نشریه علوم دامی
(پژوهش و سازندگی)

شماره ۱۳۷، زمستان ۱۴۰۱
ص‌ص: ۵۹~۷۲

فراتحلیل: بررسی تأثیر نانو ذرات مواد معدنی بر برخی از فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای

• **الیاس ابراهیمی خرم‌آبادی[1*]، محسن کاظمی[2]، رضا توحیدی[3]**

۱. استادیار گروه علوم‌دامی، مجتمع آموزش عالی تربت‌جام، تربت‌جام، ایران.
۲. استادیار گروه علوم‌دامی، مجتمع آموزش عالی تربت‌جام، تربت‌جام، ایران.
۳. استادیار گروه علوم‌دامی، مجتمع آموزش عالی تربت‌جام، تربت‌جام، ایران.

تاریخ دریافت : مرداد ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش : اردیبهشت ۱۴۰۱

شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۲۸۷۸۶۶
Email: Eliiass378@gmail.com

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ ASJ.2022.355457.2165

چکیده

فناوری نانو به‌عنوان یک راهکار نوین می‌تواند شرایط هضم و جذب در نشخوارکنندگان را، بهبود بخشد. از این رو، با بررسی تأثیر نانو ذرات بر شرایط تخمیر شکمبه‌ای به‌صورت فراتحلیل، می‌توان به درک بهتری از نحوه کنترل تخمیر در محیط شکمبه دست یافت. پس از جستجو و انتخاب مقالات مناسب، داده‌های مربوط به فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای، استخراج گردید. به‌منظور انجام فراتحلیل از نرم‌افزار Comprehensive Meta-Analysis (CMA) نسخه ۳ استفاده شد. از تفاوت میانگین استاندارد شده و شاخص Hedges's g برای محاسبه اندازه اثر استفاده شد. برای بررسی میزان سوگیری انتشار از نمودار قیفی و آزمون‌های آماری استفاده گردید. اندازه اثر کلی به‌دست‌آمده برای برخی از نانو ذرات بر حجم گاز، غلظت اسیدهای چرب فرار، غلظت نیتروژن آمونیاکی و قابلیت هضم ظاهری معنی‌دار بود. مقادیر I^2 برای اندازه اثر نانو ذرات بر حجم گاز و غلظت کل اسیدهای چرب فرار، نشان دهنده وجود ناهمگنی متوسط و برای غلظت نیتروژن آمونیاکی و قابلیت هضم ظاهری، نشان دهنده وجود ناهمگنی بالا بود. استفاده از نانو ذرات می‌تواند به‌دلیل داشتن تأثیرات مثبت بر رشد میکروبی، تحریک تجزیه الیاف، افزایش قابلیت هضم، افزایش غلظت کل اسیدهای چرب فرار، کاهش نسبت استات به پروپیونات و در نهایت کاهش تولید متان باعث بهبود فرآیند تخمیر شکمبه‌ای شود.

واژه‌های کلیدی: تخمیر، تغذیه، شکمبه، نانو ذرات.

Animal Science Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 137 pp: 59-72

Meta-analysis: Investigation of the effect of mineral nanoparticles on some parameters of ruminal fermentation

By: E. Ibrahimi Khoram Abadi[1*], Mohsen Kazemi[2], Reza Tohidi[3]

1. 1: Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture and Animal Science, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran.
2. 2: Assistant Professor, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture and Animal Science, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran.
3. 3: Assistant Professor, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture and Animal Science, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran.

Received: August 2021 **Accepted: May 2022**

Nanotechnology as a new solution can improve digestion and absorption conditions in ruminants. Therefore, by examining the effect of nanoparticles on ruminal fermentation condition as meta-analysis, a better understanding of how to control fermentation in the rumen environment can be achieved. After searching and selecting appropriate articles, data related to ruminal fermentation parameters were extracted. In order to perform Meta-Analysis (CMA) software Comprehensive Meta-Analysis version 3 was used. The difference between the standardized mean and Hedges's g index was used to calculate the effect size. Funnel chart and statistical tests were used to evaluate the extent of diffusion bias. The size of the overall effect obtained for some nanoparticles on gas volume, volatile fatty acid concentration, ammonia nitrogen concentration and apparent digestibility were significant. Addition of nanominerals in the diet decrease $N\text{-}NH_3$ concentration. The values of I^2 for the effect of nanoparticles on gas volume and total concentration of volatile fatty acids indicated moderate heterogeneity and for ammonia nitrogen concentration and apparent digestibility indicated high heterogeneity. The use of nanoparticles can improve ruminal fermentation process due to its positive effects on microbial growth, stimulate fiber degradation, increase digestibility, increase the total concentration of volatile fatty acids, reduce the ratio of acetate to propionate and finally reduce methane production.

Key words: Fermentation, Nutrition, Rumen, Nanoparticles

مقدمه

بخش قابل توجهی از انرژی و پروتئین موردنیاز در نشخوارکنندگان به‌واسطه انجام فرآیند تخمیر بی هوازی میکروبی در شکمبه، تأمین می‌شود. با این حال، فرآیند تخمیر در شکمبه به‌دلیل هضم ناقص الیاف، عدم بازدهی مناسب در استفاده از منابع پروتئینی و اتلاف انرژی به‌صورت متان، چندان هم کارآمد نیست (Buxton و همکاران، 1997؛ McSweeney و همکاران، 2012). از این رو، مهم‌ترین هدف کنترل تخمیر در محیط شکمبه، افزایش فرآیندهای مطلوب و به‌حداقل رساندن، تغییر و یا حذف فرآیندهایی است که یا بازده مناسبی ندارند و یا می‌توانند برای میزبان مضر باشند (Nagaraja و همکاران، 1997). لذا، افزایش هضم الیاف، کاهش تولید متان و افزایش فراهمی پروتئین میکروبی، از جمله راه کارهایی است که به‌منظور افزایش بهره‌وری مصرف خوراک در نشخوارکنندگان، دنبال می‌شود (Nagaraja و همکاران، 1997؛ Ivan و همکاران، 2000).

متأسفانه، با وجود انجام پژوهش‌های متعدد در دهه‌های گذشته، هنوز یک روش و یا یک محصول معمول و کاربردی در جهت فائق آمدن بر جنبه‌های نامطلوب و ناکارآمد تخمیر شکمبه‌ای در دسترس عموم قرار ندارد (Kumar, 2017). مطالعات جدید نشان می‌دهد که می‌توان از ظرفیت برخی از نانو ذرات در کنترل تخمیر در محیط شکمبه و افزایش بهره‌وری آن، استفاده کرد.

فناوری نانو به‌عنوان یک راهکار نوین می‌تواند شرایط هضم و جذب در نشخوارکنندگان را، بهبود بخشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد، استفاده از نانو ذرات مواد معدنی سبب ارتقاء سطح تولید، افزایش بازده تولیدمثلی، بهبود عملکرد دستگاه گوارش، هموستاز جمعیت میکروبی، متابولیسم، خواص ضد باکتریایی و سطح ایمنی و سلامت در دام می‌شود (Jahanbin و همکاران، 2021). به‌عنوان مثال، افزودن نانو ذرات روی به جیره گاوهای شیری مبتلا به ورم پستان تحت حاد، باعث کاهش میزان ابتلا، کاهش شمار سلول‌های بدنی و افزایش تولید در گله می‌شود (Rajendran، 2013). علاوه بر این، از نانو ذرات مواد معدنی می‌توان به‌واسطه عدم استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها و افزایش غلظت مواد معدنی کم مصرف در محصولات دامی (شیر و گوشت)، نوعی محصولات دامی کاربردی و ایمن تولید کرد که باعث ارتقاء سطح سلامت در انسان گردد (Huang و همکاران، 2015؛ Abd El-Hack و همکاران، 2017؛ Fesseha و همکاران، 2020؛ Osama و همکاران، 2020). از سوی دیگر، محققان گزارش کردند، افزودن نانو ذرات سلنیوم به جیره بزهای نر در حال رشد تأثیرات قابل توجهی بر ساختار و عملکرد بیضه، کیفیت مایع منی، کاهش نسبت استات به پروپیونات و بهبود عملکرد داشت (Shi و همکاران، 2010؛ Shi و همکاران، 2011؛ Xun و همکاران، 2012). هم‌چنین، تحقیقات جدید نشان می‌دهد نانو ذرات برخی از فلزات مانند اکسید مس، روی و آهن به‌دلیل حلالیت بالای نانو ذرات و غلظت بالای آن‌ها در محیط، توانایی تولید سریع گاز هیدروژن، تحریک کاهنده‌های سولفات، توانایی تولید یون‌های فلزی با بار مثبت مضاعف و افزایش تقاضا برای اکسیژن شیمیایی محلول (Kumar, 2017) برای جمعیت میکروبی شکمبه سمی بوده (Mortimer و همکاران، 2010) و مانع از تولید متان در شرایط بی‌هوازی می‌شوند (Sun and Yang، 2006؛ Zhisheng، 2011؛ Gonzalez-Estrella و همکاران، 2013).

فناوری نانو روز به روز در حال توسعه است و کاربرد آن نیز متنوع‌تر و تخصصی‌تر می‌شود که می‌توان از این ظرفیت در جهت بهبود مصرف خوراک در نشخوارکنندگان، استفاده کرد (Bunglavan و همکاران، 2014). با این حال، اطلاعات در دسترس و مطالعات انجام شده در زمینه کنترل تخمیر در محیط شکمبه به‌منظور افزایش فرآیندهای مطلوب و تغییر، کاهش یا حذف جنبه‌های نامطلوب و ناکارآمد تخمیر شکمبه‌ای در نتیجه استفاده از نانو ذرات در خوراک دام، بسیار محدود است (Abd El-Galil و Bordeny، 2018). از این رو، با بررسی نتایج تحقیقات انجام شده در رابطه با تأثیر نانو ذرات بر شرایط تخمیر شکمبه‌ای، می‌توان به درک بهتری از نحوه کنترل تخمیر در محیط شکمبه دست یافت. لذا، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر نانو ذرات مواد معدنی بر برخی از فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای، به‌صورت فراتحلیل انجام شد.

مواد و روش‌ها

جامعه آماری پژوهش حاضر از مقاله‌های منتشر شده در نشریات موجود در بانک‌های اطلاعاتی معتبر و از طریق جستجوی مقالات با استفاده از کلید واژه‌های فارسی و معادل لاتین آن‌ها به‌دست آمد. پس از جستجو و جمع‌آوری مقالات، تحقیقات فاقد اطلاعات مورد نیاز جهت انجام فراتحلیل (میانگین گروه‌های شاهد و آزمایشی، تعداد تکرار در هر یک از گروه‌ها، انحراف معیار و خطای استاندارد میانگین) و هم‌چنین چکیده‌ها و مقالات مروری و تکراری، حذف شد و در نهایت مقالات مناسب به‌منظور ورود به مرحله فراتحلیل انتخاب شد (جدول ۱). در مرحله بعد داده‌های مورد نیاز در رابطه با فراسنجه‌های حجم گاز تولیدی، مقدار کل اسیدهای چرب فرار، غلظت نیتروژن آمونیاکی، pH، توده میکروبی و قابلیت هضم ظاهری ماده خشک، جهت مرور نظام‌مند در قالب جداول Excel استخراج و خلاصه گردید. جهت انجام فراتحلیل از نرم‌افزار CMA، نسخه ۳، استفاده شد.

محاسبه اندازه اثر

در مطالعه حاضر با توجه به ماهیت پیوسته داده‌های به دست آمده از تفاوت میانگین استاندارد شده و شاخص Hedges's g برای محاسبه اندازه اثر استفاده شد.

معادله ۱:

$$g = \frac{\overline{X_S} - \overline{X_N}}{S_P} J$$

در این معادله g اندازه اثر، X_S میانگین گروه آزمایشی، X_N میانگین گروه شاهد، S_P انحراف معیار آمیخته و J ضریب تصحیح برای دو گروه بود (Vesterinen و همکاران، 2014).

در مقالات دارای انحراف معیار مجزا برای گروه شاهد و آزمایشی از معادله ۲ و در مقالات دارای SEM از معادله ۳ برای محاسبه انحراف معیار آمیخته استفاده شد.

معادله ۲: $$S_p = \sqrt{\frac{(n_S-1)SD_S^2+(n_N-1)SD_N^2}{n_S+n_N-2}}$$

معادله ۳: $$Sp = SEM \times \sqrt{np}$$

در معادله ۲، n_S تعداد واحد آزمایشی در گروه آزمایشی، n_N تعداد واحد آزمایشی در گروه شاهد، SD_S انحراف معیار گروه آزمایشی و SD_N انحراف معیار گروه شاهد بود (Vesterinen و همکاران، 2014). در معادله ۳، SEM خطای استاندارد میانگین مربوط به همه گروه‌ها و np مجموع تعداد واحد آزمایشی در گروه‌های شاهد و گروه آزمایشی بود (Vesterinen و همکاران، 2014).

معادله ۴: $$J=1-\frac{3}{4(n_S+n_N-2)-1}$$

در این معادله n_S تعداد واحد آزمایشی در گروه آزمایشی و n_N تعداد واحد آزمایشی در گروه شاهد بود (Vesterinen و همکاران، 2014).

وزن‌دهی به داده‌های استخراج شده از مقالات

مقالات با هدف تعیین میزان اثر هر تحقیق در نتایج نهایی بر اساس کیفیت مطالعه اعم از تکرار بیشتر و واریانس کوچکتر با استفاده از معادله ۵، وزن‌دهی شد.

معادله ۵: $$W_i = \frac{1}{var_i}$$

در این معادله var_i واریانس تحقیق و W_i وزن تحقیق مورد نظر بود (Vesterinen و همکاران، 2014).

آزمون ناهمگنی

تغییرات اندازه اثر مطالعات، با استفاده از آزمون کوکران (آماره Q) بررسی شد. این آزمون تقریباً دارای توزیع کای اسکوئر با درجه آزادی (K-1) است. مقدار بالای Q و مقدار پایین p-value حاکی از ناهمگنی مطالعات می‌باشد. با این وجود، در برخی شرایط حتی اگر آزمون Q غیر معنی‌دار شود، لزوماً نشان‌دهنده انجام گرفتن مطالعات در شرایط مشابه نیست (Vesterinen و همکاران، 2014). از این رو و به‌دلیل حساسیت پایین آزمون کوکران، آزمون I^2 نیز در تشخیص ناهمگنی به‌کار برده شد (معادله ۶). بالا بودن I^2 دال بر وجود ناهمگنی است. به‌طور کلی مقادیر ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد به‌ترتیب به‌عنوان ناهمگنی پایین، متوسط و بالا تفسیر می‌شود. در صورتیکه I^2 بیش از ۵۰ درصد باشد، نشان دهنده ناهمگنی متوسط تا زیاد است و باید از مدل اثرات تصادفی استفاده شود (Vesterinen و همکاران، 2014).

معادله ۶: $$I^2 = \frac{Q-(k-1)}{Q} \times 100\%$$

در این معادله، Q آماره ناهمگنی کوکران و k تعداد آزمایشات بود (Vesterinen و همکاران، 2014).

اریبی انتشار

جهت بررسی وضعیت اریبی انتشار از نمودار قیفی[1] استفاده شد. نمودار قیفی یکی از روش‌های تشخیص خطای انتشار است و بر این حقیقت استوار است که وزن آماری مطالعه با افزایش اندازه نمونه افزایش می‌یابد. در نبود هیچ خطایی، نمودار شبیه به یک قیف برعکس خواهد بود و در صورت وجود خطا نمودار قیفی، به‌صورت غیرمتقارن در خواهد آمد.

تجزیه و تحلیل آماری

نتایج به‌صورت نمودار درختی[2] دربرگیرنده اطلاعات اصلی شامل اندازه اثر، خطای استاندارد و فاصله اطمینان ۹۵ درصد به‌صورت کلی و نیز به تفکیک نوع نانو ذرات استفاده شده در هر مطالعه با استفاده از نرم‌افزار CMA، نسخه ۳، ارائه شد.

[1] Funnel Plot
[2] Forest Plot

جدول ۱- خصوصیات منابع استفاده شده به‌منظور بررسی تأثیر نانو ذرات مواد معدنی بر برخی از فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای

نویسنده	سال	تعداد	تیمار	تکرار	سن (ماه)	وزن (کیلوگرم)			نوع مکمل	مقدار (ppm)	مدت (روز)
Shi و همکارن	۲۰۱۱	۸	۴	۱۶	-	۴۵/۲	±	۳/۲	nSe	۳۰۰ ۳۰۰۰ ۶۰۰۰	۸۰
Xun و همکاران	۲۰۱۲	۶	۳	۳	-	۴۳/۳۲	±	۴/۸	nSe	۴۰۰۰	-
Zaboli و همکاران	۲۰۱۳	۲۰	۵	۴	۷	۷/۶۷	±	۳/۷	nZnO	۲۰ ۴۰	۱۴
Zaboli و همکاران	۲۰۱۳	۲۰	۵	۴	۷	۷/۶۷	±	۳/۷	nZnO	۲۰ ۴۰	۱۴
Kumar و همکاران	۲۰۱۷	-	۳	۵	-		-		ZVI	۱۲۵ ۲۵۰	-
Kumar و همکاران	۲۰۱۷	-	۳	۵	-		-		nFeO	۱۲۵ ۲۵۰	-
Kumar و همکاران	۲۰۱۷	-	۳	۵	-		-		nZnO	۱۲۵ ۲۵۰	-
Chaji و همکاران	۲۰۱۶	۴	۴	۶	-		-		nSe	۰/۲ ۰/۴ ۰/۶	۲۱
Chaji و همکاران	۲۰۱۶	۴	۴	۶	-		-		nSe	۰/۲ ۰/۴ ۰/۶	۲۱
Abdollahi و همکاران	۲۰۱۹	۳۰	۳	۱۰	۸		۳۰		nZnO	۲۰ ۴۰ ۶۰	-
Hosseini و همکاران	۲۰۱۹	۳۰	۳	۱۰	-	۶۱	±	۲/۰۸	nZnO	۳۰	-
Riazi و همکاران	۲۰۱۹	۱۲	۷	۱۲	۸		۳۰		nZnO	۳۰ یا ۴۰	-
Ibrahimi و همکاران	۲۰۲۱		۳	۵	-		-		nAg	۱۲۵ ۲۵۰	-

نتایج و بحث

خلاصه اندازه اثر برخی از نانو ذرات مواد معدنی بر حجم گاز تولیدی، مقدار کل اسیدهای چرب فرار، غلظت نیتروژن آمونیاکی، pH، توده میکروبی و قابلیت هضم ظاهری ماده خشک در جدول ۲ آورده شده است. هم‌چنین اثر برخی از نانو ذرات مواد معدنی بر شاخص‌های ذکر شده، به‌ترتیب در شکل‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ و نتایج مربوط به اریبی انتشار آن‌ها در شکل ۷ نشان داده شده است.

جدول ۲- اندازه اثر نانو ذرات مواد معدنی بر حجم گاز تولیدی، مقدار کل اسیدهای چرب فرار، غلظت نیتروژن آمونیاکی، pH، توده میکروبی و قابلیت هضم ظاهری ماده خشک

متغیر		[1]Hedges's g	SE	p-value	[2]I^2	[3]Q	[4]p-value
حجم گاز تولیدی	مدل اثرات ثابت	۰/۵۶۶	۰/۱۲۵	۰/۰۰۱	۵۱/۸۰	۴۱/۴۹	۰/۰۰۳
	مدل اثرات تصادفی	۰/۵۹۹	۰/۱۵۸	۰/۰۰۱			
اسیدهای چرب فرار	مدل اثرات ثابت	۰/۶۸۲	۰/۰۹۹	۰/۰۰۱	۴۹/۵۱	۵۵/۴۵	۰/۰۰۱
	مدل اثرات تصادفی	۰/۶۱۱	۰/۰۱۸	۰/۰۰۱			
نیتروژن آمونیاکی	مدل اثرات ثابت	-۰/۴۵۶	۰/۱۳۲	۰/۰۰۱	۶۴/۷۸	۲۸/۳۹	۰/۰۰۲
	مدل اثرات تصادفی	-۰/۵۱۶	۰/۲۳۳	۰/۰۲			
pH	مدل اثرات ثابت	-۰/۱۵۳	۰/۱۲۷	۰/۲۲۸	۳۱/۰۸	۱۷/۴۱	۰/۱۳۵
	مدل اثرات تصادفی	-۰/۰۱۵	۰/۱۵۰	۰/۹۱۸			
توده میکروبی	مدل اثرات ثابت	۰/۷۵۳	۰/۲۱۱	۰/۰۰۰۱	۵۱/۳۸	۲۴/۶۸	۰/۰۱۶
	مدل اثرات تصادفی	۰/۰۸۰	۰/۱۴۴	۰/۵۷۶			
قابلیت هضم ظاهری	مدل اثرات ثابت	۰/۴۳۹	۰/۰۱۹	۰/۰۰۱	۵۶/۵۴	۴۳/۷۲	۰/۰۰۱
	مدل اثرات تصادفی	۰/۳۱۵	۰/۱۵۱	۰/۰۲			

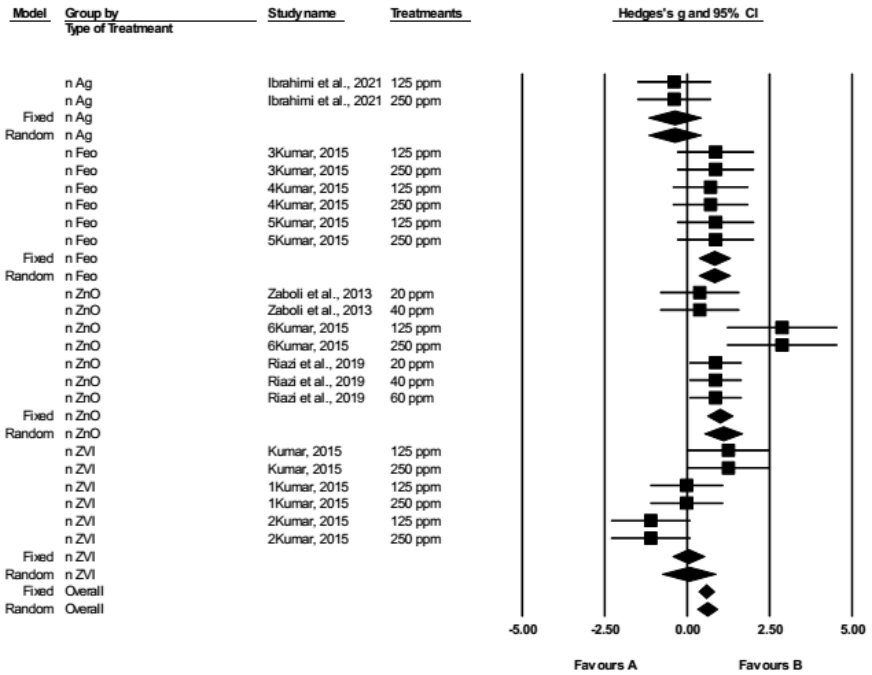
[1] اندازه اثرهای متیت نشان دهنده اثر افزاینده و اندازه اثرهای منفی نشان دهنده اثر منفی نانو ذرات بر تخمیر شکمبه‌ای است. [2] آماره I^2، آزمون ناهمگنی (اگر مقادیر I^2 برابر با ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد باشد به‌ترتیب به‌عنوان ناهمگنی پایین، متوسط و بالا تفسیر می‌شود). [3] آزمون کوکران، آزمون ناهمگنی. [4] p-value مربوط به آزمون کوکران (Q) می‌باشد.

اندازه اثر کلی به‌دست آمده برای برخی از نانو ذرات مواد معدنی بر حجم گاز تولیدی در مدل تصادفی (۰/۵۶۶ و P<۰/۰۱)، مقدار کل اسیدهای چرب فرار (۰/۶۸۲ و P<۰/۰۱)، غلظت نیتروژن آمونیاکی در مدل تصادفی (۰/۵۱۶- و P=۰/۰۲) و قابلیت هضم ظاهری ماده خشک در مدل تصادفی (۰/۳۱۵ و P=۰/۰۲) معنی‌دار بود (جدول ۲). در مقایسه با سایر نانو ذرات، استفاده از نانو ذرات اکسید روی بیشترین تأثیر را بر افزایش حجم گاز تولیدی داشت (۱ و P<۰/۰۱) (شکل ۱). اعمال سطوح مختلف نانو ذرات اکسید آهن (۰/۷۶۷ و P=۰/۰۵)، نانو ذرات اکسید روی (۰/۸۳۰ و P<۰/۰۱) و نانو ذرات سلنیوم (۱/۱۲۵ و P<۰/۰۱)، غلظت کل اسیدهای چرب فرار را افزایش داد (شکل ۲). بیشترین تأثیر منفی بر غلظت نیتروژن آمونیاکی (۰/۸۷۴- و P=۰/۰۱) مربوط به استفاده از نانو ذرات سلنیوم بود (شکل ۳). تأثیر استفاده از نانو ذرات اکسید روی (۱/۲۸۳ و P=۰/۰۲) و نانو ذرات سلنیوم (۳/۰۰۷ و P<۰/۰۱) بر قابلیت هضم ظاهری ماده خشک، معنی‌دار بود (شکل ۶).

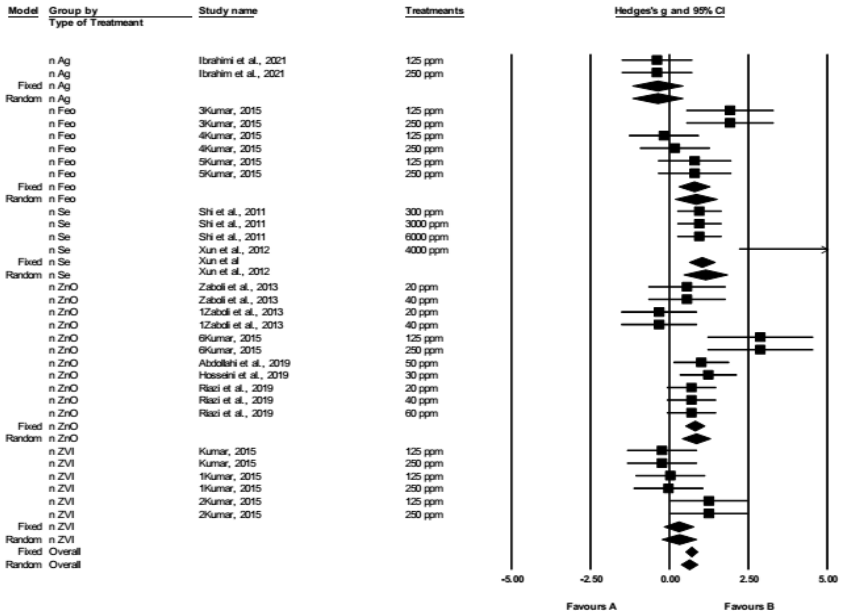
مقادیر I^2= ۵۱/۸۸ و I^2= ۴۹/۵۶ به ترتیب برای اندازه اثر نانو ذرات بر حجم گاز تولیدی و غلظت کل اسیدهای چرب فرار،

حاکی از وجود ناهمگنی متوسط بود (جدول ۲). قرار گرفتن مقدار I^2 در محدوده ۵۰ تا ۷۵ درصد برای اندازه اثر نانو ذرات بر غلظت نیتروژن آمونیاکی و قابلیت هضم ظاهری، نشان دهنده وجود ناهمگنی بالا بود (جدول ۲). نوع مکمل، مقدار مکمل در خوراک و مدت زمان آزمایش می‌تواند از دلایل وجود ناهمگنی بالا در بین مطالعات باشد. در شکل ۷، مطالعه احتمالی برای اندازه اثر نانو ذرات بر حجم گاز تولیدی و غلظت کل اسیدهای چرب فرار با استفاده از روش چینش و تکمیل برآورد شد.

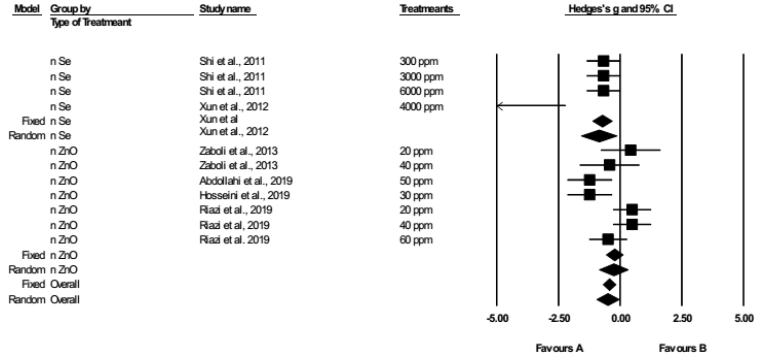
بررسی‌ها نشان می‌دهد استفاده از جیره‌های حاوی مکمل نانو ذرات اکسید روی در مقایسه با تیمار شاهد، تولید گاز را افزایش می‌دهد (Riazi و همکاران، 2019). هم‌چنین گزارش شده است، استفاده از نانو ذرات اکسید روی سنتز شده به‌روش زیستی از عصاره برگ گیاه آلوئه‌ورا (*Aloe vera*)، گواوا (*Psidium guajava*) و چریش (*Azadirachta indica*)، باعث افزایش تولید گاز در شرایط برون‌تنی شد (Kumar, 2017). اثرات افزایشی نانو ذرات اکسید روی بر تولید گاز، می‌تواند به‌دلیل تأثیرات مثبت روی بر رشد میکروبی در شکمبه و نقش آن به‌عنوان یک کاتیون دو ظرفیتی در اتصال بهتر میکروارگانیسم‌های شکمبه به ذرات خوراکی باشد (Vázquez-Armijo و همکاران، 2011).



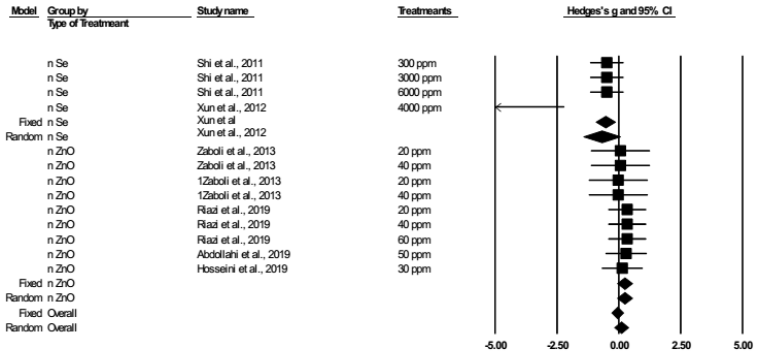
شکل ۱- نمودار درختی اندازه اثر نانو ذرات مواد معدنی بر حجم گاز تولیدی (مربعات نشان دهنده وزن مطالعه، خطوط نشان دهنده فاصله اطمینان ۹۵٪).



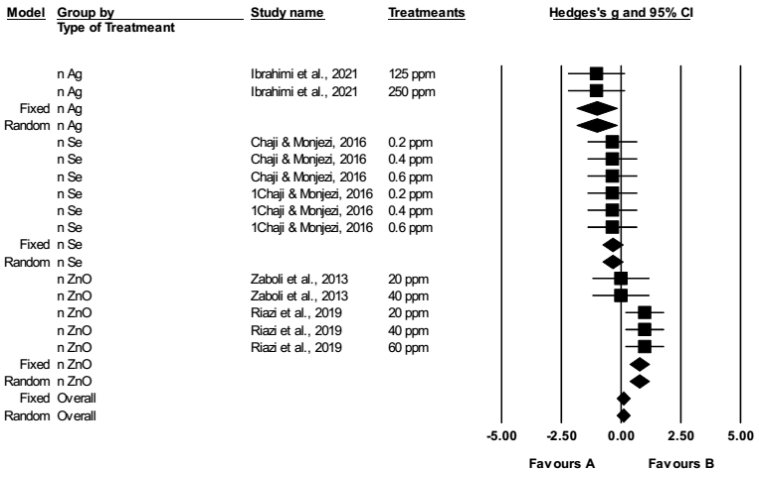
شکل ۲- نمودار درختی اندازه اثر نانو ذرات مواد معدنی بر مقدار کل اسیدهای چرب فرار (مربعات نشان دهنده وزن مطالعه، خطوط نشان دهنده فاصله اطمینان ۹۵٪).



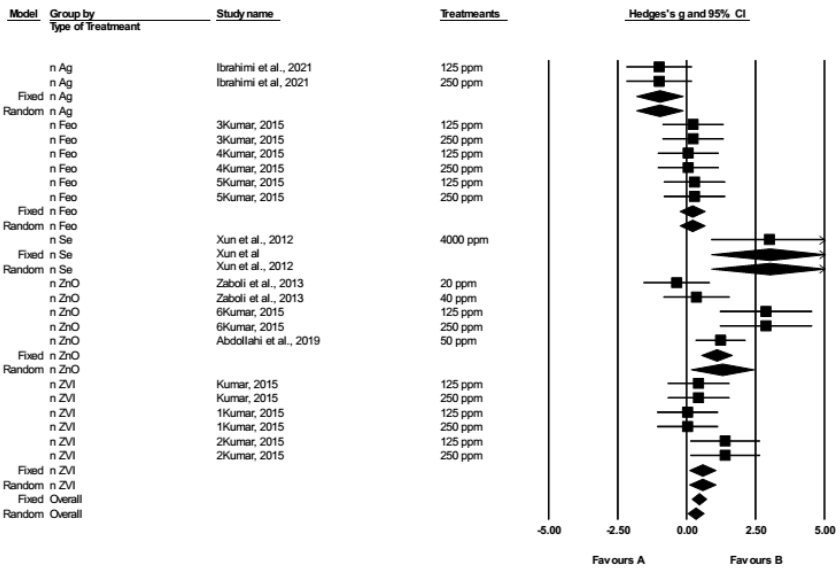
شکل ۳- نمودار درختی اندازه اثر نانو ذرات مواد معدنی بر غلظت نیتروژن آمونیاکی (مربعات نشان دهنده وزن مطالعه، خطوط نشان دهنده فاصله اطمینان ۹۵٪).



شکل ٤- نمودار درختی اندازه اثر نانو ذرات مواد معدنی بر pH (مربعات نشان‌دهنده وزن مطالعه، خطوط نشان دهنده فاصله اطمینان ۹۵٪).

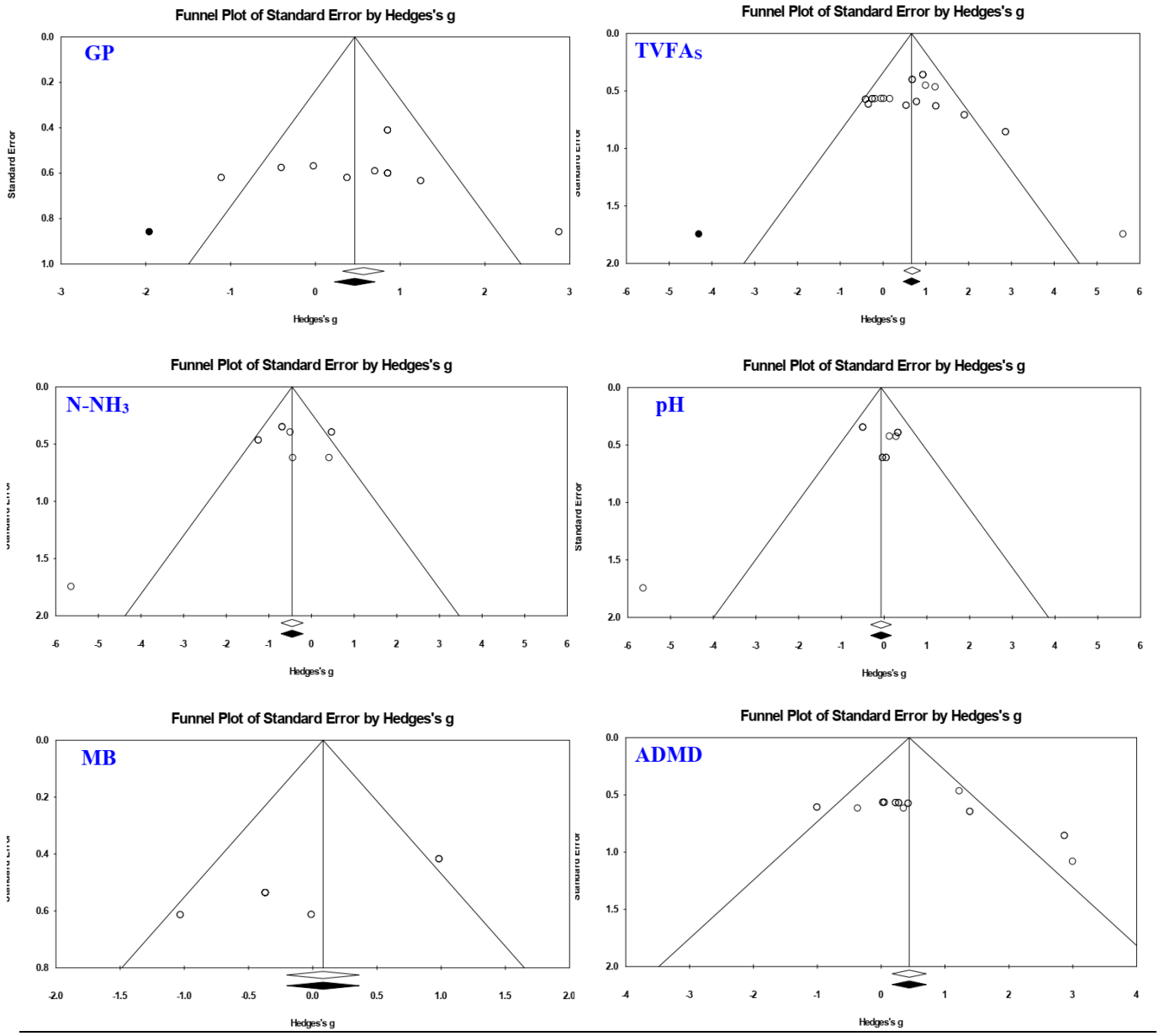


شکل ۵- نمودار درختی اندازه اثر نانو ذرات مواد معدنی بر توده میکروبی (مربعات نشان دهنده وزن مطالعه، خطوط نشان‌دهنده فاصله اطمینان ۹۵٪).



شکل ٦- نمودار درختی اندازه اثر نانو ذرات مواد معدنی بر قابلیت هضم ظاهری ماده خشک (مربعات نشان دهنده وزن مطالعه، خطوط نشان دهنده فاصله اطمینان ۹۵٪).

علاوه بر این، افزایش هضم الیاف در حضور نانو ذرات اکسید روی ممکن است ناشی از تحریک تجزیه الیاف توسط میکروارگانیسم‌های شکمبه باشد (Kumar, 2017).در شرایط آزمایشگاهی، دی اکسید کربن به‌طور مستقیم از انجام فرآیند تخمیر شکمبه‌ای و به‌صورت غیر مستقیم از بافرینگ اسیدهای چرب فرار، آزاد می‌شود. حجم گاز تولید شده وابسته به میزان و نوع اسیدهای چرب فرار تولید شده است. گاز حاصل از تخمیر زمانی، تولید می‌شود که ماده اولیه به استات و بوتیرات و نه پروپیونات، تخمیر شود (Van Soest، 1994). تحت این شرایط، استفاده از نانو ذرات اکسید روی باعث هدایت تخمیر سوبسترا به سمت تولید بیشتر استات و افزایش هضم الیاف می‌شود (Kumar, 2017).



شکل ۷- نمودار قیفی اندازه اثر نانو ذرات مواد معدنی بر حجم گاز تولیدی، مقدار کل اسیدهای چرب فرار، غلظت نیتروژن آمونیاکی، pH، توده میکروبی و قابلیت هضم ظاهری ماده خشک (نقاط سفید معادل مقالات استفاده شده در مطالعه حاضر و نقاط سیاه برآورد تعداد احتمالی مقالات منتشر نشده).

Kumar (2017) گزارش کرد، استفاده از نانو ذرات اکسید آهن سنتز شده به روش زیستی از عصاره برگ گیاه اکالیپتوس (*Eucalyptus globulus*)، می‌تواند به دلیل تأثیر بر بهبود بازده هیدرولیز الیاف، تولید کل اسیدهای چرب فرار در شکمبه را افزایش دهد. نانو ذرات اکسید آهن می‌توانند نقش واسطه در انتقال الکترون را ایفا کنند، هم‌چنین، Fe^{2+} تولید شده در محیط، فراهمی مواد مغذی برای جمعیت میکروبی را افزایش داده و فرآیند تخمیر و تولید کل اسیدهای چرب فرار در شکمبه را

افزایش می‌دهد (Ma و همکاران، 2015). از سوی دیگر، محققان مشاهده کردند، در خوراک‌های حاوی نانو ذرات اکسید روی، به دلیل بالاتر بودن میزان مصرف ماده خشک و قابلیت هضم، تخمیر ماده آلی و غلظت کل اسیدهای چرب فرار در شکمبه افزایش و نسبت استات به پروپیونات کاهش می‌یابد (Chen و همکاران، 2011؛ Kumar، 2017؛ Abdollahi و همکاران، 2019؛ Riazi و همکاران، 2019؛ Adegbeye و همکاران، 2019؛ Hosseini-Vardanjani و همکاران، 2020). کاهش نسبت استات به پروپیونات همزمان با کاهش تولید متان، جریان هیدروژن را به سمت تولید پروپیونات سوق می‌دهد (Newbold and McAllister, 2008). هم‌چنین، مکمل نانو ذرات سلنیوم نیز، به دلیل داشتن بازده کاتالیستی عالی، سمیت کمتر و توانایی جذب قوی و تأثیر آن بر بهبود فعالیت میکروبی شکمبه‌ای در تولید پروپیونات، باعث تغییر الگوی تخمیر از استات به سمت پروپیونات، افزایش غلظت پروپیونات، افزایش غلظت کل اسیدهای چرب فرار و کاهش نسبت استات به پروپیونات در شکمبه می‌شود (Naziroglu و همکاران، 1997؛ Wang و همکاران، 2009؛ Shi و همکاران، 2011؛ Xun و همکاران، 2012). بر این اساس، می‌توان گفت، گنجاندن نانو ذرات اکسید روی و سلنیوم در جیره می‌تواند فرآیند تخمیر شکمبه‌ای را در جهت جذب بیشتر انرژی خوراک به‌صورت اسیدهای چرب فرار، تغییر دهد (Hosseini-Vardanjani و همکاران، 2020).

با افزایش نانو ذرات سلنیوم در خوراک، Shi و همکاران (2011)، Xun و همکاران (2012) و Wang و همکاران (2009) گزارش کردند، به‌دلیل افزایش رشد جمعیت میکروبی شکمبه و افزایش مصرف نیتروژن آمونیاکی، غلظت نیتروژن آمونیاکی در شکمبه کاهش می‌یابد. هم‌چنین، Faixová و همکاران (2007) مشاهده کردند، مکمل سلنیوم می‌تواند به‌طور معنی‌داری جمعیت میکروبی شکمبه و فعالیت آن را افزایش دهد. علاوه بر این، Mihaliková و همکاران (2005) دریافتند، گنجاندن مکمل سلنیوم در خوراک می‌تواند به توسعه برخی از گونه‌های پروتوزوآیی در شکمبه، کمک نماید. افزایش جمعیت میکروبی شکمبه به‌واسطه افزودن نانو ذرات سلنیوم به خوراک، مصرف آمونیاک در شکمبه را افزایش خواهد داد (Shi و همکاران، 2011).

استفاده از نانو ذرات اکسید روی سنتز شده به روش زیستی از عصاره برگ گیاه آلوئه‌ورا (*Aloe vera*)، گواوا (*Psidium guajava*) و چریش (*Azadirachta indica*)، توانست از طریق تحریک تجزیه الیاف توسط میکروارگانیسم‌های شکمبه، قابلیت هضم ماده خشک و الیاف نامحلول در شوینده خنثی را افزایش دهد (Kumar, 2017). به‌علاوه، Abdollahi و همکاران (2019) و Hosseini-Vardanjani و همکاران (2020) دریافتند، با افزودن نانو ذرات اکسید روی به خوراک، قابلیت هضم ماده خشک افزایش می‌یابد. تأثیرات مثبت مکمل کردن روی بر قابلیت هضم ماده خشک می‌تواند ناشی از اثرات مثبت روی بر فعالیت هیدرولازی در مسیر گوارشی (Jing و همکاران، 2009)، رشد و عملکرد میکروارگانیسم‌های شکمبه (Wang و همکاران، 2013) و فعالیت آنزیم‌های هاضم (Suttle، 2010) باشد. Shi و همکاران (2011) و Xun و همکاران (2012) گزارش کردند، استفاده از نانو ذرات سلنیوم، قابلیت هضم ماده خشک خوراک در شکمبه را افزایش می‌دهد. هم‌چنین، Wang و همکاران (2009) مشاهده کردند، قابلیت هضم الیاف نامحلول در شوینده خنثی با افزایش محتوای سلنیوم در خوراک، افزایش می‌یابد. در مطالعه‌ای دیگر، چاجی و منجزی (2016) عنوان کردند، استفاده از مقادیر مختلف نانو سلنیوم باعث افزایش خطی قابلیت هضم ماده خشک و الیاف نامحلول در شوینده خنثی جیره‌های آزمایشی توسط میکروارگانیسم‌های شکمبه شد. افزایش قابلیت هضم ماده خشک و الیاف نامحلول در شوینده خنثی مشاهده شده می‌تواند ناشی از افزایش تعداد و فعالیت باکتری‌های تجزیه کننده سلولز، تحت تأثیر استفاده از نانو ذرات سلنیوم در خوراک باشد. (Shi و همکاران، ۲۰۱۱).

نتیجه‌گیری

نتایج قابل قبولی از بررسی دقیق مقالات و داده‌های در دسترس در

رابطه با تأثیر نانو ذرات مواد معدنی بر شرایط تخمیر شکمبه‌ای، حاصل شد. نتایج به‌دست آمده از فراتحلیل حاضر نشان داد از طریق تأثیرگذاری بر مؤلفه‌هایی هم‌چون حجم گاز تولیدی، غلظت اسیدهای چرب فرار، غلظت نیتروژن آمونیاکی و قابلیت هضم ظاهری ماده خشک به‌واسطه استفاده از نانو ذرات می‌توان تخمیر شکمبه‌ای را کنترل و مدیریت کرد. گنجاندن نانو ذرات در خوراک می‌تواند به دلیل داشتن تأثیرات مثبت بر رشد میکروبی، تحریک تجزیه الیاف توسط میکروارگانیسم‌های شکمبه، افزایش قابلیت هضم ماده خشک خوراک در شکمبه، افزایش غلظت کل اسیدهای چرب فرار در شکمبه و کاهش نسبت استات به پروپیونات و در نهایت کاهش تولید متان، باعث بهبود فرآیند تخمیر شکمبه‌ای شود و بهره‌وری مصرف خوراک در نشخوارکنندگان را افزایش دهد.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده از محل اعتبارات معاونت پژوهشی مجتمع آموزش عالی تربت‌جام می‌باشد.

منابع

Abd El-Galil, Etab R.I. and El-Bordeny, N.E.Y. (2018). Evaluation of nanocobalt particles addition in ruminant rations by in vitro gas production. *Egyptian journal of nutrition and feeds*. 21(1): 91-102.

Abd El-Hack, M., Alagawany, M., Farag, M., Arif, M., Emam, M., Dhama, K., Sarwar, M. and Sayab, M. (2017). Nutritional and pharmaceutical applications of nanotechnology: Trends and advances. *International Journal of Pharmacology*. 13: 340-350.

Abdollahi, M., Rezaei, J. and Fazaeli, H. (2019). Performance, rumen fermentation, blood minerals, leukocyte and antioxidant capacity of young Holstein calves receiving high-surface ZnO instead of common ZnO. *Archives of animal nutrition*. 74(3): 189-205.

Adegbeye, M.J., Elghandour, M.M., Barbabosa-Pliego, A., Monroy, J.C. and Mellado, M. (2019). Nanoparticles in equine nutrition: mechanism of action and application as feed additives. *Journal of equine veterinary science*. 78(1): 29-37.

Bunglavan, S.J., Garg, A.K., Dass R.S. and Shrivastava, S. (2014). Use of nanoparticles as feed additives to improve digestion and absorption in livestock. *Livestock research international*. 2(3): 36-47.

Buxton, D.R. and Redfearn, D.D. (1997). Plant limitations to fiber digestion and utilization. *The journal of nutrition*. 127(5): 814-818.

Chaji, M. and Monjezi, Y. (2016). Compare the effect of different levels of nano-selenium on digestion and fermentation parameters of rumen microorganisms of sheep and goat. *Animal science researches*. 27(4): 183-199.

Chen, J., Wang, W. and Wang, Z. (2011). Effect of nano-zinc oxide supplementation on rumen fermentation in vitro. *China journal of animal nutrition*. 23: 1415-1421.

Faixová, Z., Faix, S., Leng, L., Váczi1, P., Maková, Z. and Szabóová, R. (2007). Haematological, blood and rumen chemistry changes in lambs following supplementation with Se-yeast. *Acta veterinaria brunensis*. 76: 3-8.

Fesseha, H., Degu, T. and Getachew, Y. (2020). Nanotechnology and its application in animal production: A review. *Veterinary Medicine – Open Journal*. 52: 43-50.

Gonzalez-Estrella, J., Sierra-Alvarez, R. and Field J.A. (2013). Toxicity assessment of inorganic nanoparticles to acetoclastic and hydrogenotrophic methanogenic activity in anaerobic granular sludge. *Journal of hazardous materials*. 260: 278-285.

Hosseini-Vardanjani, S.F., Rezaei, J., Karimi-Dehkordi, S. and Rouzbehan. Y. (2020). Effect of feeding nano-ZnO on performance, rumen fermentation, leukocytes, antioxidant capacity, blood serum enzymes and minerals of ewes. *Small ruminant research*. 191: 106170.

Huang, S., Wang, L., Liu, L., Hou, Y. and Li, L. (2015). Nanotechnology in agriculture, livestock, and aquaculture in China. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 35: 369-400.

Ibrahimi Khoram Abadi, E., Kazemi, M. and Heidari, S. (2021). Effect of Green Silver Nanoparticles Synthesized via Phlomis cancellata Bunge Extract on in vitro ruminal fermentation. *Iranian Journal of animal science research*. 13(4).

Ivan, M., Neill, L., Forster, R., Alimon, R., Rode, L.M. and Entz, T. (2000). Effects of Isotricha, Dasytricha, Entodinium, and total fauna on ruminal fermentation and duodenal flow in wethers fed different diets. *Journal of diry science*. 83(4): 776-787.

Jahanbin, R., Yazdanshenas, P., Rahimi, M., Hajarizadeh, A., Tvrda, E., Nazari, S.A., Mohammadi-Sangcheshmeh, A. and Ghanem, N. (2021). In vivo and in vitro evaluation of bull semen processed with zinc (zn) nanoparticles. *Biological Trace Element Research*. 199: 126-135.

Ma, D., Wang, J., Chen, T., Shi, C., Peng, S. and Yue, Z. (2015). Iron-Oxide-Promoted Anaerobic Process of the Aquatic Plant of Curly Leaf Pondweed. *Energy and fuels*. 29(7): 4356-4360.

McAllister, T.A. and Newbold, C.J. (2008). Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. *Australian journal of experimental agriculture*. 48(2): 7-13.

McSweeney, C., and Mackie, R. (2012). Micro-organisms and ruminant digestion: State of knowledge, trends and future prospects. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome, Italy, Background study- 61.

Mihaliková, K., Gresaková, L., Boldizarová, K., Faix, S., Leng, L. and Kisidayová, S. (2005). The effects of organic selenium supplementation on the rumen ciliate population in sheep. *Folia microbial*: 50: 353-356.

Mortimer, M., Kasemets, K. and Kahru, A. (2010). Toxicity of ZnO and CuO nanoparticles to ciliated protozoa Tetrahymena thermophila. *Toxicology*. 269(2): 182-189.

Nagaraja, T. G., Newbold, C, J., VanNevel, C. J. and Demeyer, D. I. (1997). Manipulation of ruminal fermentation. In The rumen microbial ecosystem. *Springer Netherlands*. 523-632.

Naziroglu, M., Aksakal, M., Cay, M. and Celik, S. (1997). Effects of vitamin E and selenium on some rumen parameters in lambs. *Acta veterinaria hungarica*. 45: 447-456.

Osama, E., El-Sheikh Sawsan, M.A., Khairy, M.H. and Galal Azza, A.A. (2020). Nanoparticles and their Potential Applications in Veterinary Medicine. *Journal of Advanced Veterinary Research*. 10: 268-273.

Rajendran, R. (2013). Application of nano minerals in animal production system.Research. *Journal of biotechnology*, 8(3). 1-3.

Riazi, H., Rezaei, J. and Rouzbehan, Y. (2019). Effects of supplementary nano-ZnO on in vitro ruminal fermentation, methane release, antioxidants, and microbial biomass. *turkish journal of veterinary and animal sciences*. 43: 737-746.

Sai Ram Kumar, S. (2017). Green synthesis of nanoparticles using plant extracts and their effect on rumen fermentation in vitro. Thesis.

Shi, L., Xun, W., Yue, W., Zhang, C., Ren, Y., Liu, Q., Wang, Q. and Shi, L. (2011a). Effect of elemental nano-selenium on feed digestibility, rumen fermentation, and purine derivatives in sheep. *Animal feed science and technology*, 163(2): 136-142.

Shi L., Yang, R.J., Yue, W.B., Xun, W.J., Zhang, C.X., Ren, Y.S., Shi, L. and Lei, F.L. (2010). Effect of elemental nano-selenium on semen quality, glutathione peroxidase activity, and testis ultrastructure in male Boer goats. *Animal reproduction science*. 118(2): 248-254.

Van Soest, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press.

Vázquez-Armijo, J.F., Martinez-Tinajero, J.J., Lopez, D., Salem, A.Z.M. and Rojo, R. (2011). In vitro gas production and dry matter degradability of diets consumed by goats with or without copper and zinc supplementation. *Biological trace element research*. 144(1-3): 580-587.

Vesterinen, H.M., Sena, E.S., Egan, K.J., Hirst, T.C., Churolov, L. and Currie, G.L. (2014). Meta-analysis of data from animal studies: a practical guide. *Journal of Neuroscience Methods*. 221: 92-102.

Wang, C., Liu, Q., Yang, W.Z., Dong, Q., Yang, X.M., He, D.C., Zhang, P., Dong, K.H. and Huang, Y.X. (2009). Effects of selenium yeast on rumen fermentation, lactation performance and feed digestibilities in lactating dairy cows. *Livestock science*. 126: 239-244.

Xun, W., Shi, L., Yue, W., Zhang, C., Ren, Y. and Liu, Q. (2012). Effect of high-dose nano selenium and selenium–yeast on feed digestibility, rumen fermentation, and purine derivatives in sheep. *Biological trace element research*. 150(1-3): 130-136.

Yang, ZP. and Sun, L. P. (2006). Effects of nanometer ZnO on growth performance of early weaned piglets. *Journal of shanxi agriculture science*. 3: 0-24.

Zaboli, K.H. and Aliarabi, H. (2013). Effect of different levels of zinc oxide nano particles and zinc oxide on some ruminal parameters by in vitro and in vivo methods. *Animal production research*. 2(1): 1- 14.

Zhisheng, C.J. (2011). Effect of nano-zinc oxide supplementation on rumen fermentation in vitro. *Chinese journal of animal nutrition*. 8: 0-23.