است. از سوی دیگر، نتایج مطالعاتی که در شرایط فاقد تنش‌های سمی انجام شده‌اند نشان می‌دهد که افزودنی‌هایی نظیر تفاله انار، بیوپار، ژئولیت و مخمر معمولاً به صورت مستقل موجب کاهش غلظت آمونیاک شکمبه می‌شوند (۴۰، ۴۱، ۴۴، ۵۰، ۵۲). این کاهش عمدتاً به توانایی این ترکیبات در جذب نیتروژن محلول، بهبود کارایی استفاده از نیتروژن توسط میکروارگانیسم‌ها و ایجاد محیط مناسب‌تر برای رشد باکتریایی نسبت داده می‌شود.

جمعیت پروتوزوا، ترکیب گازهای تخمیری و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: بر اساس یافته‌های گزارش شده در جدول ۳، جمعیت پروتوزوایی در تیمارهای آلوده به دزهای مختلف فن‌پروپاترین بدون افزودنی

تولید متان می‌شوند. در مطالعه حاضر که آلودگی فن‌پروپاترین بیش‌تر مسیرها و میکروارگانیسم‌های دخیل در تولید متان را تا حد زیادی مختل کرده بود، کاربرد افزودنی‌ها ضمن بهبود فرآیند کلی تخمیر، افزایش حجم گاز تولیدی را به سمت متان زیاده‌تر سوق داد و سهم دی‌اکسیدکربن کاهش پیدا کرد ($P < 0.05$). این نتایج نشان داد که با گنجاندن افزودنی‌ها در جیره‌های آلوده، احتمالاً بازیابی نسبی زیاده‌تری در جمعیت متان‌زاهای حساس و آسیب‌دیده نسبت به کل جمعیت میکروبی رخ داده باشد. افزایش جمعیت پروتوزوا (به‌عنوان هم‌زیست متان‌زها) در اثر افزودنی‌ها نیز دلیل دیگری بر افزایش سهم متان نسبت به جیره آلوده به سم بدون افزودنی می‌باشد. با این تفاسیر باید توجه داشت که برخلاف جیره‌های فاقد سم در مطالعات رایج، حضور آفت‌کش‌ها می‌تواند نحوه اثرگذاری افزودنی‌ها را به‌طور قابل‌توجهی تغییر دهد. در این خصوص، بیوچار ممکن است از طریق فراهم‌سازی بستری مناسب برای تشکیل بیوفیلم میکروبی، به بازیابی جمعیت‌های حساس به سموم کمک کند (۵۴، ۵۷)؛ رخدادی که می‌تواند ظرفیت میکروارگانیسم‌های تولیدکننده هیدروژن و متان را مجدداً تقویت نماید. علاوه بر این، تغییر در پتانسیل الکتروشیمیایی محیط و تسهیل انتقال الکترون بین‌گونه‌ای توسط بیوچار ممکن است مسیرهای انتقال الکترون را دگرگون سازد. بسته به نوع بیوچار و شرایط تخمیر، این تغییرات می‌توانند موجب کاهش متان‌زایی از طریق هدایت الکترون‌ها به مسیرهای رقیب، یا برعکس، سبب افزایش فعالیت‌های میکروبی و تشدید تولید متان شوند. بنابراین، گزارش‌های متناقض درباره اثر بیوچار بر تولید متان در مطالعات مختلف

تکثیر میکروارگانیسم‌ها از جمله پروتوزوا می‌شود (۲۲، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۰). بیوچار نیز با جذب بخشی از فن‌پروپاترین و مشتقات آن (۵۲، ۵۶)، شدت سمیت محیط تخمیر را کاهش داده و شرایط را برای رشد پروتوزوا مساعدتر کرده است. از سوی دیگر، تفاله انار با داشتن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و ویژگی‌های تعدیل‌کننده میکروفلور شکمبه (۴۵)، احتمالاً تنش اکسیداتیو ناشی از حضور سم را کاهش داده و در نتیجه به پایداری و افزایش جمعیت پروتوزوا کمک کرده است.

در تیمارهای آلوده به فن‌پروپاترین و فاقد افزودنی، الگوی تولید گاز شکمبه دچار تغییرات قابل‌توجهی شد؛ به‌طوری‌که درصد دی‌اکسیدکربن به‌طور معنی‌داری افزایش، درصد گاز باقیمانده (عمدتاً متان + اندکی هیدروژن) کاهش، و نسبت CO_2 به گاز باقیمانده افزایش پیدا کرد ($P < 0.05$). چنین الگویی نشان می‌دهد که بقایای آفت‌کش تأثیر منفی شدیدتری بر میکروارگانیسم‌های متان‌زا یا مسیرهای بیوشیمیایی تولید متان در قیاس با تجمع CO_2 داشته، و در نتیجه ترکیب گاز به نفع CO_2 سوق یافته است. مستندات خاصی در خصوص اثر آفت‌کش‌ها بر ترکیب گازهای شکمبه‌ای دیده نشد، اما به نظر می‌رسد گروه‌های متان‌زا در تحقیق حاضر به دلیل ویژگی‌های متابولیکی یا ساختار سلولی خود حساسیت بیشتری نسبت به ترکیبات فن‌پروپاترین داشته‌اند. بر این اساس، بررسی دقیق‌تر تغییرات جمعیت میکروبی و به‌ویژه تغییرات در مکانیسم‌ها و مسیرهای تخمیری مرتبط با تولید گازها توصیه می‌شود.

افزودنی‌های آلی و معدنی در شرایط عادی و بدون آلودگی سموم آفت‌کش در جیره، معمولاً موجب کاهش جمعیت‌های متان‌زا و مسیرهای

به‌نظر می‌رسد نقش اصلی مخمر، بازیابی فعالیت تخمیری در جیره آلوده به فن‌پروپاترین و در نتیجه افزایش نسبی تولید متان بوده است. در مورد تفاله انار و ترکیبات فنولی نیز، معمولاً مهار متان‌زها و پروتوزوا و کاهش تولید متان گزارش شده است (۴۹، ۵۳). با این حال، به دلیل اثر مهاری شدید فن‌پروپاترین بر میکروبیوم شکمبه، نتیجه این تحقیق متفاوت بود. به نظر می‌رسد تفاله انار از طریق جذب یا خنثی‌سازی بخشی از سم، محیط شکمبه را برای بازگشت نسبی متان‌زهای حساس فراهم کرده باشد. در حمایت از این تفسیر، گزارش شده است که نانوامولسیون پوست انار توانسته است دیازینون را ۵۴/۷۱ درصد، پاراتیون را ۴۴/۸۹ درصد و کلروپیریفوس را ۲۹ درصد در نمونه‌های آلوده کاهش دهد؛ یافته‌ای که نشان‌دهنده قابلیت مطلوب پوست انار به‌عنوان جاذبی طبیعی در کاهش آلودگی‌های ناشی از سموم کشاورزی است (۱۸).

باتوجه به نتایج جدول ۳، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تیمارهای آلوده به فن‌پروپاترین اما فاقد افزودنی در مقایسه با جیره شاهد به شدت کاهش یافت ($P < 0.05$)، به‌جز سطح ۲۵۰ میکرولیتر (آلودگی سمی اندک) که تفاوتی با شاهد ایجاد نکرد. علت کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در اثر دزهای متوسط و زیاد سم را شاید بتوان به افت شدید فرآیندهای تخمیر (ذکرشده در بالا) مربوط دانست.

(۵۶، ۵۸) نشانگر وابستگی شدید این پدیده به منبع و دز بیوجار و شرایط محیطی آزمایش است. افزون بر این، آلومینوسیلیکات‌هایی مانند زئولیت و پرلیت از طریق جذب ترکیبات سمی، تبادل یونی و تثبیت نیتروژن آمونیاکی می‌توانند دسترسی به نیتروژن و رشد باکتری‌های تخمیری را بهبود بخشند؛ موضوعی که در مطالعات مختلف تأیید شده است (۴۰، ۴۱، ۴۲، ۵۹). در جیره‌های آلوده به آفت‌کش، این ویژگی می‌تواند با رفع نسبی اثرات بازدارنده سموم، موجب بازسازی جریان سوپسترا و هیدروژن موردنیاز متان‌زها شود و در نهایت افزایش متان را به همراه داشته باشد؛ موضوعی که با الگوی مشاهده‌شده در جیره‌های فاقد سم تفاوت دارد.

در خصوص افزودنی‌های مخمری باید ذکر شود که این ترکیبات با تحریک رشد میکروارگانیسم‌های سودمند و ارتقای شرایط تخمیر شکمبه (۵۰)، توان بالقوه‌ای در تجزیه زیستی بقایای آفت‌کش‌ها داشته و می‌توانند به‌عنوان روشی زیست‌پایه برای کاهش آلودگی‌های شیمیایی مطرح شوند (۲۳). با این حال، پیامدهای این فرآیند بر متابولیسم گازی شکمبه یکنواخت نیست؛ زیرا افزایش فعالیت باکتری‌های فیبرولیتیک می‌تواند تولید هیدروژن و در نتیجه متان‌زایی را تشدید کند، در حالی که تقویت مسیرهای تولید پروپیونات ممکن است به کاهش متان منجر شود (۵۱). در مطالعه حاضر،

جدول ۳- عملکرد افزودنی‌های آلی و معدنی در جبران اثر منفی فن‌پروپاترین بر جمعیت پروتوزوا، ترکیب گاز تولیدشده و ظرفیت آن‌تی‌اکسیدانی در تخمیر برون‌تنی

دز سم (mL)/افزودنی	Protozoa ($\times 10^5$ /mL)	CO ₂ (% of total gas)	RG (% of total as)	CO ₂ /RG	TAC (μ mol Fe ²⁺ /L)
شاهد (بدون سم و افزودنی)	۶/۲۳ ^a	۶۸/۳۸ ⁱ	۳۱/۶۳ ^a	۲/۱۷ ^h	۴۷۶/۳۶ ^a
۲۵۰ - بدون افزودنی	۵/۷۰ ^b	۷۹/۵۸ ^{de}	۲۰/۴۲ ^{ef}	۳/۹۰ ^{def}	۴۷۴/۸۱ ^a
۱۵۰۰ - بدون افزودنی	۰/۸۷ ⁱ	۹۴/۵۳ ^a	۵/۴۸ ⁱ	۱۷/۳۳ ^a	۲۱/۵۹ ^j
۵۰۰ - بدون افزودنی	۳/۶۰ ^h	۸۶/۴۸ ^b	۱۳/۵۲ ^h	۶/۴۰ ^b	۳۷۶/۰۴ ^g
۵۰۰ + ۲ درصد پرلیت	۳/۷۰ ^{gh}	۸۴/۶۱ ^c	۱۵/۳۹ ^g	۵/۵۰ ^{bc}	۴۴۲/۶۵ ^f
۵۰۰ + ۳ درصد پرلیت	۴/۷۵ ^c	۸۳/۳۳ ^c	۱۶/۶۷ ^g	۵/۰۰ ^{cd}	۴۴۸/۰۲ ^{def}
۵۰۰ + ۲ درصد زئولیت	۴/۲۰ ^{defg}	۷۸/۷۱ ^{def}	۲۱/۳۹ ^{def}	۳/۷۰ ^{efg}	۴۴۸/۰۳ ^{def}
۵۰۰ + ۳ درصد زئولیت	۳/۸۵ ^{efgh}	۷۳/۵۰ ^g	۲۶/۵۰ ^c	۲/۷۹ ^{fgh}	۴۵۱/۲۵ ^{de}
۵۰۰ + ۲ درصد تفاله انار	۴/۳۰ ^{cdef}	۸۰/۴۸ ^d	۱۹/۵۲ ^f	۴/۱۳ ^{de}	۴۵۳/۴۰ ^d
۵۰۰ + ۳ درصد تفاله انار	۴/۰۵ ^{defgh}	۷۷/۲۷ ^f	۲۲/۷۳ ^d	۳/۴۰ ^{efg}	۴۶۸/۴۴ ^{bc}
۵۰۰ + ۲ درصد بیوجار گردو	۴/۳۵ ^{cde}	۸۰/۴۸ ^d	۱۹/۵۲ ^f	۴/۱۳ ^{de}	۴۶۴/۱۴ ^c
۵۰۰ + ۳ درصد بیوجار گردو	۳/۸۰ ^{fgh}	۷۷/۷۷ ^{ef}	۲۲/۲۳ ^{de}	۳/۵۰ ^{efg}	۴۷۲/۷۴ ^b
۵۰۰ + ۲ درصد مخمر	۴/۵۰ ^{cd}	۷۹/۴۷ ^{de}	۲۰/۵۳ ^{ef}	۳/۸۸ ^{def}	۴۴۵/۸۸ ^{ef}
۵۰۰ + ۳ درصد مخمر	۴/۴۵ ^{cd}	۷۱/۴۳ ^h	۲۸/۵۷ ^b	۲/۵۰ ^{gh}	۴۴۸/۰۲ ^{def}
۷۵۰ - بدون افزودنی	۱/۹۵ ^h	۹۳/۹۳ ^a	۶/۰۷ ^c	۱۵/۵۰ ^b	۲۶۶/۴۵ ⁱ
۷۵۰ + ۲ درصد پرلیت	۱/۹۵ ^h	۹۴/۲۸ ^a	۵/۷۳ ^c	۱۶/۵۰ ^{ab}	۳۸۶/۷۸ ^h
۷۵۰ + ۳ درصد پرلیت	۳/۱۰ ^f	۸۸/۴۲ ^b	۱۱/۵۸ ^d	۷/۸۰ ^{cd}	۳۹۵/۳۸ ^{fg}
۷۵۰ + ۲ درصد زئولیت	۲/۳۰ ^h	۹۰/۰۰ ^b	۱۰/۰۰ ^d	۹/۰۰ ^c	۳۹۱/۰۸ ^{gh}
۷۵۰ + ۳ درصد زئولیت	۳/۶۰ ^e	۸۴/۱۱ ^c	۱۵/۸۹ ^c	۵/۳۶ ^{ef}	۳۹۸/۶۰ ^{efg}
۷۵۰ + ۲ درصد تفاله انار	۲/۳۰ ^h	۸۹/۱۸ ^b	۱۰/۸۲ ^d	۸/۲۵ ^c	۳۹۹/۶۸ ^{ef}
۷۵۰ + ۳ درصد تفاله انار	۴/۱۵ ^d	۸۶/۰۴ ^c	۱۳/۹۶ ^c	۶/۱۷ ^{de}	۴۱۰/۴۳ ^{cd}
۷۵۰ + ۲ درصد بیوجار گردو	۲/۱۰ ^h	۸۸/۵۶ ^b	۱۱/۴۴ ^d	۷/۷۵ ^{cd}	۴۰۶/۱۳ ^{de}
۷۵۰ + ۳ درصد بیوجار گردو	۳/۶۰ ^e	۸۴/۲۱ ^c	۱۵/۷۹ ^c	۵/۳۳ ^{ef}	۴۱۶/۸۷ ^c
۷۵۰ + ۲ درصد مخمر	۲/۷۰ ^g	۸۸/۵۶ ^b	۱۱/۴۴ ^d	۷/۷۵ ^{cd}	۳۹۱/۰۸ ^{gh}
۷۵۰ + ۳ درصد مخمر	۴/۵۵ ^c	۷۸/۹۵ ^d	۲۱/۰۵ ^b	۳/۷۵ ^f	۳۹۲/۱۶ ^{fgh}
SEM	۰/۲۰۶	۰/۶۵۰	۰/۶۵۰	۰/۴۱۳	۳/۶۸
P-value	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱

Protozoa، جمعیت کل پروتوزوا؛ RG (remaining gas)، گاز باقیمانده (متان + اندکی هیدروژن)؛ CO₂/RG، نسبت دی‌اکسیدکربن به گاز باقیمانده؛ TAC، ظرفیت آن‌تی‌اکسیدانی کل؛ SEM، اشتباه استاندارد میانگین. در هر ستون و برای هر دز سم، حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری بین تیمارها و با شاهد است (P<۰/۰۵).

حضور هر دو دز ۵۰۰ و ۷۵۰ میکرولیتر فن‌پروپاترین، بهبود قابل‌توجهی را در ظرفیت آن‌تی‌اکسیدانی ایجاد کردند (P<۰/۰۵)؛ یعنی اثر منفی سم تا حد زیادی خنثی شد، هرچند به حد شاهد نرسید. خنثی‌سازی اثر منفی فن‌پروپاترین بر ظرفیت آن‌تی‌اکسیدانی در اثر افزودنی‌ها را می‌توان به عواملی مانند بهبود فعالیت توده میکروبی مفید (و احتمالاً کاهش جمعیت‌های

همچنین، مواردی مانند مرگ میکروبی و تجمع مواد ناخواسته آزادشده در محیط تخمیر ممکن است در این موضوع دخیل باشند. در واقع، مکانیسم‌های پیچیده و ارتباط متقابل بین سم، باکتری‌ها و افزایش رادیکال‌های آزاد عوامل اثرگذار در این خصوص هستند که نیازمند بررسی‌های بیشتری است. تمامی افزودنی‌ها به‌خصوص سطح ۳ درصد بیوجار و تفاله انار در

ناشی از تنش اکسیداتیو است. به هر حال، اثر مخمر و پرلیت بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کمتر از سایر افزودنی‌ها بود.

نتیجه‌گیری

آلودگی خوراک به آفت‌کش فن‌پروپاترین در دُزهای ۵۰۰ میکرولیتر و بیشتر (به ازای ۲۰۰ میلی گرم جیره) موجب اختلال شدید در عملکرد تخمیر، تولید توده میکروبی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شکمبه‌ای در شرایط برون‌تنی شد، اما دز ۲۵۰ میکرولیتر اثر منفی نسبت به شاهد نداشت. گنجاندن افزودنی‌های آلی و معدنی (در سطح ۲ و ۳ درصد) در جیره‌های آلوده به دزهای متوسط و زیاد آفت‌کش، بخش قابل توجهی از اثرات سمی را تعدیل نمود. زئولیت در آلودگی متوسط و تفاله انار و بیوپچار در آلودگی زیاد آفت‌کش عملکرد بهتری داشتند. به‌طور کلی، استفاده از افزودنی‌های آلی و معدنی (به‌ویژه تفاله انار، بیوپچار و زئولیت) در جیره‌های آلوده به فن‌پروپاترین می‌تواند راهکاری تغذیه‌ای و زیست‌سازگار مؤثر برای کاهش اثرات سمی آلاینده‌های پیرتروئیدی در خوراک دام باشد. توصیه می‌شود مسیرهای متابولیک، مکانیسم‌های احتمالی و سرنوشت فن‌پروپاترین در حضور این افزودنی‌ها بیشتر بررسی شود.

سپاسگزاری و قدردانی

نویسندگان مراتب سپاسگزاری از دانشگاه تربیت مدرس برای حمایت مادی و معنوی از تحقیق حاضر را اعلام می‌دارند.

نامطلوب)، جذب بخشی از سموم یا فرآورده‌های سمی و قابلیت عمومی افزودنی‌ها در کاهش رادیکال‌های آزاد و حضور آنتی‌اکسیدان‌ها در این افزودنی‌ها مربوط دانست. در این خصوص گزارش شده است که عصاره پوست انار موجب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی محیط شکمبه بره‌های پرواری می‌شود (۴۹). همچنین، تفاله انار و ترکیبات فعال آن به دلیل ویژگی‌های ضد آپوپتوز، توانایی مهار و جمع‌آوری رادیکال‌های آزاد، خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی و کاهش فرآیندهای التهابی، دارای اثرات محافظتی قابل‌توجهی در برابر انواع سموم هستند (۴۶). بیوپچار می‌تواند با تقویت جمعیت میکروارگانیسم‌های سودمند و محدودسازی یا خنثی‌سازی اثر سموم و میکروب‌های نامطلوب، در بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شکمبه نقش داشته باشد (۵۶). آلومینوسیلیکات‌ها (مانند زئولیت و پرلیت) نیز به دلیل برخورداری از سطح ویژه زیاد، بار منفی و ظرفیت تبادل یونی، قادرند ترکیبات سمی و عوامل پروکسیدان را جذب و غیرفعال کنند. این مواد با مهار یون‌های فلزی کاتالیزور واکنش‌های اکسیداسیون و محدودکردن تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن، می‌توانند شدت تنش اکسیداتیو را کاهش دهند و به بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کمک نمایند (۶۰). افزودنی‌های مخمری با تقویت رشد میکروارگانیسم‌های مفید و بهبود شرایط تخمیر شکمبه (۵۰) قادرند ظرفیت آنتی‌اکسیدانی محیط را افزایش دهند. این اثر بیشتر به دلیل افزایش تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسیددیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز، تأمین ترکیبات زیست‌فعال همچون گلوتاتیون و مانان‌الیگوساکاریدها، و کاهش رادیکال‌های آزاد

منابع

11. Kanawi, E., Budd, R. and Tjeerdema, R. 2013. Environmental fate and ecotoxicology of fenpropathrin. Reviews of environmental contamination and toxicology. 225: 77-93.
12. Aazami, M.H., Tahmasbi, A.M., Forouhar, V. and Naserian, A.A. 2017. Effects of sodium bentonite on blood parameters, feed digestibility and rumen fermentation parameters of male balouchi sheep fed diet contaminated by diazinon, an organophosphate pesticide. Iranian Journal of Applied Animal Science. 7(3): 421-428.
13. Kazemi, M., Tahmasebi, A., Valizadeh, R., Nasarian, A., Afshari, R. and Sanaei, A. 2013a. Effect of organophosphorus pesticide phosalone with different levels of bentonite on in vitro fermentation parameters of a total mixed ration. Iranian Journal of Animal Science Research. 5(3): 201–209. (in Persian)
14. Zheng, W., Bakker, W., Jin, M., Wang, J. and Rietjens, I. 2025. Organophosphate pesticides modulate gut microbiota and influence bile acid metabolism in an in vitro fermentation model. Environment International. 199: 109469.
15. Jiao, Z., Wu, Y. and Qu, S. 2020. Fenpropathrin induces degeneration of dopaminergic neurons via disruption of the mitochondrial quality control system. Cell Death Discovery. 6: 78.
16. McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F., Morgan, C.A., Sinclair, L.A. and Wilkinson, R.G. 2011. Animal Nutrition. 7th ed. Prentice Hall, Essex, UK.
17. Mirzaei-Aghsaghali, A., Maheri-Sis, N., Mansouri, H., razeghi, M.E., Mirza-Aghazadeh, A., Cheraghi, H. et al., 2011. Evaluating potential nutritive value of pomegranate processing by-products for ruminants using in vitro gas production technique. ARPN Journal of
1. FAO. 2021. Pesticides use and trends worldwide. Food and Agriculture Organization.
2. Damalas, C.A. and Koutroubas, S.D. 2018. Current status and recent developments in biopesticide use. Agriculture. 8(1): 13.
3. Parven, A., Meftaul, I.M., Venkateswarlu, K. and Megharaj, M. 2052. Herbicides in modern sustainable agriculture: environmental fate, ecological implications, and human health concerns. International Journal of Environmental Science and Technology. 22: 1181–1202.
4. UNEP. 2020. Environmental and health impacts of pesticides. United Nations Environment Programme.
5. EFSA. 2022. Annual report on pesticide residues in food. European Food Safety Authority.
6. WHO and FAO. 2019. Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues (JMPR): Evaluation of pesticide residues in food.
7. Oluwole-Banjo, A., Agina, P. and Umejiego, R. 2022. Organochlorine and organophosphorus pesticides residues in commercial poultry feed samples in Lagos State, Nigeria. Journal of Applied Science and Environmental Management. 26(2): 297–305
8. Darko, G. and Acquah, S.O. 2008. Levels of organochlorine pesticides residues in dairy products in Kumasi. Ghana. Chemosphere. 71(2): 294-298.
9. Li, Z. and Fantke, P. 2023. Framework for defining pesticide maximum residue levels in feed: applications to cattle and sheep. Pest Management Science. 79(2): 748–759.
10. Akhtar, S. and Ahad, K. 2017. Pesticides residue in milk and milk products: mini review. Pakistan Journal of Analytical and Environmental Chemistry. 18(1): 37-45.

- incubated with rumen liquor in vitro. *Journal of Agricultural Science*. 93: 217-222.
26. Makkar, H.P.S. 2000. Quantification of tannins in tree foliage – a laboratory manual; a joint FAO/IAEA working document, Vienna, Austria.
 27. 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: 7–55.
 28. Blümmel, M., Steingass, H. and Becker, K. 1997. The relationship between in vitro gas production, in vitro microbial biomass yield and 15N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. *British Journal of Nutrition*. 77: 911-921.
 29. Czerkawski, J.W. 1986. Degradation of solid feeds in the rumen: spatial distribution of microbial activity and its consequences. In: Milligan, L.P., Grovum, N.L. and Dobson, A. (eds) *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants*. Prentice Hall, Oxford, New Jersey, pp. 158–172.
 30. Galvayan, M.L. 2010. *Laboratory Procedures in Animal Nutrition Research*, Revised 2010. Department of Animal and Food Sciences. Texas Tech University, Lubbock, TX, USA.
 31. Benzie, I.F.F. and Strain, J.J. 1996. The ferric reducing ability of blood (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*. 239: 70-76.
 32. Fievez, V., Babayemi, O.J. and Demeyer, D. 2005. Estimation of direct and indirect gas production in syringes: a tool to estimate short chain fatty acid production that requires minimal laboratory facilities. *Animal Feed Science and Technology*. 123–124: 197-210.
 33. Dehority, B.A. 2003. *Rumen Microbiology*, 1st ed. Nottingham University Press, Nottingham, UK.
 - Agricultural and Biological Sciences. 6(6):45-51.
 18. Abdel-Rahman, G., Farouk, A., Badr, A.N., Hathout, A., Morsy, T., and Fouzy, A.S.M. 2023. Pomegranate peel nanoemulsion: evaluation of bioactive components and their efficacy to reduce specific pesticide residues. *Egyptian Journal of Chemistry*. 66(13): 1433-1448.
 19. Awogbemi, O. and Kallon, D. 2023. Progress in agricultural waste derived biochar as adsorbents for wastewater treatment. *Applied Surface Science Advances*. 18: 100518.
 20. Hamidzadeh, Z., Ghorbannezhad, P., Ketabchi, M. R., and Yeganeh, B. 2023. Biomass-derived biochar and its application in agriculture. *Fuel (Guildford)*. 341: 127701.
 21. Rumsey, T.S., Williams, E.E. and Evand, A.D. 1975. Tissue residues, performance and ruminal and blood characteristics of steers fed runnel and activated carbon. *Journal of Animal Science*. 40(4):743-749.
 22. Andrunik, M., Skalny, M., Gajewska, M., Marzec, M., and Bajda, T. 2023. Comparison of pesticide adsorption efficiencies of zeolites and zeolite-carbon composites and their regeneration possibilities. *Heliyon*. 9(10): e20572.
 23. Yuan, S., Yu, H., Guo, Y., Xie, Y., Cheng, Y., et al., 2024. Recent advance in probiotics for the elimination of pesticide residues in food and feed: mechanisms, product toxicity, and reinforcement strategies. *Critical reviews in food science and nutrition*. 64(32): 12025–12039.
 24. NRC. 2007. *Nutrient Requirements of Dairy Animals* (7th ed.). Washington, DC (USA): National Academy Press.
 25. Menke, K.H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D. and Schneider, W. 1979. The estimation of the digestibility and metabolisable energy content of ruminant feedstuffs from the gas production when they are

41. El-Nile, A., Elazab, M., El-Zaiat, H., El-Azrak, K., Elkomy, A. and Sallam, S., et al. 2021. In vitro and in vivo assessment of dietary supplementation of both natural or nano-zeolite in goat diets: effects on ruminal fermentation and nutrients digestibility. *Animals*. 11(8): 2215.
42. Ghasemi, Z., Sourinejad, I., Kazemian, H. and Rohani, S. 2016. Application of zeolites in aquaculture industry: a review. *Reviews in Aquaculture*. 10: 75-95.
43. Varadyova, Z., Baran, M., Siroka, P. and Styriakova, I. 2003. Effect of silicates minerals (Zeolite, bentonite, kaolin, granite) on in vitro fermentation of amorphous cellulose, meadow hay and wheat straw and barley. *Berliner und Munchener Tierarztlche Wochenschrift. Czech Journal of Animal Science*. 10: 120-130.
44. Abarghuei, M.J., Rouzbehan, Y., Salem, A.Z.M. and Zamiri, M.J. 2013. Nutrient digestion, ruminal fermentation and performance of dairy cows fed pomegranate peel extract. *Livestock Science*. 157: 452-461.
45. Jebur, A.B., El-Sayed, R.A., Abdel-Daim, M.M. and El-Demerdash, F.M. 2023. *Punica granatum* (Pomegranate) peel extract pre-treatment alleviates fenpropathrin-induced testicular injury via suppression of oxidative stress and inflammation in adult male rats. *Toxics*. 11(6): 504.
46. Hosseini, A., Razavi, B. and Hosseinzadeh, H. 2022. Protective effects of pomegranate (*Punica granatum*) and its main components against natural and chemical toxic agents: A comprehensive review. *Phytomedicine*. 109: 154581.
47. Ruiz-Barrera, O., Castillo-Castillo, Y., Arzola-Alvarez, C., Rubio-Arias, H., Salvador-Torres, F. and Rodriguez-Mulea, C., et al., 2006. Effects of graded levels of zeolite on the digestibility and nutrient intake of
34. Kazemi, M. 2012. The effect of organophosphorus pesticides in foodstuffs on the rumen ecosystem, performance, and blood metabolites of ruminants, and their transfer into animal products with or without sodium bentonite (Doctoral dissertation, Ferdowsi University of Mashhad). (in Persian)
35. Xiu, W., Ding, W., Mou, S., Li, Y., Sultan, Y., J. and Li, X. et al., 2024. Adverse effects of fenpropathrin on the intestine of common carp (*Cyprinus carpio* L.) and the mechanism involved. *Pesticide biochemistry and physiology*. 199: 105799.
36. Muhammad, A., Qian, Z., Li, Y., Lei, X., Iqbal, J. and Shen, et al., 2025. Enhanced bioaccumulation and toxicity of Fenpropathrin by polystyrene nano(micro)plastics in the model insect, silkworm (*Bombyx mori*). *Journal of Nanobiotechnology*. 23(1): 38.
37. Huwig, A., Freimund, S., Kappeli, O. and Dutler, H. 2001. Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbents. *Toxicology Letters*. 122(2): 179-188.
38. Mumpton, F.A. 1999. La roca magica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 96(7): 3463-3470.
39. Ramos, A. and Hernández, E. 1997. Prevention of aflatoxicosis in farm animals by means of hydrated sodium calcium aluminosilicate addition to feedstuffs: a review. *Animal Feed Science and Technology*. 65: 197-206.
40. Papaioannou, D. S., Katsoulos, P. D., Panousis, N. and Karatzias, H. 2005. The role of natural and synthetic zeolites as feed additives on the prevention and/or the treatment of certain farm animal diseases: A review. *Microporous and Mesoporous Materials*. 84(1-3): 161-170.

- fluid in vitro. *Livestock Research for Rural Development*. 24(6):103.
55. Mirheidari, A., Torbati Nejad, N., Hassani, S. and Shakeri, P. 2017a. Effect of pistachio by-product biochar on microbial protein synthesis, some rumen fermentation parameters, and blood metabolites in fattening lambs. *Journal of Animal Science*. 117: 151–162. (in Persian)
 56. Rashidi, N., Khatibjoo, A., Taherpour, K., Akbari Gharaei, M. and Shirzadi H. 2018. Effect of licorice extract, probiotic, antifungal and biochar on performance of broiler chickens fed aflatoxin B1 contaminated diet. *Animal Production*. 20(1): 145-157. (in Persian)
 57. Luo, C., Lü, F., Shao, L. and He, P. 2015. Application of eco-compatible biochar in anaerobic digestion to relieve acid stress and promote the selective colonization of functional microbes. *Water Research*. 68: 710-718.
 58. Mirheidari, A., Torbatinejad, N.M., Shakeri, P. and Mokhtarpour, A. 2019. Effects of walnut shell and chicken manure biochar on in vitro fermentation and in vivo nutrient digestibility and performance of dairy ewes. *Tropical Animal Health and Production*. 51: 1-8.
 59. Amanzougarene, Z. and Fondevila, M. 2022. Rumen fermentation of feed mixtures supplemented with clay minerals in a semicontinuous in vitro system. *Animals*. 12(3): 345.
 60. Elliott, C.T., Connolly, L. and Kolawole, O. 2020. Potential adverse effects on animal health and performance caused by the addition of mineral adsorbents to feeds to reduce mycotoxin exposure. *Mycotoxin Research*. 36(1): 115–126
 - sheep. In *Proceeding of Western Ssection, American Society of Animal Science*. USA.
 48. Ruiz, O., Yamicela, C., Elías, C., Arzola, A., Rodríguez, C. and Salinas, J., et al., 2008. Effect of four zeolite levels on the digestibility and intake of nutrients in sheep fed alfalfa hay and concentrate. *Cuban Journal of Agriculture Science*. 42: 369-372.
 49. Rajabi, M., Rouzbehan, Y. and Rezaei, J. 2017. A strategy to improve nitrogen utilization, reduce environmental impact, and increase performance and antioxidant capacity of fattening lambs using pomegranate peel extract. *Journal of Animal Science*. 95(1): 499-510.
 50. Chaucheyras-Durand, F., Walker, N.D. and Bach, A. 2008. Effects of active dry yeasts on the rumen microbial ecosystem: Past, present and future. *Animal Feed Science and Technology*. 145(1-4): 5-26.
 51. Zhang, Q., L., Zhang, X., Jia, H., T., Guo, Y., Zhang, J. and Wang, J. 2024. Feeding live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) improved performance of mid-lactation dairy cows by altering ruminal bacterial communities and functions of serum antioxidation and immune responses. *BMC Veterinary Research*. 20.
 52. Schmidt, H., Hagemann, N., Draper, K. and Kammann, C. 2019. The use of biochar in animal feeding. *PeerJ*. 7: e7373.
 53. Abarghuei, M.J., Rouzbehan, Y. and Salem, A.F. 2014. The influence of pomegranate-peel extracts on in vitro gas production kinetics of rumen inoculum of sheep. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. 38: 212-219.
 54. Leng, R.A., Inthapanya, S. and Preston, T.R. 2012a. Biochar lowers net methane production from rumen

Effect of Different Additives in Improving the Ruminal Fermentation of Diets Contaminated with Fenpropathrin Pesticide, In Vitro

Mohammadreza Aboutaleb yazdi¹, Javad Rezaei^{2*}, Ali Mokhtassi-Bidgoli³, Yousef Rouzbehan⁴

1. Former MSc student, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2. Associate Professor of Animal Nutrition, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

3. Associate Professor of Agronomy, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

4. Professor of Animal Nutrition, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the efficacy of organic and mineral additives in reducing negative effects of fenpropathrin on rumen fermentation, *in vitro*. Gas test was conducted with 25 treatments, 4 replications, and 2 series, in a completely randomized design. Treatments included control diet (without pesticide and additives), 250, 500, 750, 1000, and 1500 μL of fenpropathrin/200 mg additive-free diet, and pesticide-contaminated diets along with 2 or 3% additives (pomegranate pulp, walnut-shell biochar, yeast, zeolite, or perlite). Fenpropathrin at 250 μL dosage had no effect on fermentation parameters, but doses of 1000 μL and above stopped fermentation. Therefore, effect of additives was investigated only at doses of 500 and 750 μL pesticide. Gas production, organic matter disappearance, energy, degraded substrate, microbial protein, protozoa, microbial biomass, ammonia, short-chain fatty acids, antioxidant capacity, and gas composition were determined. Additives neutralized a significant part of negative effects of fenpropathrin, although their function was not the same. In neutralizing effects of 500 μL pesticide, 3% zeolite was more effective ($P < 0.05$). In 750 μL contamination, addition of pomegranate pulp and zeolite, at 3%, caused the greatest improvement in organic matter disappearance ($P < 0.05$). Microbial biomass and microbial protein increased with the inclusion of additives in contaminated diets ($P < 0.05$). Perlite and yeast showed milder effects in improving the fermentation indices of contaminated diets. Overall, using organic and mineral additives (especially pomegranate pulp, biochar, and zeolite) in diets contaminated with fenpropathrin can be recommended as a biocompatible nutritional solution to neutralize the negative effect of this pesticide.

ARTICLE INFO

Keywords:

Agricultural byproducts, Biochar, In vitro fermentation, Microbial activity, Poison, Yeast

Received: 2025-11-8

Accepted: 2026-5-3

Available: 2026-5-16

* Corresponding author:

rezaei.j@modares.ac.ir



© 2025 Novel Research in Animal Science (NRAS), Lorestan University.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.