
Investigation of chemical compositions, *in vitro* fermentation parameters and methane production of camelina seed and meal in different cultivated areas for sheep feeding

Mohammad Javad Abarghuei^{1*}, Zeinab Amiri Ghanatsaman¹, Afshar Estakhr²

¹ Animal Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran,
Email: mj.abarghuei@areeo.ac.ir

² Crop and Horticultural Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 15/03/2025
Revised: 07/05/2025
Accepted: 19/05/2025

Keywords:
Camelina plant
Digestibility
In vitro fermentation
Methane gas
Soybean meal

ABSTRACT

Background and Objectives: With the changing climate conditions of the world, the reduction of water resources and, as a result, the shortage of animal feed resources, especially soybean meal, and its price increase, the use of feed resources such as camelina in animal nutrition, which is low in water consumption, and has the potential to be planted in dry-land conditions seems necessary. This study investigated to investigate the chemical compositions, *in vitro* fermentation parameters and methane production of camelina seeds and meals in different cultivated areas for sheep feeding.

Materials and Methods: Camelina plant (cultivar Soheil) was planted, grown, and harvested in three different regions of Fars province (Zarghan, Pasargad, and Fasa). Oil extraction was performed from the seeds and meals were used to determine chemical and fermentation parameters such as gas production in 24 hours of fermentation (GP₂₄), *in vitro* organic matter digestibility (IVOMD), metabolizable energy (ME), microbial protein production (MP), NH₃-N, volatile fatty acids (VFAs) profile and protozoa population (total protozoa, genus of *Isotricha*, *Dasytricha*, subfamilies of *Entodiniinae*, *Diplodiniinae* and *Ophrioscolecinae*).

Results: The highest DM and ash contents were observed in the Pasargad grain (961.30 and 42.60 g/kg DM), the highest CP and EE contents were observed in the Fasa grain (321.98 and 342.72 g/kg DM), and the highest NDF and ADF content was observed in the Zarghan grain (281.32 and 142.93 g/kg DM) (P<0.0001). The highest DM and ash contents were observed in Pasargad meal (947.40 and 53.37 g/kg DM), the highest CP content was observed in Fasa meal (476.84 g/kg DM), and the highest EE content, NDF, ADF, total phenolic compounds, and total tannin content was observed in Zarghan meal (69.53, 225.84, 133.79, 1.35 and 0.34 g/kg DM) (P<0.0001). The GP₂₄ (P=0.049), IVOMD (P=0.014) and ME (P=0.001) for the camelina grains of Zarghan and Pasargad were lower than those of the camelina grains of the Fasa region. The highest values of aspartic gas production, GP₂₄, IVOMD and ME

were observed for Pasargad meal ($P < 0.0001$). The value of the PF_{24} and MP were higher in camelina meals compared to soybean meal ($P < 0.0001$). The amount of NH_3-N in camelina Zarghan and Pasargad grains was higher than Fasa grains ($P = 0.013$). The amount of NH_3-N was lower in camelina Pasargad meal than in soybean meal ($P = 0.0008$). The total concentration of VFAs and the ratio of acetate to propionate in camelina meals were lower compared to soybean meal, but the concentration of propionate was higher ($P < 0.0001$). The effect of camelina seeds from different regions was only effective on the population of *Isotricha* ($P < 0.0001$), *Entodiniinae* ($P = 0.066$) and *Diplodiniinae* ($P = 0.056$). Compared with soybean meal, the use of camelina meal reduced the total population of protozoa ($P < 0.0001$), genera *Isotricha* ($P = 0.002$) and *Dasytricha* ($P = 0.075$) and subfamilies *Entodiniinae* ($P < 0.001$), *Diplodiniinae* ($P = 0.017$) and *Ophrioscolecinae* ($P = 0.015$) and carbon dioxide ($P = 0.05$) and methane production ($P = 0.024$).

Conclusions: The effect of planting area on the chemical composition and nutritional value of camelina seeds were different. Some fermentation parameters of camelina meal were lower than soybean meal in all three regions. Camelina meals were superior to soybean meal in terms of improving fermentation parameters (increasing microbial protein and propionate production, reducing protozoa population, and carbon dioxide and methane gases). Considering the water crisis in the country and the ability to plant camelina in dry-land conditions and different climatic zones, the seeds and meal of this plant can be used in livestock diets, but research on live livestock is necessary.

Cite this article: Abarghuei, M.J., Amiri Ghanatsaman, Z., Estakhr, A. (2026). Investigation of chemical compositions, *in vitro* fermentation parameters and methane production of camelina seed and meal in different cultivated areas for sheep feeding. *Journal of Ruminant Research*, 13(4), 65-93.



© The Author(s)



10.22069/ejrr.2025.23442.2003

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

بررسی ترکیبات شیمیایی، فراسنجه‌های تخمیر آزمایشگاهی و تولید گاز متان دانه و کنجاله کاملینا در مناطق مختلف کشت شده در تغذیه گوسفند

محمدجواد ابرقوئی^{۱*}، زینب امیری قنات سامان^۱، افشار استخر^۲

^۱بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران، رایانامه: mj.abarghucui@areco.ac.ir

^۲بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: با تغییر شرایط آب و هوایی زمین، کاهش منابع آبی و در نتیجه کمبود منابع غذایی دامی به ویژه کنجاله سویا و افزایش قیمت آن، استفاده از منابع خوراکی مانند کاملینا در تغذیه دام که کم آب بر و دارای پتانسیل کاشت در شرایط دیم است ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش با هدف بررسی ترکیبات شیمیایی، فراسنجه‌های تخمیر آزمایشگاهی و تولید گاز متان دانه و کنجاله کاملینا در مناطق مختلف کشت شده در تغذیه گوسفند انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۳۰	مواد و روش‌ها: گیاه کاملینا (رقم سهیل) در سه منطقه مختلف استان فارس (زرقان، پاسارگاد و فسا) کاشت، داشت و برداشت شد. روغن‌گیری از دانه‌ها انجام و کنجاله حاصله برای انجام آزمایشات ترکیبات شیمیایی، فراسنجه‌های تخمیر آزمایشگاهی از قبیل تولید گاز در ۲۴ ساعت تخمیر، گوارش پذیری ماده آلی، انرژی قابل سوخت‌وساز، تولید پروتئین میکروبی، نیتروژن آمونیاکی، ترکیب اسیدهای چرب فرار و جمعیت پروتوزوا (کل پروتوزوا، جنس ایزوتریچا، جنس داسی تریچا، زیرخانواده‌های انتودینینه، دیپلودینینه و افریوسکالسینه) استفاده شدند.
واژه‌های کلیدی: تخمیر آزمایشگاهی کنجاله سویا گاز متان گوارش پذیری گیاه کاملینا	یافته‌ها: بیشترین مقدار ماده خشک و خاکستر خام در دانه پاسارگاد (۹۶۱/۳۰ و ۴۲/۶۰ گرم در کیلوگرم ماده خشک)، بیشترین مقادیر پروتئین خام و عصاره اتری در دانه فسا (۳۲۱/۹۸ و ۳۴۲/۷۲ گرم در کیلوگرم ماده خشک) و بیشترین محتوای الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در دانه زرقان (۲۸۱/۳۲ و ۱۴۲/۹۳ گرم در کیلوگرم ماده خشک) مشاهده گردید ($P < 0/0001$). بیشترین مقدار ماده خشک و خاکستر خام در کنجاله پاسارگاد (۹۴۷/۴۰ و ۵۳/۳۷ گرم در کیلوگرم ماده خشک)، بیشترین مقادیر پروتئین خام در کنجاله فسا (۴۷۶/۸۴ گرم در کیلوگرم ماده خشک) و بیشترین محتوای عصاره اتری، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، ترکیبات فنولیک کل و تانن کل در کنجاله زرقان (۶۹/۵۳، ۲۲۵/۸۴، ۱۳۳/۷۹، ۱/۳۵ و ۰/۳۴ گرم در کیلوگرم ماده خشک) مشاهده گردید ($P < 0/0001$). مقادیر تولید گاز در زمان ۲۴ ساعت پس از تخمیر ($P = 0/049$)، گوارش پذیری آزمایشگاهی ($P = 0/014$) و انرژی قابل سوخت‌وساز ($P = 0/001$) دانه‌های کاملینا

زرقان و پاسارگاد کمتر از دانه کاملینا فسا بود. بیشترین مقادیر تولید گاز مجانب، تولید گاز در ۲۴ ساعت تخمیر، گوارش پذیری ماده آلی و انرژی قابل سوخت‌وساز برای کنجاله پاسارگاد مشاهده شد ($P < 0/0001$). مقادیر عامل تفکیک و تولید پروتئین میکروبی در کنجاله‌های کاملینا در مقایسه با کنجاله سویا بیشتر بود ($P < 0/0001$). مقدار نیتروژن آمونیاکی در بین دانه کاملینا زرقان و پاسارگاد تفاوتی نداشت، ولی بیشتر از دانه فسا بود ($P = 0/013$). مقدار نیتروژن آمونیاکی فقط در کنجاله کاملینا پاسارگاد کمتر از کنجاله سویا بود ($P = 0/0008$). غلظت کل اسیدهای چرب فرار و نسبت استات به پروپیونات در کنجاله‌های کاملینا در مقایسه با کنجاله سویا کمتر ولی غلظت پروپیونات بیشتر بود ($P < 0/0001$). تأثیر دانه کاملینا مناطق مختلف فقط بر جمعیت پروتوزوآ ایزوتریچا ($P < 0/0001$)، انتودینیونینه ($P = 0/066$) و دیپلودینیونه ($P = 0/056$) متفاوت بود. استفاده از کنجاله کاملینا در مقایسه با کنجاله سویا، جمعیت کل پروتوزوآ ($P < 0/0001$)، جنس‌های ایزوتریچا ($P = 0/002$) و داسی‌تریچا ($P = 0/075$) و زیرخانواده‌های انتودینیونینه ($P < 0/0001$)، دیپلودینیونه ($P = 0/017$) و افریوسکالسیینه ($P = 0/015$) و تولید گازهای دی‌اکسید کربن ($P = 0/05$) و متان را کاهش داد ($P = 0/024$).

نتیجه‌گیری: اثر منطقه کاشت بر ترکیبات شیمیایی و ارزش غذایی دانه‌های کاملینا متفاوت بود. برخی فراسنجه‌های تخمیر کنجاله کاملینا هر سه منطقه از کنجاله سویا کمتر بود. کنجاله‌های کاملینا از نظر بهبود فراسنجه‌های تخمیر (افزایش تولید پروتئین میکروبی و پروپیونات، کاهش جمعیت پروتوزوآ و گازهای دی‌اکسید کربن و متان) نسبت به کنجاله سویا برتری داشتند. با توجه به مسئله بحران آب در کشور و قابلیت کاشت گیاه کاملینا در شرایط دیم و مناطق مختلف آب و هوایی، می‌توان از دانه و کنجاله این گیاه در جیره دام استفاده کرد ولی انجام تحقیقات بر روی دام زنده ضروری می‌باشد.

استناد: ابرقوئی، محمد جواد؛ امیری قنات سامان، زینب؛ استخر، افشار. (۱۴۰۴). بررسی ترکیبات شیمیایی، فراسنجه‌های تخمیر آزمایشگاهی و تولید گاز متان دانه و کنجاله کاملینا در مناطق مختلف کشت شده در تغذیه گوسفند. پژوهش در نشخوارکنندگان، ۱۳(۴)، ۹۳-۶۵.



10.22069/ejrr.2025.23442.2003

© نویسنده‌گان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



مقدمه

خوراک‌های مرسوم در جیره دام، یونجه، سیلاژ ذرت، انواع کنجاله‌های پروتئینی به‌ویژه کنجاله سویا، دانه غلات (ذرت و جو) هستند و انتخاب آن‌ها بستگی به کیفیت و قیمت این مواد و شرایط موجود دارد. کنجاله‌های پروتئینی جزء پسماند محصولات کشاورزی تقسیم‌بندی می‌گردند و در بین آن‌ها کنجاله سویا به دلیل ارزش غذایی زیاد، در تغذیه دام و طیور اهمیت زیادی دارد. ولی این کنجاله به دلیل تنوع قیمت، قابلیت دسترسی و واردات آن در برخی کشورها همواره یک مشکل اساسی در زمینه پرورش دام و طیور بوده است. شرایط آب و هوایی اخیر و کاهش نزولات آسمانی، بروز خشک‌سالی و افزایش قیمت نهاده‌ها باعث افزایش هزینه تولید محصولات دام شده است (Adegbeye و همکاران، ۲۰۲۰؛ Abarghucui و همکاران، ۲۰۲۴). از طرفی دیگر، تحقیقات مختلفی برای کاهش اثرات منفی تولید گازهای گلخانه‌ای بر آلودگی محیط‌زیست در حال انجام است (Palangi و همکاران، ۲۰۲۲؛ Batley و همکاران، ۲۰۲۴؛ Izadi و همکاران، ۲۰۲۵). دام‌های نشخوارکننده نیز در انتشار این آلودگی (اتلاف نیتروژن آمونیاکی از شکمبه و تولید گازهای گلخانه‌ای مانند متان و دی‌اکسید کربن) نقش دارند و این مسئله خود سبب کاهش عملکرد این حیوانات می‌شود (Króliczewska و همکاران، ۲۰۲۳). راهکارهای متعددی برای کاهش این مشکلات و در نتیجه بهبود عملکرد نشخوارکنندگان پیشنهاد شده است. از جمله این راهکارها، می‌توان به استفاده از منابع خوراکی حاوی ترکیبات فعال گیاهی و اسیدهای چرب غیراشباع مانند گیاه کاملینا (*Camelina Sativa*) اشاره کرد. این گیاه جزو خانواده براسیکا بوده و خاستگاه اصلی این گیاه کشورهای فنلاند و رومانی و کوهستان اورال است (Vicas و Mierlita، ۲۰۱۵). از

ویژگی‌های این گیاه می‌توان به نیاز به آب کم، سازگاری با شرایط شوری خاک، شرایط دشوار آب و هوایی، دارای پتانسیل کاشت در شرایط دیم، مقاوم به بیماری و آفات و نیازهای تغذیه‌ای کم اشاره کرد (Paula و همکاران، ۲۰۱۹). دانه‌های کاملینا حدود ۴۰ درصد چربی و ۲۷-۳۲ درصد پروتئین خام دارد. چربی این گیاه حاوی ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه است. روغن کاملینا حاوی ۲۵-۱۲ درصد اسید اولئیک، ۱۰-۲۰ درصد اسید لینولئیک و ۲۰-۴۰ درصد آلفا-لینولئیک و ۳ درصد اسید اروسیک است (Paula و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین دانه این گیاه منبع خوبی از ویتامین‌ها از قبیل ویتامین B₁، B₃، B₅ و گاماتوکوفرول (ویتامین E)، مواد معدنی مانند آهن، منگنز و روی و ترکیبات فنولیک می‌باشد (Juodka و همکاران، ۲۰۲۲). در سال‌های اخیر گیاه کاملینا به‌عنوان محصولی ارزشمند در بسیاری کشورها کشت موفقیت‌آمیزی داشته و در ایران نیز در برنامه وزارت جهاد کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. مقدار عملکرد دانه این گیاه در مناطق مختلف دنیا متفاوت بوده است، ولی دامنه‌ای بین ۱/۳ تا ۴ تن در هکتار داشته است (Waraich و همکاران، ۲۰۱۳). کنجاله کاملینا دارای ارزش غذایی بالایی است. در یک مطالعه آزمایشگاهی، هیچ تغییری در pH، نیتروژن آمونیاکی کنجاله کاملینا در مقایسه با کنجاله سویا گزارش نشد. با این حال، تولید کل اسیدهای چرب فرار، استات و متان تخمیری کاهش و پروپونات افزایش یافت، درحالی‌که نسبت استات به پروپونات، بوتیرات، ایزوبوتیرات، والرات و ایزووالرات بی‌تأثیر باقی ماندند (Sizmaz و همکاران، ۲۰۲۱). در پژوهش‌های مختلف گزارش گردیده است که از کنجاله کاملینا تا ۱۰ درصد ماده خشک جیره انواع دام‌ها (بره پروری، تلیسه گوشتی و گاوهای شیری) بدون تأثیر بر عملکرد و همچنین برای بهبود

کاملینا، از دانه‌ها روغن‌کشی به شکل مکانیکی و روش سرد انجام و کنجاله حاصله برای آزمایشات بعدی ذخیره شد.

تجزیه شیمیایی: میزان ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام و چربی خام نمونه‌های برداشت‌شده، به روش AOAC (۱۹۹۰) تعیین شد. الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی به روش Van Soest و همکاران (۱۹۹۱) و لیگنین به روش Robertson و Van Soest (۱۹۸۱) تعیین گردید. مقدار ترکیبات فنولیک و تانن تعیین شد (Makkar و همکاران، ۲۰۰۰).

آزمایش تخمیرپذیری (تولید گاز): این آزمایش برای تعیین فراسنجه‌های تخمیرپذیری آزمایشگاهی مانند تعیین گوارش‌پذیری ماده آلی و انرژی قابل سوخت‌وساز نمونه‌های موردنظر و با استفاده از سرنگ‌های تولید گاز در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس و دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام شد (Makkar و همکاران، ۲۰۱۰). نمونه شیرابه شکمبه، از ۴ رأس گوسفند فیستولدار (نژاد شال، نر، سن ۱ تا ۲ سال و میانگین وزن ۶۴ کیلوگرم) قبل از خوراک دادن صبح گرفته شد و درون آب گرم، به آزمایشگاه انتقال داده شد. گوسفندان برای سازگاری با جیره‌ای شامل مخلوط علوفه (یونجه و کاه جو) و کنستانتره با نسبت ۴۰:۶۰ و مخلوط مواد معدنی/ویتامینی با تغذیه در سطح ۱/۱۵ نگهداری به مدت دو هفته تغذیه شدند. نمونه شیرابه شکمبه به وسیله ۴ لایه پارچه توری شکل صاف گردید و برای آزمایش تولید گاز استفاده شد. درون هر سرنگ (تعداد ۴ سرنگ به‌عنوان تکرار)، مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم از هر نمونه آزمایشی (کنجاله سویا و دانه‌ها و کنجاله‌های کاملینا کشت شده در مناطق مختلف) و ۴۰ میلی‌لیتر از محلول بزاق مصنوعی ریخته شد. سرنگ‌ها در دمای ۳۹ درجه

کیفیت محصولات می‌توان استفاده کرد (Nazari و همکاران، ۱۴۰۰؛ Sarramone و همکاران، ۲۰۲۰؛ Mutsvangwa و همکاران، ۲۰۲۳).

عملکرد و ارزش غذایی دانه کاملینا و مشتقات آن بر اساس رقم گیاه (زمستان، پاییز، تابستان و بهار)، ژنوتیپ، شرایط محیطی (دما، رطوبت) و اعمال زراعی (زمان کاشت، مصرف کود، وضعیت خاک، آبیاری یا عدم آبیاری خاک و استفاده از علف‌کش) متغیر است (Riaz و همکاران، ۲۰۲۲). با توجه به ادامه شرایط خشک‌سالی و کمبود منابع آبی کشور، گیاه کاملینا به‌عنوان گیاهی شتوی و قابل کاشت در شرایط دیم، می‌تواند برای کمبود منابع خوراک دام موردتوجه قرار گیرد؛ اما ضروری است اطلاعات کافی در رابطه اثرات رقم‌های مختلف، شرایط آب و هوایی متفاوت، روش‌های روغن‌گیری از دانه بر ارزش غذایی دانه و کنجاله کاملینا حاصل گردد. برای انجام پژوهش این فرض وجود دارد که مناطق مختلف کاشت با شرایط متفاوت آب و هوایی، می‌تواند اثرات متفاوتی بر ارزش غذایی و ترکیبات شیمیایی دانه و کنجاله کاملینا در نشخوارکنندگان داشته باشد؛ بنابراین این پژوهش با هدف بررسی ترکیبات شیمیایی، فراسنجه‌های تخمیر آزمایشگاهی و تولید گاز متان دانه و کنجاله کاملینا در مناطق مختلف کشت‌شده در تغذیه گوسفند انجام شد.

مواد و روش‌ها

کاشت، داشت و برداشت گیاه: بذرهای رقم سهیل این گیاه حدود آذرماه در سال ۱۴۰۱ و پیش از اولین بارندگی مؤثر برای خاک آب در مناطق مختلف آب و هوایی استان فارس شامل شهرستان‌های زرقان، پاسارگاد و فسا با میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار کشت شد. مراحل داشت گیاه در مناطق مختلف کشت به‌صورت یکسان انجام گردید. پس از برداشت دانه

(شیماتزو ژاپن مدل FID 2010) مجهز به ستون مویرگی (TM 1000, 45/60, 2m×1/8 Supelco, St,) (Loid, MO, USA)، آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای و ستون شیشه‌ای کروموزورب (۴ فوت طول و ۱/۸ میلی‌متر قطر) استفاده گردید. مقدار ۰/۲ میکرولیتر از محلول تهیه‌شده به دستگاه تزریق شد. ۲- اتیل بوتیریک اسید به‌عنوان استاندارد داخلی استفاده گردید. جریان گاز نیتروژن، هیدروژن و هوا به ترتیب ۳۰، ۳۰ و ۳۲۰ میلی‌لیتر بر دقیقه بود. دمای آون تزریق، ستون و آشکارساز به ترتیب ۲۷۰، ۱۷۲ و ۲۷۰ درجه سلسیوس بود (Cottyn و Boucque, ۱۹۶۸).

تعیین جمعیت پروتوزوا: برای تعیین جمعیت پروتوزوا، نمونه‌ای از محتوای سرنگ گرفته و با محلول فرمال سالین (۲۰ میلی‌لیتر فرمالدهید در ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول سالین شامل ۰/۸۵ گرم نمک طعام در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) به نسبت ۴ به ۱ مخلوط گردید و در دمای ۴ درجه سلسیوس تا زمان شمارش نگهداری گردید. دو میلی‌لیتر از محتوای شیرابه شکمبه درون لوله آزمایش ریخته شد. سپس دو قطره محلول رنگ آمیزی لوگول به لوله اضافه گردید و مخلوط شد و به مدت یک شبانه‌روز در دمای آزمایشگاه (بخش علوم دامی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس) قرار داده شد. به‌وسیله میکروسکوپ با بزرگنمایی ۱۰ x و لام هماسیتومتر تعداد پروتوزوا (کل پروتوزوا، جنس ایزوتریچا، جنس داسی‌تریچا، زیرخانواده‌های انتودینینه، دیپلودینینه و افریوسکالسنه) تعیین گردید (Dehority, ۲۰۰۳).

محاسبات: برای تخمین تولید گاز از معادله غیرخطی France و همکاران (۲۰۰۰) استفاده گردید.

$$A = b \times (1 - e^{-c(t-L)})$$

A: حجم گاز تولیدی در زمان t, b: تولید گاز بالقوه (میلی‌لیتر به گرم ماده خشک)، c: سرعت تولید گاز

سلسیوس قرار داده‌شده و گاز تولیدی در زمان‌های ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت اندازه‌گیری شد. محتوای سرنگ‌ها، به مدت ۲۰ دقیقه و در دمای ۴ درجه سلسیوس با دور ۲۰۰۰g سانتریفیوژ گردید و پلت تشکیل‌شده، در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک گردید و از طریق فرمول زیر مقدار سوبسترای تجزیه‌شده واقعی محاسبه گردید.

Undegradable DM= UDM

Undegradable DM: ماده خشک تجزیه نشده (وزن

خشک جیره پایه بعد از آون)

Apparent degraded substrate, ADS (mg/g DM)
=BDM – UDM

BDM: مقدار جیره پایه ریخته شده درون سرنگ قبل

از تخمیر بر اساس ماده خشک

اندازه‌گیری نیتروژن آمونیاکی: در زمان ۲۴ ساعت بعد از تخمیر و پس از سانتریفیوژ محتوای سرنگ، از محلول بالایی نمونه‌ای گرفته و با نسبت ۵ به ۱ با اسیدکلریدریک ۰/۲ نرمال رقیق گردید و در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شد. مقدار نیتروژن آمونیاکی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Hitachi, Ltd., Tokyo, Japan) U2000 در طول موج ۵۵۰ نانومتر تعیین گردید (Kang و Broderick, ۱۹۸۰).

اندازه‌گیری اسیدهای چرب فرار: در پایان ساعت ۲۴ تخمیر، بعد از سانتریفیوژ محتوای سرنگ، یک میلی‌لیتر از محلول بالایی سانتریفیوژ شده درون میکروتیوب ریخته شد و ۰/۲۰ میلی‌لیتر اسید متاسفریک ۲۵ درصد به آن اضافه گردید. محلول ۲ ساعت در دمای آزمایشگاه نگهداری شد و در دور ۱۴۰۰۰g برای ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ گردید. محلول بالایی در دمای ۲۰- درجه سلسیوس ذخیره گردید. برای تخمین اسیدهای چرب فرار از دستگاه گاز کروماتوگرافی

$$\text{CH}_4 \text{ (mmol)} = \text{Acetate (mmol)} + 2\text{Butyrate (mmol)} - \text{CO}_2 \text{ (mmol)}$$

تجزیه و تحلیل آماری

برای داده‌های مربوط به ترکیبات شیمیایی و تخمیر شکمبه با استفاده از نرم‌افزار SAS (۲۰۰۲) بر اساس مدل آماری ذیل تجزیه واریانس داده‌ها صورت گرفت و مقایسه آماری میانگین‌های به دست آمده با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. برای شمارش پروتوزوآ، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از روش مقایسات تک متغیره و تست Kolmogorov-Smirnov انجام شد.

$$Y_{ij} = \mu + x_i + x_j + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} : میانگین کل؛ μ : میانگین نمونه؛ x_i : اثر نمونه؛ x_j : اثر تکرار؛ ε_{ij} : خطای آزمایشی

نتایج و بحث

مقادیر ترکیبات شیمیایی دانه‌های کاملینا در جدول ۱ آورده شده است. ترکیبات شیمیایی دانه‌های کاملینا مناطق مختلف، تفاوت معنی داری با هم داشتند. بیشترین مقدار ماده خشک و خاکستر خام در دانه پاسارگاد، بیشترین مقادیر پروتئین خام و چربی خام در دانه فسا و بیشترین محتوای الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در دانه زرقان مشاهده گردید ($P < 0.001$). دانه‌های کاملینا مناطق مختلف از لحاظ ترکیبات فنولیک تفاوت معنی داری با هم نداشتند ($P > 0.05$). ترکیبات شیمیایی گیاه وابسته به عواملی مانند رقم گیاه، شرایط آب و هوایی در طول کاشت، داشت و برداشت گیاه، زمان برداشت، شرایط تغذیه گیاه (مقدار و زمان کوددهی) و شرایط ذخیره گیاه است (Uke و همکاران، ۲۰۱۷؛ Ayaşan، ۲۰۲۰). در طول چرخه زراعی، کیفیت دانه‌های روغنی به طور قابل توجهی تحت تأثیر شرایط آب و هوایی مانند دمای هوا،

(به ازای ساعت) از بخش خوراکی آهسته تخمیر و b و L زمان تأخیر تولید گاز می‌باشند.

گوارش پذیری ماده‌ی آلی (IVOMD) و انرژی سوخت‌وساز (ME) با استفاده از حجم گاز حاصل از تخمیر ۲۰۰ میلی گرم ماده خشک در طول ۲۴ ساعت و روابط زیر محاسبه شد (Menke و همکاران، ۱۹۷۹).

$$\text{IVOMD} = 2/20 + 0/136 \text{ GP} + 0/57 \text{ XP}$$

$$\text{ME (MJ/kg DM)} = 14/88 + 8/89 \text{ GP} + 4/5 \text{ XP} + 0/651 \text{ XA}$$

GP: حجم گاز تولیدی تصحیح شده برای ۲۴ ساعت (میلی لیتر به ازای ۲۰۰ میلی گرم ماده خشک)
 XP: پروتئین خام (گرم به ازای ۱۰۰ گرم ماده خشک)،
 XA: خاکستر خام (گرم به ازای ۱۰۰ گرم ماده خشک)

محصول گاز (GY₂₄) از رابطه زیر محاسبه گردید (Makkar، ۲۰۱۰):

$$\text{Gas yields (GY}_{24}\text{)} = \text{ml GP per g DM / g ADS}$$

GP: تولید گاز در ۲۴ ساعت (میلی لیتر گاز به ازای ۲۰۰ میلی گرم ماده خشک)

پروتئین میکروبی (MP) بر اساس روش (Makkar، ۲۰۱۰) تعیین گردید.

$$\text{MP (mg/g DM)} = \text{mg ADS} - (\text{ml gas} \times 2/2 \text{ mg/ml})$$

ADS: مقدار سوپسترای تجزیه شده واقعی، ۲/۲ فاکتور استوکیومتریکی می‌باشد (Blümmel و همکاران، ۱۹۹۷).

عامل تفکیک (PF₂₄) بر اساس روش (Makkar، ۲۰۱۰) تعیین شد.

$$\text{Partitioning factor} = \text{ADS (mg)/GP}_{24} \text{ (ml)}$$

گاز متان و دی اکسید کربن با استفاده از مقادیر اسیدهای چرب فرار و معادلات زیر محاسبه گردید (Makkar، ۲۰۱۰).

$$\text{CO}_2 \text{ (mmol)} = (\text{Acetate (mmol)}/2) + (\text{Propionate (mmol)}/4) + (1.5\text{Butyrate (mmol)})$$

استفاده از ذخایر موجود در اندام‌های رویشی وقتی مطرح می‌شود که فتوستتز جاری به هر دلیلی مانند از بین رفتن بخشی از سطوح فتوستتز کننده، پیری یا مواجهه با انواع تنش‌ها از جمله تنش خشکی کاهش یابد و در نتیجه فرآورده‌های فتوستتز جاری جوابگوی نیاز رو به افزایش دانه‌های در حال رشد نباشد (Blum و همکاران، ۱۹۹۴). به‌هرحال، ترکیب شیمیایی دانه گیاهان علاوه بر ژنوتیپ، وابستگی زیادی به شرایط محیطی از قبیل تغذیه، دما، تنش کم‌آبی، شدت نور و میزان تولید دارد (López-Castañeda و همکاران، ۱۹۹۶). افزایش مقادیر پروتئین خام و چربی خام و کاهش الیاف نامحلول در شوینده خشی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در دانه فسا در مقایسه با زرقان و پاسارگاد می‌تواند به دلیل دمای بیشتر این منطقه باشد. دما با تنظیم فعالیت و بیان آنزیم‌های دخیل در بیوستتز چربی بر محتوای روغن و نسبت اسید چرب دانه‌های روغنی تأثیر می‌گذارد (Kirkegaard و همکاران، ۲۰۲۱؛ Rivelli و همکاران، ۲۰۲۳). در تحقیقی گزارش گردید که دماهای بالا در مرحله گلدهی، می‌تواند باعث کاهش تشکیل بذر و کاهش محتوای روغن شود، درحالی‌که گرمای بیش‌ازحد در طول بلوغ بذر، می‌تواند منجر به افزایش دانه سبز، تغییر ترکیب اسیدهای چرب و کاهش کیفیت روغن در دانه‌های کلزا شود (Aksouh-Harradj و همکاران، ۲۰۰۶؛ Mi و همکاران، ۲۰۲۳). در مقابل، دماهای پایین‌تر می‌توانند گل‌دهی را به تأخیر بیندازند و منجر به کاهش عملکرد شوند و در مرحله رویشی نیز می‌توانند رشد و عملکرد دانه را با ایجاد خسارت سرمازدگی، کاهش اندازه بذر، افزایش رطوبت، کاهش محتوای روغن، تغییر ترکیب اسیدهای چرب، تحت تأثیر قرار دهند (Sey و همکاران، ۲۰۲۰؛ McGeary و همکاران، ۲۰۲۰). گزارش شده است که مقدار چربی

بارندگی، رطوبت نسبی و دوره نوری، به ویژه در مراحل گلدهی و پرشدن بذر است. اطلاعات اندکی در مورد ترکیبات شیمیایی دانه کاملینا در منابع وجود دارد. در برخی منابع مشخص شده است که دانه‌های کاملینا حدود ۴۰ درصد چربی و ۳۹/۲-۴۷/۴ درصد پروتئین خام دارد. چربی این گیاه حاوی ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه است. روغن کاملینا حاوی ۱۲-۲۵ درصد اسید اولئیک، ۱۰-۲۰ درصد اسید لینولئیک و ۲۰-۴۰ درصد آلفا-لینولئیک و ۳ درصد اسید اروسیک است (Lawrence و همکاران، ۲۰۱۶؛ Paula و همکاران، ۲۰۱۹). میزان خاکسترخام دانه کاملینا بین ۳/۷ تا ۶/۹ درصد گزارش شده است (Kasiga و همکاران، ۲۰۲۰). در تحقیقات دیگر، مقدار الیاف نامحلول در شوینده خشی بین ۱۹/۸ تا ۴۹/۵ درصد ماده خشک و مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی بین ۱۴/۴ تا ۲۵/۴ درصد ماده خشک گزارش شده است (Ye و همکاران، ۲۰۱۶؛ Brandao و همکاران، ۲۰۱۸). در مطالعه‌ای، مقادیر ماده خشک، خاکستر خام، پروتئین خام، چربی خام، الیاف نامحلول در شوینده خشی دانه کاملینا به ترتیب ۹۲۹، ۵۳، ۲۶۹، ۳۵۵ و ۳۴۷ گرم در کیلوگرم ماده خشک تعیین گردید که مقدار ماده خشک و پروتئین خام در این تحقیق کمتر، ولی مقادیر چربی خام و الیاف نامحلول در شوینده خشی بیشتر از نتایج ما بود (Wang و همکاران، ۲۰۱۷). دلیل اختلاف در نتایج تحقیق حاضر و پژوهش انجام‌شده توسط Wang و همکاران (۲۰۱۷) احتمالاً تفاوت در ژنوتیپ و شرایط آب و هوایی کاشت و داشت و برداشت گیاه کاملینا (کاشت در ایران و آلمان) است. موادی که در دانه ذخیره می‌شوند از دو منبع عمده فتوستتز جاری برگ‌ها و اندام‌های سبزینه‌ای غیربرگی (از قبیل ساقه، غلاف و سنبله) و انتقال مجدد مواد فتوستتزی ذخیره-شده در اندام‌های رویشی گیاه سرچشمه می‌گیرند.

خام به عواملی مانند گونه گیاهی (و تا حدی رقم)، مرحله رویشی گیاه، مقادیر نسبی اندام‌های گیاه در زمان برداشت، شرایط کاشت، داشت و کود نیتروژن بستگی دارد (Glasser و همکاران، ۲۰۱۳؛ Liu و همکاران، ۲۰۲۱). مشابه با نتایج ما، در تحقیقی گزارش گردید که خشکی خاک در مرحله پرشدن دانه از طریق تحریک پیری زود هنگام گیاه، پیرشدن سریع و در نتیجه افزایش ذخایر دانه به ویژه نیتروژن را سبب می‌شود (Yang و همکاران، ۲۰۰۰).

جدول ۱- ترکیب شیمیایی (گرم به کیلوگرم ماده خشک) دانه کاملینا در مناطق مختلف کاشت
Table 1- Chemical composition (g/kg DM) of camelina seed in different planting areas

سطح معنی‌داری P-value	انحراف استاندارد میانگین‌ها SEM	دانه کاملینا فسا Fasa camelina seed	دانه کاملینا پاسارگاد Pasargad camelina seed	دانه کاملینا زرقان Zarghan camelina seed	ترکیبات شیمیایی Chemical composition
<0.0001	0.239	958.14 ^b	961.30 ^a	953.85 ^c	ماده خشک Dry matter
<0.0001	0.601	30.47 ^c	42.60 ^a	38.76 ^b	خاکستر خام Ash
<0.0001	0.732	321.98 ^a	287.28 ^c	299.31 ^b	پروتئین خام Crude protein
<0.0001	1.240	342.72 ^a	296.21 ^c	321.45 ^b	عصاره اتری Ether extract
<0.0001	1.080	269.27 ^b	252.09 ^c	281.32 ^a	الیاف نامحلول در شوینده خنثی NDF
<0.0001	0.853	132.20 ^b	124.14 ^c	142.93 ^a	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF
0.399	0.007	0.77	0.76	0.75	ترکیبات فنولیک کل Total phenolics
0.365	0.002	0.19	0.19	0.18	تانن کل Total tannin
0.380	0.005	0.58	0.57	0.57	ترکیبات فنولیک غیرتاننی Non tannin compounds

حروف لاتین غیرمشابه در هر سطر نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است ($P < 0.05$).

Non-similar latin letters in each rows represents a significant difference between treatments ($P < 0.05$).

نشان داده شد که عوامل محیطی مختلف مانند ترکیب خاک، رسوب و دمای اطراف تا حد زیادی بر مقدار و کیفیت روغن کاملینا تأثیر می‌گذارند. مقدار روغن در دانه روغنی به دما بستگی دارد. دمای بالا منجر به کاهش مقدار روغن می‌شود که بر خلاف نتایج تحقیق حاضر بود (Riaz و همکاران، ۲۰۲۲). مرحله برداشت و بوجاری کردن نیز می‌تواند بر مقدار دیواره سلولی اثرگذار باشد. هرگونه آلودگی دانه‌ها با کاه و کلش

در پژوهش‌های دیگری گزارش گردید که افزایش دما در مرحله رشد باعث افزایش میزان چربی و کاهش میزان نشاسته در دانه جو شد (Morrison و همکاران، ۱۹۹۵؛ Anker و همکاران، ۲۰۰۶). در مطالعه‌ای دیگر، گزارش شد که ارقام سردسیر جو میزان الیاف خام و نشاسته بیشتری نسبت به ارقام گرمسیر و ارقام گرمسیر، میزان پروتئین خام بیشتری داشتند (Ghezalje و همکاران، ۲۰۱۱). در پژوهشی

خاک، میزان کوددهی، قابلیت جذب گیاه و آلودگی با خاک در زمان برداشت است (Ibáñez و همکاران، ۲۰۲۰). کنجاله کاملینا منبع ارزشمندی از پروتئین است. محتوای پروتئین خام در کنجاله نزدیک به مقدار موجود در کنجاله کلزا (۲۹/۶۹-۳۹/۸۹ درصد)، اما کمتر از کنجاله سویا (۴۳-۵۶/۳ درصد) بود. تفاوت در مقادیر پروتئین کنجاله‌های آزمایشی می‌تواند به دلیل مقدار پروتئین و چربی دانه، طول روز، رطوبت و دمای منطقه تولید و شرایط نگهداری دانه در انبار باشد (García-Rebollar و همکاران، ۲۰۱۶؛ Ibáñez و همکاران، ۲۰۲۰). کنجاله کاملینا دارای مقدار متغیر روغن باقیمانده ۵ تا ۲۶ درصد ماده خشک بسته به بهره‌وری استخراج روغن است (Paula و همکاران، ۲۰۱۹). استفاده از حلال برای روغن‌کشی، مقدار چربی باقیمانده را کاهش و مقدار پروتئین را افزایش می‌دهد (Smith و Delver، ۲۰۲۳). محتوای چربی خام در کنجاله کاملینا، بیشتر از کنجاله سویا (۳/۳-۰/۵۵ درصد) و کلزا (۱۰/۵۰-۱/۴ درصد) است (Pekel و همکاران، ۲۰۱۵؛ Woyengo و همکاران، ۲۰۱۷).

همان‌طور که برای پروتئین خام نشان داده شد، تفاوت در محتوای لیاف نامحلول در شوینده خنثی و لیاف نامحلول در شوینده اسیدی در بین کنجاله‌ها به مقدار پوسته اضافه‌شده به کنجاله، منطقه کاشت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی در طول فصل رشد بستگی دارد. در منابع گزارش‌شده است که رابطه منفی بین مقدار پروتئین خام و لیاف نامحلول در شوینده خنثی و لیاف نامحلول در شوینده اسیدی کنجاله‌ها وجود دارد (Aguirre و همکاران، ۲۰۲۲؛ Ibáñez و همکاران، ۲۰۲۰)؛ ولی در تحقیق حاضر این ارتباط مشاهده نگردید. مقادیر قابل توجهی از لیاف نامحلول در شوینده خنثی در کنجاله کاملینا ممکن است استفاده از آن را در خوراک دام محدود

می‌تواند برآورد زیادتر لیاف خام را منجر شود (Gholizadeh و همکاران، ۱۳۹۵). مشابه با تحقیق حاضر، نشان داده شد مقادیر ترکیبات فنولیک در دانه کاملینا نسبتاً کم است و بنابراین، هیچ اثر منفی یا بسیار ناچیز بر تغذیه دام و طیور دارند، زیرا این ترکیبات سمیت خود را تنها در بیش از ۱ درصد در جیره نشان می‌دهند. در همین حال، حتی مقدار کمی از ترکیبات فنولیک ممکن است تأثیر مثبتی بر سلامت حیوانات داشته باشد، زیرا این ترکیبات دارای خواص ضد میکروبی و همچنین ضد سرطان و ضد جهش‌زایی هستند (Riaz و همکاران، ۲۰۲۲؛ Juodka و همکاران، ۲۰۲۲). تفاوت در غلظت متابولیت‌های ثانویه ممکن است به دلیل دوره رویشی، روش نگهداری، شرایط خشک‌کردن، گونه‌ها (Singh و Makkar، ۱۹۹۳)، محل رشد گیاه و روش‌های مختلف استخراج باشد (Li و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین، این ترکیبات باثبات متابولیکی در بین بیوسنتز گیاهی، کاتابولیسم و اختلالات محیطی مرتبط هستند (Karimi و همکاران، ۲۰۱۳).

ترکیبات شیمیایی کنجاله‌های کاملینا مناطق مختلف کشت، اختلاف معنی‌داری با هم داشتند (جدول ۲). بیشترین مقدار ماده خشک و خاکستر خام در کنجاله پاسارگاد، بیشترین مقادیر پروتئین خام در کنجاله فسا و بیشترین محتوای چربی خام، لیاف نامحلول در شوینده خنثی، لیاف نامحلول در شوینده اسیدی، ترکیبات فنولیک کل و تانن کل در کنجاله زرقان مشاهده گردید ($P < 0/0001$). ترکیبات شیمیایی، کیفیت پروتئین و ارزش غذایی کنجاله‌ها به عوامل متعددی از جمله ژنتوتیپ و تنوع بذر، شرایط محیطی در طول رشد، برداشت و نگهداری دانه و روش مورداستفاده برای استخراج روغن بستگی دارد (Ibáñez و همکاران، ۲۰۲۰). اختلاف مقادیر خاکستر خام احتمالاً مربوط به تفاوت در ویژگی‌های

کند، زیرا الیاف نامحلول در شوینده خنثی هضم محدودی در غیرنشخوارکنندگان دارد (Delver و Smith، ۲۰۲۳). بر خلاف نتایج ما، در تحقیقی بر اساس داده‌های ۱۲ ژنوتیپ کاملینا نشان داده شد که مقدار تانن از ۱/۹۲ تا ۴/۳۹ گرم در کیلوگرم با

جدول ۲- ترکیب شیمیایی (گرم به کیلوگرم ماده خشک) کنجاله کاملینا در مناطق مختلف کاشت
Table 2- Chemical composition (g/kg DM) of camelina meal in different planting areas

سطح معنی‌داری P-value	انحراف استاندارد میانگین‌ها SEM	کنجاله کاملینا فسا Fasa camelina meal	کنجاله کاملینا پاسارگاد Pasargad camelina meal	کنجاله کاملینا زرقان Zarghan camelina meal	ترکیبات شیمیایی Chemical composition
<0.0001	0.423	942.67 ^b	947.30 ^a	934.30 ^c	ماده خشک Dry matter
0.034	1.104	90.53 ^b	53.37 ^a	52.78 ^{ab}	خاکستر خام Ash
0.0001	3.585	476.84 ^a	422.78 ^c	449.00 ^b	پروتئین خام Crude protein
0.022	0.805	66.28 ^b	65.27 ^b	69.53 ^a	عصاره اتری Ether extract
<0.0001	0.867	212.16 ^b	191.07 ^c	225.84 ^a	الیاف نامحلول در شوینده خنثی NDF
0.0004	2.961	115.63 ^b	97.19 ^c	133.79 ^a	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF
<0.0001	0.017	1.09 ^c	1.16 ^b	1.35 ^a	ترکیبات فنولیک کل Total phenolics
<0.0001	0.004	0.27 ^c	0.29 ^b	0.34 ^a	تانن کل Total tannin
<0.0001	0.0.012	0.82 ^c	0.87 ^b	1.01 ^a	ترکیبات فنولیک غیرتاننی Non tannin compounds

حروف لاتین غیرمشابه در هر سطر نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است ($P < 0.05$).

Non-similar latin letters in each rows represents a significant difference between treatments ($P < 0.05$).

برداشت، بیشتر از مناطق دیگر بود، ولی پس از زمان ۲۴ ساعت تخمیر روند تولید گاز برای دانه‌های مناطق مختلف تقریباً مشابه تعیین گردید ($P < 0.0001$). بیشتر بودن تولید گاز در دانه کاملینا منطقه فسا، احتمالاً به دلیل ترکیبات شیمیایی آن، به‌ویژه مقدار پروتئین خام بیشتر و خاکستر خام کمتر می‌باشد.

مقادیر گاز تولیدی در زمان‌های تخمیر برای دانه کاملینا در مناطق مختلف کاشت در جدول ۳ و شکل ۱ و برای کنجاله سویا و کنجاله‌های کاملینا در مناطق مختلف کاشت در جدول ۴ و شکل ۲ آورده شده است. روند تولید گاز برای دانه‌های کاملینا با گذشت زمان افزایشی بود. مقادیر گاز تا پیش از زمان ۲۴ ساعت تخمیر برای دانه کاملینا فسا در مراحل مختلف

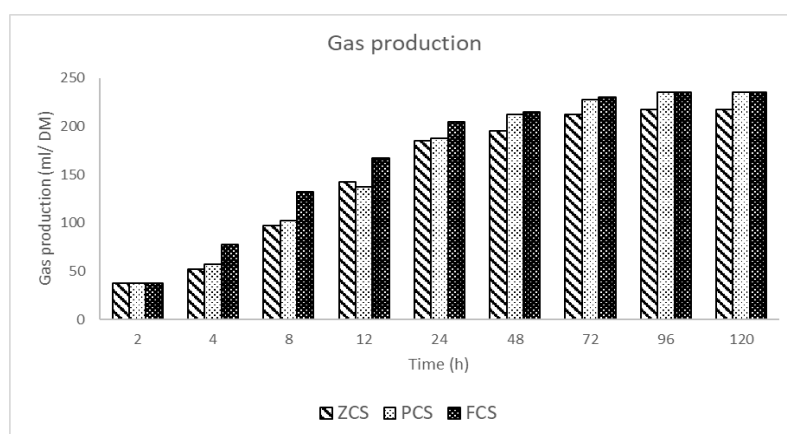
جدول ۳- مقدار گاز تولیدی (میلی لیتر در گرم ماده خشک) در زمان‌های تخمیر دانه کاملینا در مناطق مختلف کاشت

Table 3- Gas production (ml/g DM) of camelina seed in different planting areas

سطح معنی داری P-value	انحراف استاندارد میانگین‌ها SEM	دانه کاملینا فسا Fasa camelina seed	دانه کاملینا پاسارگاد Pasargad camelina seed	دانه کاملینا زرغان Zarghan camelina seed	زمان (ساعت) Time (h)
>0.05	1.433	37.45	37.40	37.50	2
<0.0001	1.444	77.50 ^a	57.50 ^b	52.50 ^c	4
0.0002	2.764	132.50 ^a	102.50 ^b	97.50 ^b	8
0.006	4.330	167.50 ^a	137.50 ^b	142.50 ^b	12
0.049	4.787	205.50 ^a	187.50 ^b	185.50 ^b	24
0.038	4.488	215.00 ^a	212.50 ^a	195.00 ^b	48
0.069	4.564	230.00 ^a	227.50 ^{ab}	212.50 ^b	72
0.027	3.819	235.00 ^a	235.00 ^a	217.50 ^b	96
0.027	3.819	235.00 ^a	235.00 ^a	217.50 ^b	120

حروف لاتین غیرمشابه در هر سطر نشان‌دهنده تفاوت معنی دار بین تیمارها است ($P < 0.05$).

Non-similar latin letters in each rows represents a significant difference between treatments ($P < 0.05$).



شکل ۱- تولید گاز در زمان‌های مختلف تخمیر (میلی لیتر گاز در گرم ماده خشک) دانه کاملینا در مناطق مختلف کاشت

Figure 1- Gas production at different times of fermentation (ml/g DM) of camelina seed in different planting areas

ZCS: دانه کاملینا زرغان، ACS: دانه کاملینا پاسارگاد، FCS: دانه کاملینا فسا.

ZCS: Zarghan camelina seed, ACS: Pasargad camelina seed, FCS: Fasa camelina seed.

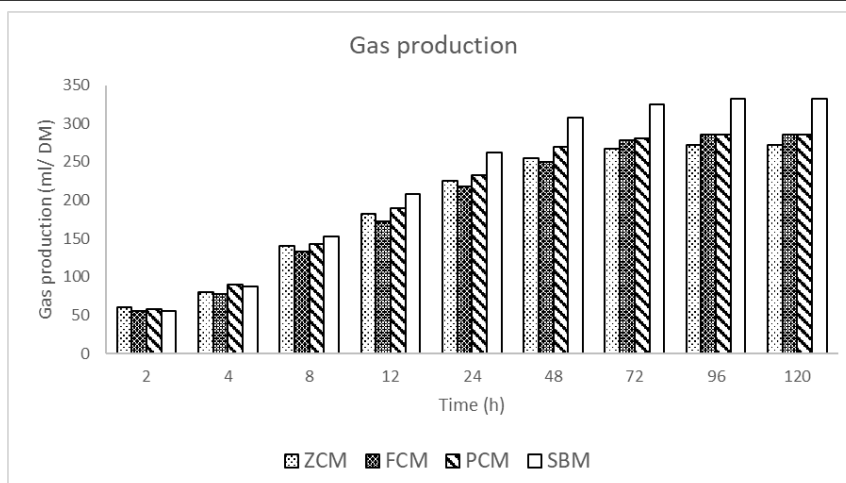
جدول ۴- مقدار گاز تولیدی (میلی لیتر در گرم ماده خشک) در زمان‌های تخمیر کنجاله سویا و کنجاله‌های کاملینا در مناطق مختلف کاشت

Table 4- Gas production (ml/g DM) of soybean meal and camelina meals in different planting areas

سطح معنی داری P-value	انحراف استاندارد میانگین‌ها SEM	کنجاله کاملینا فسا Fasa camelina meal	کنجاله کاملینا پاسارگاد Pasargad camelina meal	کنجاله کاملینا زرغان Zarghan camelina meal	کنجاله سویا Soybean meal	زمان (ساعت) Time (h)
0.363	2.165	55.00	57.50	60.00	55.00	2
0.003	1.768	77.50 ^b	90.00 ^a	80.00 ^b	87.50 ^a	4
<0.0001	1.250	132.50 ^c	142.50 ^b	140.00 ^b	152.50 ^a	8
<0.0001	1.250	172.50 ^d	190.00 ^b	182.50 ^c	207.50 ^a	12
<0.0001	1.251	217.50 ^d	232.50 ^b	225.00 ^c	262.50 ^a	24
<0.0001	1.614	250.00 ^b	270.00 ^b	255.00 ^c	307.50 ^a	48
<0.0001	1.768	277.50 ^b	280.50 ^b	267.50 ^c	325.00 ^a	72
<0.0001	1.768	285.00 ^b	285.00 ^b	272.50 ^c	332.50 ^a	96
<0.0001	1.768	285.00 ^b	285.00 ^b	272.50 ^c	332.50 ^a	120

حروف لاتین غیرمشابه در هر سطر نشان‌دهنده تفاوت معنی دار بین تیمارها است ($P < 0.05$).

Non-similar latin letters in each rows represents a significant difference between treatments ($P < 0.05$).



شکل ۲- تولید گاز در زمان‌های مختلف تخمیر (میلی لیتر گاز در گرم ماده خشک) کنجاله سویا و کنجاله‌های کاملینا در مناطق مختلف کاشت

Figure 2- Gas production at different times of fermentation (ml/g DM) of soybean meal and camelina meals in different planting areas

ZCM: کنجاله کاملینا زرقان، FCM: کنجاله کاملینا فسا، PCM: کنجاله کاملینا پاسارگاد، SBM: کنجاله سویا.

ZCM: Zarghan camelina meal, FCM: Fasa camelina meal, PCM: Pasargad camelina meal, SBM: soybean meal.

اسیدهای چرب غیراشباع و اکوسیستم میکروبی شکمبه می‌باشند (Abarghuei و Salem، ۲۰۲۱؛ Yang و همکاران، ۲۰۲۲). مقدار تولید گاز مجانب و سرعت تخمیر بین دانه‌های کاملینا تفاوتی نداشت ($P=0/055$). زمان تأخیر تولید گاز در دانه کاملینا فسا، از دانه‌های دیگر کمتر بود ($P=0/027$). زمان تأخیر، نشان‌دهنده دوره‌ای است که ذرات خوراک هیدراته شده و توسط میکروارگانیسم‌های شکمبه کلونیزه می‌شوند. وجود و طول زمان تأخیر، تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله ماهیت سوبسترای تخمیرشده، مقدار و گونه‌های میکروبی موجود در محیط تلقیح است. عوامل ضدتغذیه‌ای مانند ترکیبات فنولیک، تانن‌ها و ساپونین‌ها و وجود اسیدهای چرب غیراشباع نیز ممکن است با مهار باکتری‌های شکمبه و کندکردن اتصال آن‌ها به ذرات خوراک، زمان تأخیر را افزایش دهند (McAllister و همکاران، ۱۹۹۴؛ Dehority، ۲۰۰۳؛ Noordar و همکاران، ۲۰۱۷). مقادیر تولید گاز در زمان ۲۴ ساعت پس از تخمیر ($P=0/049$)، گوارش‌پذیری آزمایشگاهی ($P=0/014$) و انرژی قابل سوخت‌وساز ($P=0/001$) بین دانه‌های کاملینا زرقان و

روند تولید گاز برای کنجاله‌ها با گذشت زمان افزایشی بود. مقادیر تولید گاز در کل زمان‌های تخمیر برای کنجاله‌های کاملینا در مقایسه با کنجاله سویا کمتر بود ($P<0/0001$). عوامل مختلفی از جمله مقدار پروتئین خام، خاکستر خام، اسیدهای چرب غیراشباع و ترکیبات ضد مغذی بر مقدار گاز تولیدی مؤثر هستند. احتمالاً مقدار خاکستر خام و چربی خام بیشتر (وجود اسیدهای چرب غیراشباع) و وجود ترکیبات ضد مغذی در کنجاله کاملینا در مقایسه با کنجاله سویا دلیلی برای کمتر بودن روند تولید گاز می‌باشد (Abarghuei و Salem، ۲۰۲۱؛ Dong و همکاران، ۲۰۲۴).

فراسنجه‌های تخمیر شکمبه برای دانه کاملینا در مناطق مختلف کاشت در جدول ۵ و برای کنجاله سویا و کنجاله‌های کاملینا در جدول ۶ آورده شده است. در مطالعات پیشنهادشده است عواملی که بر فراسنجه‌های تخمیر مؤثر هستند شامل ترکیبات مغذی مانند پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و لیگنین، ترکیب دیواره سلولی، وجود متابولیت‌های ثانویه گیاهی (از قبیل ترکیبات فنولیک و تانن‌ها)،

گوارش پذیری بیشتر را توضیح می‌دهد (Salas و همکاران، ۲۰۱۹). در پژوهشی نشان داده شد که کنجاله کاملینا در مقایسه با کنجاله سویا گوارش پذیری ماده خشک و ماده آلی کمتری داشت (Salas و همکاران، ۲۰۱۹). بر خلاف نتایج حاضر، در تحقیقی نشان داده شد که سطوح ۳، ۶ و ۹ درصد کنجاله کاملینا به جای کنجاله سویا تأثیری بر گوارش پذیری ماده خشک، ماده آلی و پروتئین خام تلیسه‌های گوشتی نداشت (Salas و همکاران، ۲۰۱۹). در پژوهش دیگری، فراسنجه‌های تخمیر کنجاله کاملینا با کنجاله سویا مقایسه شد و تفاوتی برای مقدار گاز تولیدی، گوارش پذیری ماده آلی و انرژی قابل سوخت‌وساز بین دو کنجاله مشاهده نشد (Sizmaz و همکاران، ۲۰۲۱).

مقدار عامل تفکیک در بین دانه کاملینا زرقان و پاسارگاد تفاوتی نداشت، ولی بیشتر از دانه فسا بود ($P=0/012$). مقدار تولید پروتئین میکروبی و مقدار سوبسترای تجزیه شده واقعی در بین دانه‌های کاملینا مناطق مختلف تفاوتی نداشت ($P=0/184$). کمترین مقدار عملکرد تولید گاز در زمان ۲۴ ساعت تخمیر در دانه کاملینا زرقان مشاهده شد ($P=0/015$). مقادیر عامل تفکیک و تولید پروتئین میکروبی کنجاله‌های کاملینا بیشتر از کنجاله سویا بود ($P<0/0001$). عامل تفکیک، نسبت میلی گرم ماده آلی حقیقی هضم شده بر میلی لیتر حجم گاز خالص تولیدی است و بیان‌کننده نسبت تجزیه واقعی سوبسترا به حجم گاز تولیدشده در دوره‌های زمانی تخمیر بوده و شاخصی برای تفکیک ماده آلی هضم شده بین مسیرهای تخمیر (تولید گاز و اسیدهای چرب فرار یا راندمان سنتز پروتئین میکروبی) در شرایط آزمایشگاهی است (Blümmel و همکاران، ۲۰۰۳). مقدار عامل تفکیک در این تحقیق، در محدوده پیشنهادی ($2/70-4/40$) سوبسترای هضم شده به میلی لیتر گاز تولیدی) در

پاسارگاد تفاوتی نداشت، ولی این مقادیر در مناطق مذکور کمتر از دانه کاملینا منطقه فسا بود. بیشتر بودن تولید گاز، مقادیر گوارش پذیری و انرژی قابل سوخت‌وساز در دانه کاملینا فسا در مقایسه با دانه زرقان و پاسارگاد، می‌تواند به دلیل پروتئین خام بیشتر و مقدار کمتر خاکستر خام باشد (Van Soest، ۱۹۹۴؛ McDonald و همکاران، ۱۹۹۵). رابطه مثبت بین پروتئین خام و تولید گاز در اثر تخمیر مواد اثبات شده است. تجزیه پروتئین خام در شکمبه، باعث آزادسازی نیتروژن آمونیاکی شده و با تأمین نیتروژن موردنیاز برای رشد و تکثیر میکروبی‌های تخمیرکننده دیواره سلولی و مواد مغذی، زمینه مناسبی برای تخمیر و تولید بیشتر گاز را فراهم می‌آورد (Poppi و Norton، ۱۹۹۵؛ Abarghueti و Salem، ۲۰۲۱).

مقدار تولید گاز مجانب، تولید گاز در ۲۴ ساعت تخمیر، گوارش پذیری ماده آلی و انرژی قابل سوخت‌وساز برای کنجاله‌های کاملینا در مناطق مختلف با هم تفاوت داشتند ($P<0/0001$). بیشترین مقادیر تولید گاز مجانب، تولید گاز در ۲۴ ساعت تخمیر و گوارش پذیری ماده آلی برای کنجاله پاسارگاد مشاهده شد. بیشتر بودن این مقادیر، احتمالاً به دلیل کمتر بودن مقدار چربی خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی در کنجاله کاملینا پاسارگاد است (Wang و همکاران، ۲۰۱۷؛ Dong و همکاران، ۲۰۲۴). کاهش این فراسنجه‌ها در کنجاله‌های کاملینا در مقایسه با کنجاله سویا به دلیل کمتر بودن مقدار پروتئین خام و وجود متابولیت‌های ثانویه و اسیدهای چرب غیراشباع می‌باشد. چربی‌ها تخمیر ماده آلی را مختل می‌کنند. به عنوان مثال، این ممکن است با پوشش دادن الیاف خام یا با آسیب رساندن به میکروبی‌های تجزیه‌کننده کربوهیدرات اتفاق بیفتد (Dong و همکاران، ۲۰۲۴؛ Yang و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین محتوای پروتئین خام بیشتر و الیاف کمتر کنجاله سویا این

مطالعات پیشین در مورد خوراک‌های مختلف بود (همکاران، ۲۰۱۸؛ Abarghuei و Salem، ۲۰۲۱). (Blümmel و همکاران، ۱۹۹۷؛ Al-Sagheer و

جدول ۵- فراسنجه‌های تخمیر شکمبه دانه کاملینا در مناطق مختلف کاشت

Table 5- Rumen fermentation parameters of camelina seed in different planting areas

سطح معنی داری P-value	انحراف استاندارد میانگین‌ها SEM	دانه کاملینا فسا Fasa camelina seed	دانه کاملینا پاسارگاد Pasargad camelina seed	دانه کاملینا زرقان Zarghan camelina seed	فراسنجه Parameter
0.055	5.443	230.00 ^a	223.33 ^{ab}	206.67 ^a	A
>0.05	0.001	0.10	0.10	0.10	C
0.027	0.192	0.10 ^b	1.10 ^a	0.77 ^a	L
0.592	30.580	722.75	689.50	734.00	ADS
0.049	4.787	205.00 ^a	187.50 ^b	185.00 ^b	GP ₂₄
0.014	8.511	654.02 ^a	609.11 ^b	608.61 ^b	IVOMD
0.001	0.130	12.29 ^a	11.09 ^b	11.22 ^b	ME
0.012	0.072	3.52 ^b	3.66 ^b	3.97 ^a	PF ₂₄
0.184	20.231	271.00	227.00	327.00	MP
0.015	5.404	283.85 ^a	273.83 ^b	252.04 ^b	GY ₂₄
0.013	0.068	18.88 ^b	18.60 ^b	18.46 ^a	NH ₃ -N
0.886	0.425	79.17	78.87	78.99	Total VFAs Volatile fatty acids
0.933	0.189	69.15	69.25	69.20	Acetate
0.911	0.176	19.58	19.57	19.67	Propionate
0.821	0.161	9.53	9.40	9.41	Butyrate
0.769	0.126	3.69	3.80	3.68	Isobutyrate
0.918	0.018	0.39	0.40	0.39	Valerate
0.811	0.033	1.34	1.36	1.33	Isovalerate
0.932	0.038	3.53	3.54	3.52	Acetate:Propiona te

A: تولید گاز مجانب (میلی‌لیتر)، C: سرعت تخمیر (در ساعت)، L: زمان تأخیر (ساعت)، ADS: سوبسترای تجزیه شده واقعی (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)، GP₂₄: تولید گاز در ساعت ۲۴ تخمیر (میلی‌لیتر)، IVOMD: گوارش‌پذیری آزمایشگاهی ماده آلی (گرم در کیلوگرم ماده خشک)، ME: انرژی قابل سوخت‌وساز (مگاژول در کیلوگرم ماده خشک)، PF₂₄: ضریب تفکیک (میلی‌گرم سوبسترای تجزیه شده واقعی در میلی‌لیتر تولید گاز)، MP: تولید پروتئین میکروبی (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)، GY₂₄: محصول گاز در ساعت ۲۴ تخمیر (میلی‌لیتر گاز در گرم سوبسترای تجزیه شده واقعی)، NH₃-N: نیتروژن آمونیاکی (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)، Total VFAs: کل اسیدهای چرب فرار (میلی‌مول در لیتر)، حروف لاتین غیرمشابه در هر سطر نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است (P<0.05).

A: asymptotic gas production (ml), C: fermentation rate (/h), L: lag phase (h), ADS: Apparent degraded substrate (mg/g DM), GP₂₄: gas production at 24 h (ml), IVOMD: *in vitro* organic matter disappearance (g/kg), ME: metabolizable energy (MJ/kg DM), PF₂₄: partitioning factor at 24 h of fermentation (mg ADS/ml gas), MP: microbial protein synthesis (mg/g DM), GY₂₄: gas yield at 24 h (ml gas/g ADS), NH₃-N: ammonia nitrogen (mg/dl), Total VFAs: total of volatile fatty acids (mmol/l), Volatile fatty acids: (mmol/100 mmol), non-similar latin letters in each rows represents a significant difference between treatments (P<0.05).

مطابقت دارد (جدول ۶). بعلاوه تولید پروتئین میکروبی بیشتر برای کنجاله‌های کاملینا می‌تواند به دلیل هم‌زمانی بیشتر در دسترس‌پذیری منابع کربوهیدرات و نیتروژن باشد (Abarghuei و Salem، ۲۰۲۱). فرآیند تجزیه پروتئین، غلظت نیتروژن آمونیاکی در شکمبه را تعیین می‌کند. حداقل نیتروژن

بیشتر بودن مقدار ضریب تفکیک به ترتیب در دانه کاملینا زرقان، پاسارگاد و فسا با افزایش مقدار سنتز پروتئین میکروبی و کاهش تولید اسیدهای چرب (جدول ۵) و بیشتر بودن این شاخص در کنجاله‌های کاملینا در مقایسه با کنجاله سویا با افزایش مقدار سنتز پروتئین میکروبی و کاهش تولید اسیدهای چرب

گوارش‌پذیری در مقایسه با کنجاله سویا تفاوت نداشت که مخالف با نتایج Somanjaya و همکاران (۲۰۲۲) بود. در تحقیقی، دانه کاملینا در سطوح ۳۵ و ۷۰ گرم چربی به کیلوگرم به جیره پایه در شرایط آزمایشگاهی اضافه شد و با استفاده از موزون تولید گاز موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزودن دانه کاملینا سبب کاهش تولید گاز و گوارش‌پذیری ماده آلی شد. همچنین مقدار نیتروژن آمونیاکی افزایش یافت (Wang و همکاران، ۲۰۱۷). مشابه با تحقیق حاضر، در مطالعه‌ای کنجاله کاملینا و کنجاله سویا در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از موزون تولید گاز موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار آمونیاک بین کنجاله سویا و کاملینا متفاوت نبود (Sizmaz و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین در پژوهشی دیگر، نشان داده شد که افزودن کنجاله کاملینا به شرایط تخمیر سبب کاهش مقدار نیتروژن آمونیاکی تولیدی شد (Brandao و همکاران، ۲۰۱۸). برخلاف نتایج حاضر، در تحقیقی (Lawrence و همکاران، ۲۰۱۶) گزارش گردید که مقدار آمونیاک در تلیسه‌های تغذیه‌شده با کنجاله کاملینا در مقایسه با تلیسه‌های تغذیه‌شده با کنجاله کتان بیشتر بود. این اختلافات بین منابع، احتمالاً به دلیل شرایط آب و هوایی، شرایط آزمایشات برون‌تنی و درون‌تنی، منابع پروتئین، مقدار کنجاله مصرفی، بلوغ گیاه (به دلیل اعمال تغییرات بر اجزای دیواره سلولی و پروتئین)، ترکیب جیره و وجود متابولیت‌های ثانویه گیاهی (که بر مقدار تجزیه‌پذیری و گوارش‌پذیری خوراک مؤثر هستند) می‌باشد (Sizmaz و همکاران، ۲۰۲۱؛ Meza-Bone و همکاران، ۲۰۲۲).

آمونیاکی موردنیاز برای رشد میکروارگانیسم‌های شکمبه، ۵۰ میلی‌گرم در لیتر شیرابه شکمبه می‌باشد و اگر سطح این فراسنجه در شکمبه خیلی کم باشد، کمبود نیتروژن قابل دسترس برای باکتری‌ها وجود خواهد داشت و گوارش‌پذیری خوراک کاهش می‌یابد (Harun و Sali، ۲۰۱۹). از طرفی دیگر، تجزیه سریع و وسیع پروتئین در شکمبه، سبب کاهش بازده پروتئین می‌شود (Rong-zhen و همکاران، ۲۰۱۶). در تحقیق حاضر، مقدار نیتروژن آمونیاکی تولیدی برای دانه‌ها و کنجاله‌های سویا و کاملینا در دامنه مناسب مقدار این فراسنجه در شکمبه (۳۰۰-۸۵ میلی‌گرم در لیتر شیرابه شکمبه) بود (McDonald و همکاران، ۱۹۹۵). مقدار نیتروژن آمونیاکی در بین دانه کاملینا زرقان و پاسارگاد تفاوتی نداشت، ولی بیشتر از دانه فسا بود ($P=0/013$) و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که افزایش گوارش‌پذیری بخصوص پروتئین خام می‌تواند سبب کاهش مقدار نیتروژن آمونیاکی تولیدی شود. به‌هرحال در تحقیق حاضر مقدار نیتروژن آمونیاکی در دانه کاملینا زرقان در مقایسه با دانه پاسارگاد و فسا کمتر بود در حالی که مقدار گوارش‌پذیری دانه زرقان کمتر از دانه‌های دیگر بود که مخالف با نتایج Somanjaya و همکاران (۲۰۲۲) می‌باشد. مقدار نیتروژن آمونیاکی فقط در کنجاله کاملینا پاسارگاد کمتر از کنجاله سویا بود ($P=0/0008$). این اختلاف، احتمالاً با جمعیت میکروبی و فعالیت آن‌ها در تجزیه پروتئین در شکمبه مرتبط است (Paula و همکاران، ۲۰۱۹؛ Sizmaz و همکاران، ۲۰۲۱). مقدار نیتروژن آمونیاکی در کنجاله‌های کاملینا زرقان و فسا با وجود کاهش

جدول ۶- فراسنج‌های تخمیر شکمبه کنباله سویا و کنباله‌های کاملینا در مناطق مختلف کاشت

سطح معنی‌داری		انحراف استاندارد میانگین‌ها				Table 6- Rumen fermentation parameters of soybean meal and camelina meals in different planting areas				فراسنج
P-value	SEM	Fasa camelina meal	Pasargad camelina meal	Zarghan camelina meal	Soybean meal	کنج‌اله سویا	کنج‌اله کاملینا زرقان	کنج‌اله کاملینا پاسارگاد	کنج‌اله کاملینا فسا	Parameter
<0.0001	2.357	270.00 ^b	276.66 ^b	260.00 ^c	316.67 ^a	کنج‌اله سویا	کنج‌اله کاملینا زرقان	کنج‌اله کاملینا پاسارگاد	کنج‌اله کاملینا فسا	Soybean meal
>0.05	0.001	0.10	0.10	0.10	0.10					A
0.219	0.235	0.43	0.1	0.1	0.77					C
<0.0001	1.295	855.50 ^a	843.25 ^b	845.50 ^b	834.25 ^c					L
<0.0001	1.250	217.50 ^d	232.50 ^b	225.00 ^c	262.50 ^a					ADS
<0.0001	2.222	740.91 ^b	745.89 ^b	740.83 ^b	817.76 ^a					GP ₂₄
<0.0001	0.035	16.54 ^b	15.46 ^d	15.81 ^c	17.46 ^a					IVOMD
<0.0001	0.014	3.93 ^a	3.63 ^c	3.76 ^b	3.18 ^d					ME
<0.0001	1.538	377.00 ^a	331.75 ^c	350.50 ^b	253.75 ^d					PF ₂₄
<0.0001	1.066	254.23 ^d	275.71 ^b	266.11 ^c	314.65 ^a					MP
0.0008	0.397	28.31 ^a	24.99 ^b	27.96 ^a	28.36 ^a					GY ₂₄
<0.0001	0.140	81.78 ^b	81.70 ^b	81.36 ^b	82.52 ^a					NH ₃ -N
0.002	0.144	68.87	68.93	68.90	69.29					Total VFAs
0.0002	0.066	20.25 ^a	20.26 ^a	20.40 ^a	19.63 ^b					Acetate
0.151	0.117	9.18	9.11	8.99	9.42					Propionate
0.951	0.069	3.58	3.56	3.59	3.54					Butyrate
0.987	0.013	0.39	0.41	0.40	0.40					Isobutyrate
0.884	0.037	1.29	1.29	1.30	1.26					Valerate
0.003	0.015	3.41 ^b	3.40 ^b	3.38 ^b	3.53 ^a					Isovalerate
										Acetate:Propionate

A: تولید گاز مجانب (میلی‌لیتر)، C: سرعت تخمیر (در ساعت)، L: زمان تاخیر (ساعت)، ADS: سوپسترای تجزیه شده واقعی (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)، GP₂₄: تولید گاز در ساعت ۲۴ تخمیر (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)، ME: انرژی قابل سوخت‌وساز (مگاژول در کیلوگرم ماده خشک)، PF₂₄: ضریب تفکیک (میلی‌گرم سوپسترای تجزیه شده واقعی در میلی‌لیتر تولید گاز)، MP: تولید پروتئین میکروبی (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)، GY₂₄: محصول گاز در ساعت ۲۴ تخمیر (میلی‌لیتر گاز در گرم سوپسترای تجزیه شده واقعی)، NH₃-N: نیتروژن آمونیاکی (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)، Total VFAs: کل اسیدهای چرب فرار (میلی‌مول در لیتر)، حروف لاتین غیرمشابه در هر سطر نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است (P<0.05).

A: asymptotic gas production (ml), C: fermentation rate (h), L: lag phase (h), ADS: Apparent degraded substrate (mg/g DM), GP₂₄: gas production at 24 h (ml), IVOMD: *in vitro* organic matter disappearance (g/kg), ME: metabolizable energy (MJ/kg DM), PF₂₄: partitioning factor at 24 h of fermentation (mg ADS/ml gas), MP: microbial protein synthesis (mg/g DM), GY₂₄: gas yield at 24 h (ml gas/g ADS), NH₃-N: ammonia nitrogen (mg/dl), Total VFAs: total of volatile fatty acids (mmol/l), Volatile fatty acids: (mmol/100 mmol), non-similar latin letters in each rows represents a significant difference between treatments (P<0.05).

کاملینا در مقایسه با کنجاله سویا گردید (Kinley و همکاران، ۲۰۲۰). در پژوهشی، Sizmaz و همکاران (۲۰۲۱) با مقایسه آزمایشگاهی کنجاله‌های سویا و کاملینا گزارش کردند که غلظت اسیدهای چرب فرار کل، استات و نسبت استات به پروپیونات در کنجاله سویا در مقایسه با کنجاله کاملینا بیشتر بود و اسیدهای چرب فرار دیگر تفاوتی نداشتند. در تحقیقی دیگر، کنجاله کاملینا (سطوح ۵۰ و ۱۰۰ درصد) به جای کنجاله کلزا در جیره گاوهای شیری به شکل برون‌تنی مورد بررسی قرار گرفت و بیان گردید که با جایگزینی، غلظت استات و نسبت استات به پروپیونات کاهش و پروپیونات افزایش یافت ولی مقادیر اسیدهای چرب فرار کل و سایر اسیدها متفاوت نبودند (Brandao و همکاران، ۲۰۱۸). پروتوزوا نقش اساسی در اکولوژی شکمبه دارند. آن‌ها یک رابطه همزیستی با باکتری‌های تولیدکننده متان دارند، ذرات ماده آلی و باکتری‌ها را می‌بلعد و نقش مهمی در هضم فیبر، کربوهیدرات، پروتئین و چربی دارند (Newbold و همکاران، ۲۰۱۵؛ Vasta و همکاران، ۲۰۱۹). جمعیت پروتوزوا مژک‌دار شکمبه معمولاً بین 10^4 تا 10^6 سلول در میلی‌لیتر شکمبه است، اما جیره غذایی میزبان به شدت بر تعداد آن‌ها تأثیر می‌گذارد که می‌تواند از صفر تا $10^6 \times 5$ سلول در میلی‌لیتر متغیر باشد. فراوانی پروتوزوا به شدت تحت تأثیر pH شکمبه است و مقادیر کمتر از ۵/۵ بالای ۱۵ ساعت در روز، عموماً باعث از بین رفتن این میکروارگانیسم‌ها می‌شود (Choudhury و همکاران، ۲۰۱۵؛ Francisco و همکاران، ۲۰۱۹).

محصول نهایی میکروارگانیسم‌های شکمبه، اسیدهای چرب فرار است. این اسیدهای چرب، منبع اصلی انرژی قابل سوخت‌وساز برای نشخوارکنندگان هستند و کاهش این اسیدهای چرب، احتمالاً تأثیر منفی بر تغذیه دام دارد (Van Soest، ۱۹۹۴). مقادیر اسیدهای چرب فرار در بین دانه‌های کاملینا متفاوت نبود. عدم تفاوت می‌تواند احتمالاً به دلیل تأمین نیاز میکروارگانیسم‌های شکمبه در نتیجه تجزیه مواد مغذی به‌ویژه کربوهیدرات‌ها در محیط تخمیر و همچنین عدم تفاوت در گوارش‌پذیری باشد (Rong-zhen و همکاران، ۲۰۱۶). ترکیب اسیدهای چرب فرار می‌تواند با کیفیت تغذیه‌ای ماده غذایی (تخمیر کربوهیدرات و پروتئین خوراک)، وجود متابولیت‌های ثانویه گیاهی، ترکیب جمعیت میکروبی شکمبه و شکل بستر تخمیر شده تغییر یابد (Ningrat و همکاران، ۲۰۱۷؛ Brutti و همکاران، ۲۰۲۳). غلظت کل اسیدهای چرب فرار و نسبت استات به پروپیونات در کنجاله‌های کاملینا در مقایسه با کنجاله سویا کمتر ولی غلظت پروپیونات بیشتر بود ($P < 0/0001$). کاهش اسیدهای چرب فرار احتمالاً به دلیل کاهش در گوارش‌پذیری است (Allen و Harvatine، ۲۰۰۶). افزایش غلظت پروپیونات به دلیل اثر مهارکنندگی ترکیبات ثانویه بر باکتری‌های گرم مثبت تولیدکننده استات و در نتیجه تأثیر کمتر بر باکتری‌های گرم منفی تولیدکننده پروپیونات است (Kholif و همکاران، ۲۰۲۳). در نتیجه افزایش غلظت پروپیونات سبب کاهش نسبت استات به پروپیونات در کنجاله‌های

جدول ۷- جمعیت پروتوزوا (log₁₀/ml media) و تولید گازهای دی‌اکسید کربن و متان دانه کاملینا در مناطق مختلف کاشت
Table 7- Protozoa population and production of CO₂ and CH₄ gases of camelina seed in different planting areas

سطح معنی‌داری P-value	انحراف استاندارد میانگین‌ها SEM	دانه کاملینا فسا Fasa camelina seed	دانه کاملینا پاسارگاد Pasargad camelina seed	دانه کاملینا زرقان Zarghan camelina seed	فراسنجه Parameter
0.582	0.021	5.66	5.63	5.66	کل Total
< 0.0001	0.040	4.60 ^a	4.30 ^b	4.60 ^a	ایزوتریچا <i>Isotricha</i>
0.107	0.05	4.66	4.30	4.30	داسی‌تریچا <i>Dasytricha</i>
0.066	0.018	5.34 ^b	5.41 ^a	5.40 ^{ab}	انتودینیینه <i>Entodiniinae</i>
0.056	0.038	5.17 ^a	5.00 ^b	5.07 ^{ab}	دیپلودینیینه <i>Diplodiniinae</i>
0.296	0.070	4.30	4.45	4.45	افریوسکالسیینه <i>Ophrioscolecinae</i>
0.572	0.084	4.67	4.76	4.63	دی‌اکسید کربن (میلی‌مول) CO ₂ (mmol)
0.571	2.161	119.60	121.94	118.64	دی‌اکسید کربن (میلی‌لیتر در گرم ماده آلی هضم شده) CO ₂ (ml/g OMD)
0.570	0.055	2.23	2.29	2.21	متان (میلی‌مول) CH ₄ (mmol)
0.570	1.423	57.21	58.78	56.62	متان (میلی‌لیتر در گرم ماده آلی هضم شده) CH ₄ (ml/g OMD)

حروف لاتین غیرمشابه در هر سطر نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است (P<۰/۰۵).

Non-similar latin letters in each rows represents a significant difference between treatments (P<0.05).

در کنجاله کاملینا است. عوامل مختلفی بر روی جمعیت پروتوزوا در شکمبه تأثیر می‌گذارند مانند خوراک، آب، ترشح بزاق، سرعت عبور مواد گوارشی در شکمبه، فعالیت تخمیری، تولید اسیدها در شکمبه، متابولیت‌های ثانویه گیاهی و اسیدهای چرب غیراشباع (Guimaraes و همکاران، ۲۰۲۳). از آنجایی که مولکول‌های کوچک اسیدهای چرب به راحتی در لایه لیپیدی غشای سلولی حل می‌شوند، می‌توانند به‌طور مؤثری باعث اختلال فیزیکی غشای سلولی شوند و در سوخت‌وساز انرژی و انتقال مواد مغذی دخالت کنند و منجر به مرگ برخی از سلول‌های میکروبی مانند پروتوزوا شوند.

دانه کاملینا مناطق مختلف بر جمعیت کل پروتوزوا، جنس داسی‌تریچا و زیرخانواده افریوسکالسیینه تأثیری نداشت، ولی اثرات این دانه‌ها بر جمعیت ایزوتریچا (P<۰/۰۰۰۱)، انتودینیینه (P=۰/۰۶۶) و دیپلودینیینه (P=۰/۰۵۶) متفاوت بود. با استفاده از کنجاله کاملینا در مقایسه با کنجاله سویا، جمعیت کل پروتوزوا (P<۰/۰۰۰۱)، جنس‌های ایزوتریچا (P=۰/۰۰۲) و داسی‌تریچا (P=۰/۰۷۵) و زیرخانواده‌های انتودینیینه (P<۰/۰۰۰۱)، دیپلودینیینه (P=۰/۰۱۷) و افریوسکالسیینه (P=۰/۰۱۵) کاهش یافتند. کاهش تعداد پروتوزوا احتمالاً به دلیل وجود اسیدهای چرب غیراشباع و متابولیت‌های ثانویه گیاهی

جدول ۸- جمعیت پروتوزوا (log₁₀ /ml media) و تولید گازهای دی‌اکسید کربن و متان کبچاله سویا و کبچاله‌های کاملینا در مناطق مختلف کاشت
 Table 8- Protozoa population and production of CO₂ and CH₄ gases of soybean meal and camelina meals in different planting areas

سطح معنی داری P-value	انحراف استاندارد میانگین‌ها SEM	کبچاله کاملینا فسا Fasa camelina meal	کبچاله کاملینا پاسارگاد Pasargad camelina meal	کبچاله کاملینا زرقان Zarghan camelina meal	کبچاله سویا Soybean meal	فراسنجه Parameter
<0.0001	0.013	5.70 ^b	5.71 ^b	5.68 ^b	5.85 ^a	کل Total
0.002	0.052	4.30 ^c	4.60 ^{ab}	4.45 ^{bc}	4.72 ^a	ایزوتریچا <i>Isotricha</i>
0.075	0.068	4.46 ^b	4.59 ^{ab}	4.48 ^b	4.72 ^a	داسی تریچا <i>Dasytricha</i>
<0.0001	0.013	5.45 ^b	5.48 ^b	5.38 ^c	5.56 ^a	انتودینیونیه <i>Entodiniinae</i>
0.017	0.035	5.16 ^{ab}	5.07 ^b	5.17 ^{ab}	5.28 ^a	دیپلودیپنیه <i>Diplodiniinae</i>
0.015	0.067	4.45 ^b	4.30 ^b	4.45 ^b	4.70 ^a	اُفریوسکالسیینه <i>Ophrioscolecinae</i>
0.005	0.016	5.36 ^b	5.38 ^b	5.37 ^b	5.47 ^a	دی‌اکسید کربن (میلی‌مول) CO ₂ (mmol)
0.005	0.415	137.36 ^b	137.95 ^b	137.47 ^b	140.11 ^a	دی‌اکسید کربن (میلی‌لیتر در گرم ماده آلی هضم شده) CO ₂ (ml/g OMD)
0.024	0.015	2.97 ^b	2.99 ^b	2.97 ^b	3.05 ^a	متان (میلی‌مول) CH ₄ (mmol)
0.024	0.402	76.16 ^b	76.49 ^b	76.23 ^b	78.15 ^a	متان (میلی‌لیتر در گرم ماده آلی هضم شده) CH ₄ (ml/g OMD)

حروف لاتین غیرمشابه در هر سطر نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است (P<0.05).

Non-similar latin letters in each rows represents a significant difference between treatments (P<0.05).

کاهش این اتلاف ضروری است. تولید گاز دی‌اکسید کربن و متان در دانه‌های کاملینا تفاوتی نداشتند. تولید این گازها در کنجاله‌های کاملینا در مقایسه با کنجاله سویا کاهش یافت و در بین کنجاله‌های کاملینا تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($P=0/05$ و $P=0/024$). تحقیقات انگشت‌شماری در مورد تأثیر محصولات کاملینا بر تولید متان در نشخوارکنندگان وجود دارد. کاهش تولید متان می‌تواند در نتیجه وجود ترکیبات فنولیک و تانن موجود در کنجاله‌های کاملینا (جدول ۲) از طریق تأثیر مستقیم این ترکیبات بر باکتری‌های تولیدکننده متان و جمعیت پروتوزوایی و یا کاهش غیرمستقیم تولید این گاز با کاهش گوارش‌پذیری مواد غذایی به‌ویژه الیاف خام باشد (Salem و Abarghuei، ۲۰۲۱؛ Acosta-Lozano و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین اثرات منفی اسیدهای چرب غیراشباع بر باکتری‌ها و پروتوزوای نیز می‌تواند سبب کاهش تولید متان شود (Christodoulou و همکاران، ۲۰۲۳). ارتباط مستقیمی بین تولید متان و جمعیت پروتوزوای وجود دارد و گزارش شده است که پروتوزوای مسئول تولید ۳۷ درصد متان تولیدی در نشخوارکنندگان هستند (Machmüller و همکاران، ۲۰۰۳). اسیدهای چرب غیراشباع سبب شکسته شدن غشای سلولی میکروارگانیزم‌ها شده و در نتیجه نفوذپذیری انتخابی این میکروارگانیزم‌ها که برای رشدشان حیاتی است کاهش می‌یابد (Zhou و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین اسیدهای چرب غیراشباع بر تشکیل بیوفیلم باکتری-های گرم مثبت تأثیر سمیت دارند و سبب کاهش آن-ها می‌شوند (Yuyama و همکاران، ۲۰۲۰). بعلاوه مشخص شده است که گلوکوزینولات موجود در کاملینا با تأثیر بر جمعیت میکروبی شکمبه به نفع باکتری‌های تولیدکننده پروپیونات و کاهش فعالیت باکتری‌های تولیدکننده متان در کاهش تولید متان نقش دارد (Brandao و همکاران، ۲۰۱۸). در پژوهشی،

قدرت این اثر ضد میکروبی متناسب با غلظت اسیدهای چرب است که منجر به کاهش رشد پروتوزوای می‌شود (Yanza و همکاران، ۲۰۱۹). متابولیت‌های ثانویه گیاهی نیز در کاهش پروتوزوای در شکمبه نقش دارند. فنولیک‌ها و تانن‌ها غشای پروتوزوای را مختل و آنزیم‌ها را غیرفعال می‌کنند و مواد مغذی ضروری برای متابولیسم این موجودات را کاهش می‌دهند (Calsamiglia و همکاران، ۲۰۰۷؛ Patra و Saxena، ۲۰۱۱؛ Demirtaş و همکاران، ۲۰۱۸). با این وجود، اثرات متابولیت‌های ثانویه گیاهی بر تعداد پروتوزوای در بسیاری از مطالعات متفاوت است و به جیره غذایی، غلظت و ساختار متابولیت‌ها، تجزیه متابولیت‌ها توسط میکروارگانیزم‌های شکمبه، تفاوت‌های حیوانی و روش‌های نمونه‌برداری بستگی دارد (Patra و Saxena، ۲۰۱۱؛ Abarghuei و Salem، ۲۰۲۱). در پژوهشی سطوح مختلف دانه کاملینا (۶۰، ۱۱۰ و ۱۶۰ گرم در کیلوگرم ماده خشک) در کنستانتره میس‌های شیرده استفاده گردید و گزارش شد که سطح ۶۰ گرم در کیلوگرم ماده خشک، جمعیت پروتوزوای کل و زیرخانواده انتودینیونینه را افزایش داد و سطوح دیگر بر این میکروارگانیزم‌ها تأثیری نداشتند (Christodoulou و همکاران، ۲۰۲۳). در تحقیقی اثر سطوح مختلف جایگزینی کنجاله سویا با کنجاله کاملینا (۳۳، ۶۷ و ۱۰۰ درصد) در تغذیه بره‌های پرواری بررسی شد و بیان گردید که با افزایش سطح جایگزینی پروتوزوای کل و انتودینیوم کاهش یافت ولی تأثیری بر جمعیت‌های ایزوتریچا، داسی-تریچا، اپی‌دینیوم، دیپلودینیوم و افریواسکالکس مشاهده نشد (Shirnegar و همکاران، ۱۴۰۲).

تولید گازهای گلخانه‌ای در نشخوارکنندگان علاوه بر آلودگی محیط‌زیست، باعث از دست رفتن انرژی خوراک به مقدار ۲ تا ۱۲ درصد انرژی ناخالص نیز می‌شود (Johnson و Johnson، ۱۹۹۵)؛ بنابراین

کمتر بود. کنجاله‌های کاملینا از نظر بهبود فراسنجه‌های تخمیر (افزایش تولید پروتئین میکروبی و پروپیونات، کاهش جمعیت پروتوزوا و گازهای دی‌اکسید کربن و متان) نسبت به کنجاله سویا برتری داشتند. از نظر برخی ترکیبات شیمیایی (پروتئین خام و ایلاف نامحلول در شوینده خشتی) و فراسنجه‌های تخمیر (انرژی قابل سوخت‌وساز و تولید پروتئین میکروبی) برتری با کنجاله منطقه فسا بود. از نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد که چشم‌انداز مناسبی برای کشت کاملینا در ایران به‌عنوان یک محصول جدید برای تولید خوراک دام وجود دارد و با توجه به مسئله بحران آب در کشور و قابلیت کاشت گیاه کاملینا در شرایط دیم و مناطق مختلف آب و هوایی، می‌توان از دانه و کنجاله این گیاه در جیره دام استفاده کرد. به‌رحال انجام پژوهش‌های بیشتر بر روی ارقام دیگر در هر منطقه، تعیین عملکرد زراعی تولید دانه و همچنین انجام آزمایشات بر روی دام زنده برای دستیابی به نتایج بیشتر ضروری می‌باشد.

سطوح مختلف دانه کاملینا (۶۰، ۱۱۰ و ۱۶۰ گرم در کیلوگرم ماده خشک) در کنسنتره میش‌های شیرده استفاده گردید و گزارش شد که فقط سطوح ۱۱۰ و ۱۶۰ گرم در کیلوگرم ماده خشک، جمعیت باکتری-های تولیدکننده متان را کاهش داد (Christodoulou و همکاران، ۲۰۲۳). در تحقیقی دیگر گزارش شد که استفاده از روغن کاملینا (۶۰ گرم در کیلوگرم ماده خشک) در جیره گاوهای شیری، تولید متان (۲۳/۵ درصد) و دی‌اکسید کربن (۳۴/۳ درصد) کاهش یافت ولی تأثیری بر باکتری‌های تولیدکننده متان مشاهده نشد (Bayat و همکاران، ۲۰۱۵).

نتیجه‌گیری کلی

اثر منطقه کاشت بر ترکیبات شیمیایی و ارزش غذایی دانه‌های کاملینا متفاوت بود. برخی فراسنجه‌های تخمیر کنجاله کاملینا هر سه منطقه از کنجاله سویا

منابع

- Abarghuei, M.J. & Salem, A.Z.M. (2021). Sustainable impact of pulp and leaves of *Glycyrrhiza glabra* to enhance ruminal biofermentability, protozoa population and biogases production in sheep. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 33371–33381.
- Abarghuei, M.J., Karimi, A. & Agah, M.J. (2024). The effect of harvesting stage and different levels of nitrogen fertilizer on chemical compounds, *in vitro* fermentation parameters and CH₄ production of quinoa forage in ruminant. *Journal of Ruminant Research*. (In Persian).
- Acosta-Lozano, N., Barros-Rodríguez, M., Guishca-Cunuhay, C., Andrade-Yucailla, V., Contreras-Barros, K., Sandoval-Castro, C., Elghandour, M.M.M.Y. & Salem, A.Z.M. (2023). Potential effect of dietary supplementation of tannin-rich forage on mitigation of greenhouse gas production, defaunation and rumen function. *Veterinary Science*, 10: 467.
- Adegbeye, M.J., Ravi Kanth Reddy, P., Obaisi, A. I., Elghandour, M.M.M., Oyebamiji, K.J., Salem, A.Z.M., Morakinyo-Fasipe, O.T., Cipriano-Salazar, M. & Camacho-Díaz, L.M. (2020). Sustainable agriculture options for production, greenhouse gasses and pollution alleviation, and nutrient recycling in emerging and transitional nations - An overview. *Journal of Cleaner Production*, 242: 118319.
- Aguirre, L., Camara, L., Smith, A., Arroyo, J.J., de Juan, A.F., Fondevila, G. & Mateos, G.G. (2022). Chemical composition, protein quality indicators and *in vitro* protein digestibility of commercial soybean meals from different origins for use in poultry feeding. *Animal Feed Science and Technology*, 293: 115473.

- Aksouh-Harradj, N.M., Campbell, L.C. & Mailer, R.J. (2006). Canola response to high and moderately high temperature stresses during seed maturation. *Canadian Journal of Plant Science*, 86: 967–980.
- Al-Sagheer A.A, Elwakeel, E.A., Ahmed, M.G. & Sallam, S.M.A. (2018). Potential of guava leaves for mitigating methane emissions and modulating ruminal fermentation characteristics and nutrient degradability. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(31): 31450–31458.
- Anker, N.K., Færgesta., E.M., Sahlstrøm, S. & Uhlen, A.K. (2006). Interaction between barley cultivars and growth temperature on starch degradation properties measured *in vitro*. *Animal Feed Science and Technology*, 130: 3–22.
- AOAC. (1990). 15th ed. Official Methods of Analysis, vol. I. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
- Ayaşan, T. (2020). Determination of nutritional value of some quinoa varieties. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 44: 950-954.
- Batley, R.J., Romanzini, e.P., da Silva, K.D., de Souza, W.L., Quigley, S.P., Harper, K.J., Trotter, M.J., Bernardes, P.A., Naiker, M. & Costa, D.F.A. (2024). The essential oil blend Agolin Ruminant L reduces methane production *in vitro* and *in vivo* when included in the drinking water of cattle. *Journal of Animal Science*, 102: 1-13.
- Bayat, A.R., Kairenius, P., Stefański, T., Leskinen, H., Comtet-Marre, S., Forano, E., Chaucheyras-Durand, F. & Shingfield, K.J. (2015). Effect of camelina oil or live yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) on ruminal methane production, rumen fermentation, and milk fatty acid composition in lactating cows fed grass silage diets. *Journal of Dairy Science*, 98: 3166-3181.
- Blum, A., Sinmena, B., Mayer, J., Golan G. & Shpiller, L. (1994). Stem reserve mobilisation supports wheat-grain filling under heat stress. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21(6): 771 – 781.
- Blümmel, M., Karsli, A. & Russell, J.R. (2003). Influence of diet on growth yields of rumen microorganisms *in vitro* and *in vivo*: influence of variable carbon fluxes to fermentation products. *British Journal of Nutrition*, 90: 625–635.
- Blümmel, M., Steingass, H. & Becker, K. (1997). The relationship between *in vitro* gas production, *in vitro* microbial biomass yield and N-15 incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. *British Journal of Nutrition*, 77: 911–921.
- Brandao, V.L.N., Silva, L.G., Paula, E.M., Monteiro, H.F., Dai, X., Lelis, A.L.J., Faccenda, A., Poulson, S.R. & Faciola, A.P. (2018). Effects of replacing canola meal with solvent-extracted camelina meal on microbial fermentation in a dual-flow continuous culture system. *Journal of Dairy Science*, 101: 1–13.
- Broderick, G.A. & Kang, J.H. (1980). Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and *in vitro* media. *Journal of Dairy Science*, 63: 64-75.
- Brutti, D.D., Canozzi, M.E., Sartori, A.E.D., Colombatto, D. & Barcellos, J.O.J. (2023). Effects of the use of tannins on the ruminal fermentation of cattle: a meta-analysis and meta-regression. *Animal Feed Science and Technology*, 306: 115806.
- Calsamiglia, S., Busquet, M., Cardozo, P.W., Castillejos, L. & Ferret, A. (2007). Invited review: essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*, 90: 2580–2595.
- Choudhury, P.K., Salem, A.Z.M., Singh, R. & Puniya, A.K. (2015). Rumen microbiology: An overview. Pages 3–16 in *Rumen Microbiology: From Evolution to Revolution*. A. K. Puniya, R. Singh, and D. N. Kamra, ed. Springer, India.
- Christodoulou, C., Mavrommatis, A., Loukovitis, D., Symeon, G., Dotas, V., Kotsampasi, B. & Tsiplakou, E. (2023). Inclusion of *Camelina sativa* seeds in ewes' diet modifies rumen microbiota. *Animals*, 13: 377.

- Colombini, S., Broderick, G.A., Galasso, I., Martinelli, T., Rapetti, L., Russo, R. & Reggiani, R. (2014). Evaluation of *Camelina sativa* (L.) Crantz meal as an alternative protein source in ruminant rations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94: 736–743.
- Cottyn, B.G. & Boucque, C.V. (1968). Rapid method for the gaschromatographic in rumen fluid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 16: 105–107.
- Dehority, B.A. (2003). *Rumen Microbiology*. Nottingham University Press, Nottingham, UK.
- Delver, J.J. & Smith, Z.K. (2023). Opportunities for Camelina meal as a livestock feed ingredient. *Agriculture*, 14: 116.
- Demirtaş, A., Öztürk, H. & Pişkin, I. (2018). Overview of plant extracts and plant secondary metabolites as alternatives to antibiotics for modification of ruminal fermentation. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 65: 213-217.
- Dong, C., Wei, M., Ju, J., Du, L., Zhang, R., Xiao, M., Zheng, Y., Bao, H. & Bao, M. (2024). Effects of guanidinoacetic acid on *in vitro* rumen fermentation and microflora structure and predicted gene function. *Frontiers in Microbiology*, 14: 1285466.
- France, J., Dijkstra, J., Dhanoa, M.S., Lopez, S. & Bannink, A. (2000). Estimating the extent of degradation of ruminant feeds from a description of their gas production profile observed *in vitro*: derivation of models and other mathematical considerations. *British Journal of Nutrition*, 83: 143–150.
- Francisco, A.E., Santos-Silva, J.M., Portuga, A.P.V., Alves, S.P. & Bessa, R.J.B. (2019). Relationship between rumen ciliate protozoa and biohydrogenation fatty acid profile in rumen and meat of lambs. *Plos One*, 6: 1-21.
- García-Rebollar, P., Cámara, L., Lázaro, R.P., Dapoza, C., Pérez-Maldonado, R. & Mateos, G.G. (2016). Influence of the origin of the beans on the chemical composition and nutritive value of commercial soybean meals. *Animal Feed Science and Technology*, 221: 245–261.
- Ghezalje, A.E., Mesgaran, D.M. Moghaddam, N.H. & Vakili, A. (2011). Bulk density, chemical composition and *in vitro* gas production parameters of Iranian barley grain cultivars grown at different selected climates. *African Journal of Agricultural Research*, 6: 1226-1232.
- Gholizadeh, H., Naserian, A.A., Valizadeh, R. & Tahmasebi, A. (2017). Study of carbohydrate and protein fractions in different barley cultivars using cornell net carbohydrate and protein system (CNCPS). *Iranian Journal of Animal Science Research*, 8(4): 541-552. (In Persian).
- Glasser, F., Doreau, M., Maxin, G. & Baumont, R. (2013). Fat and fatty acid content and composition of forages: A meta-analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 185: 19–34.
- Guimaraes, L.J., Zundt, M., Tsujiguchi, M.P., Giotto, F.M., Barbosa, M.J.P.T., Grandis, F.A., Silva, I.G.S., Pereira, M.C.S. & Ribeiro, E.L.A. (2023). The use of condensed tannin in lambs' diet alters the rumen protozoa population without affecting growth performance. *Small Ruminant Research*, 229: 107122.
- Harun, A.K. & Sali, K. (2019). Factors affecting rumen microbial protein synthesis: A review. *Veterinary Medicine*, 4(1): 27-35.
- Harvatine, K.J. & Allen, M.S. (2006). Effects of fatty acid supplements on ruminal and total tract nutrient digestion in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89: 1092–1103
- Ibáñez, M.A., de Blas, C., Cámara, L. & Mateos, G.G. (2020). Chemical composition, protein quality and nutritive value of commercial soybean meals produced from beans from different countries: A meta-analytical study. *Animal Feed Science and Technology*, 267: 114531.
- Izadi, G.A., Rouzbehan, Y., Rezaei, J. & Abarghuei, M.J. (2024). Productive performance, rumen parameters, carcass quality, antioxidant profile and methane emission in lambs supplemented with triticale hay. *Veterinary and Animal Science*, 27: 100417.
- Johnson, K.A. & Johnson, D.E. (1995) Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73: 2483-2492.
- Juodka, R., Nainien, R., Juškien, V., Juška, R., Leikus, R., Kadžien, G. & Stankevicien. D. (2022). Camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) as feedstuffs in meat type poultry diet: a source of protein and n-3 fatty acids. *Animals*, 12: 295.

- Karimi, Z., Mirzaei, H., Emam-Djomeh, Z., Sadeghi Mahoonak, A.R. & Khomeiri, M. (2013). Effect of harvest time on antioxidant activity of *Glycyrrhiza glabra* root extract and evaluation of its antibacterial activity. *International Food Research Journal*, 20(5): 2951–2957.
- Kasiga, T., Karki, B., Croat, J., Kaur, J., Gibbons, W.R., Muthukumarappan, K. & Brown, M.L. (2020). Process effects on carinata *Brassica carinata* and camelina *Camelina sativa* seed meal compositions and diet palatability in Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss*. *Animal Feed Science and Technology*, 267: 114578.
- Kholif, A.E., Gouda, G.A., Morsy, T.A., Matloup, O.H., Sallam, S.M. & Patra, A.K. (2023). Associative effects between *Chlorella vulgaris* microalgae and *Moringa oleifera* leaf silage used at different levels decreased *in vitro* ruminal greenhouse gas production and altered ruminal fermentation. *Environmental Science and Pollution Research*, 30: 6001–6020.
- Kinley, R. D., Martinez-Fernandez, G., Matthews, M. K., de Nys, R., Magnusson, M., & Tomkins, N. W. (2020). Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed. *Journal of Cleaner production*, 259, 120836.
- Kirkegaard, J.A., Lilley, J.M., Berry, P.M. & Rondanini, D.P. (2021). Chapter 17—Canola. In *Crop Physiology Case Histories for Major Crops*; Sadras, V.O., Calderini, D.F., Eds.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, pp. 518–549. ISBN 978-0-12-819194-1.
- Króliczewska, B., Pecka-Kiełb, E. & Bujok, J. (2023). Strategies used to reduce methane emissions from ruminants: controversies and issues. *Agriculture*, 13: 2-26.
- Lawrence, R.D., Anderson, J.L. & Clapper, J.A. (2016). Evaluation of camelina meal as a feedstuff for growing dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 99: 6215–6228.
- Li, L., Lietz, G. & Seal, C.J. (2021). Phenolic, apparent antioxidant and nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *International Journal of Food Science & Technology*, 56: 3245–3254.
- Liu, M., Yang, M. & Yang, H. (2021). Biomass production and nutritional characteristics of quinoa subjected to cutting and sowing date in the mid-western China. *Grass Science*, 63(3): 215-224.
- López-Castañeda, C., Richards, R.A., Farquhar, G.D. & Williamson, R.E. (1996). Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigor among temperate cereals. *Crop Science*, 36(5): 1257-1266.
- Machmüller, A., Soliva, C.R. & Kreuzer, M. (2003). Methane-suppressing effect of myristic acid in sheep as affected by dietary calcium and forage proportion. *British Journal of Nutrition*, 90: 529–540.
- Makkar, H.P.S. & Singh, B. (1993). Effect of storage and urea addition on detannification and *in sacco* dry matter digestibility of mature oak (*Quercus incana*) leaves. *Animal Feed Science and Technology*, 41: 247–259.
- Makkar, H.P.S. (2000). Quantification of Tannins in Tree Foliage. A Laboratory Manual for the FAO/IAEA Co-Ordinated Research Project on Use of Nuclear and Related Techniques to Develop Simple Tannin Assays for Predicting and Improving the Safety and Efficiency of Feeding Ruminants on Tanniferous Tree Foliage. Joint FAO/IAEA of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. Animal Production and Health Sub-Programme, FAO/IAEA Working Document. IAEA, Vienna, Austria.
- Makkar, H.P.S. (2010). *In vitro* screening of feed resources for efficiency of microbial protein synthesis. In: Vercoe, P.E., Makkar, H.P.S., Schlink, A.C. (Eds.), *In vitro* screening of plant resources for extra-nutritional attributes in ruminants: Nuclear and Related Methodologies. IAEA, Dordrecht, the Netherlands, pp: 107–144.
- McAllister, T.A., Bae, H.D., Jones, G.A. & Cheng, K.J. (1994). Microbial attachment and feed digestion in the rumen. *Journal of Animal Science*, 72: 3004–3018.
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D. & Morgan, C.A. (1995). *Animal nutrition*. In: Longman Scientific and Technical, 5th ed. John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, USA, 607 pp.

- McGeary, K. D., de Koff, J., Pokharel, B., Link, R., Saini, P. & Gill, T. (2020). Effect of winter canola cultivar on seed yield, oil, and protein content. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 5: e20254.
- Menke, K.H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D. & Schneider, W. (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *Journal of Dairy Science*, 92: 217–222.
- Meza-Bone, G., Meza-Bone, C., Avellaneda-Cevallos, C., Cabezas-Congo, R., Villamar-Torres, R., Cabanilla-Campos, M., Vivas-Arturo, W., Intriago-Flor, F., Meza-Bone, F., Zapatier-Santillan, A., Bastidas-Espinoza, R., Solís-Barros, T., Muñoz-Arboleda, L., Garcia-Cox, W. & Barros-Rodríguez, M. (2022). Rumen fermentation profile and greenhouse gas mitigation of three forage species from agroforestry systems in dry and rainy seasons. *Fermentation*, 8: 630.
- Mi, C., Sun, C., Yuan, Y., Li, F., Wang, Q., Zhu, H., Hua, S. & Lin, L. (2023). Effects of low nighttime temperature on fatty acid content in developing seeds from *Brassica napus* L. based on RNA-Seq and metabolome. *Plants*, 12: 325.
- Mierlita, D. & Vicas, S. (2015). Dietary effect of silage type and combination with camelina seed on milk fatty acid profile and antioxidant capacity of sheep milk. *South African Journal of Animal Science*, 45: 2-11.
- Morrison, W.R. (1995). Starch lipids and how they relate to starch granule structure and functionality. *Cereal Foods World*, 40: 437-446.
- Mutsvangwa, T., Abeysekara, S. & Thompson, S. (2023). Effects of feeding graded levels of camelina expeller meal up to 10% of dietary dry matter on production and milk fatty acid profiles in dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 103: 101–106.
- Nazari, S., Azizi, A., Kiani, A. & Sharifi A. (2022). Effect of substituting different levels of *Camellina sativa* meal instead of soybean meal on performance, rumen fermentation parameters, blood metabolites, and feeding behavior of fattening lambs. *Animal Production Research*, 11(2): 17-30. (In Persian).
- Newbold, C. J., De La Fuente, G., Belanche, A., Ramos-Morales, E. & McEwan, N.R. (2015). The role of ciliate protozoa in the rumen. *Frontiers in Microbiology*, 6: 1313.
- Ningrat, R.W.S., Zain, M., Erpomen, M. & Suryani, H. (2017). Effects of doses and different sources of tannins on *in vitro* ruminal methane, volatile fatty acids production and on bacteria and protozoa populations. *Asian Journal of Animal Sciences*, 1(1): 47-53.
- Noordar, H., Malecky, M., Jahanian Najafabadi, H. & Navidshad, B. (2017). Evaluating nutritional value of processed potato vines by *in vitro* gas production. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 60(2): 189–204.
- Norton, B.V. & Poppi, D.P. (1995). Composition and nutritional attributes of pasture legumes. In: D'Mello, J.P.F., Devendra, C., (Eds.). *Tropical legumes in Animal Nutrition*. CABI Publishing, Wallingford, UK. Pp 23-47.
- Palangi, V., Taghizadeh, A., Abachi, S. & Lackner, M. (2022). Strategies to mitigate enteric methane emissions in ruminants: A review. *Sustainability*, 14: 13229.
- Patra, A.K. & Saxena, J. (2011). Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91: 24–37.
- Paula, E.M., da Silva, L.G., Brandao, V.L.N., Dai, X. & Faciola, A.P. (2019). Feeding Canola, Camelina, and Carinata Meals to Ruminants. *Animals*, 9: 2-19.
- Pekel, A.Y., Kim, J.I., Chapple, C. & Adeola, O. (2015). nutritional characteristics of camelina meal for 3-week-old broiler chickens. *Poultry Science*, 94: 371–378.
- Riaz, R., Ahmed, I., Sizmaz, O. & Ahsan, U. (2022). Use of *camelina sativa* and by-products in diets for dairy cows: a review. *Animals*, 12: 1082.
- Rivelli, G.M., Gomez, N.V. Mantese, A.I. Miralles, D.J. Abeledo, L.G. & Rondanini, D.P. (2023). Photothermal quotient describes the combined effects of heat and shade stresses on canola seed productivity. *Seeds*, 2: 149–164.

- Robertson, J.B. & Van Soest, P.J. (1981). The detergent system of analysis. In: James, W.P.T., Theander, O. (Eds.), *The Analysis of Dietary Fiber in Food*, vol. 158, Marcel Dekker, New York, NY, USA, Basel, Switzerland, pp. 123. (Chapter 9).
- Rong-zhen, Z., Yi, F., Hai-xia, S., Min, W. & Dao-wei, Z. (2016). Rumen methane output and fermentation characteristics of gramineous forage and leguminous forage at differing harvest dates determined using an *in vitro* gas production technique. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(2): 414–423.
- Russo, R. & Reggiani, R. (2012). Antinutritive compounds in twelve *Camelina sativa* genotypes. *American Journal of Plant Sciences*, 3: 24118.
- Salas, H., Castillejos, L., López-Suárez, M. & Ferret, A. (2019). *In vitro* digestibility, *in situ* degradability, rumen fermentation and N metabolism of camelina co-products for beef cattle studied with a dual flow continuous culture system. *Animals*, 9: 1–13.
- Sarramone, J., Gervais, R., Benchaar, C. & Chouinard, P. (2020). Lactation performance and milk fatty acid composition of lactating dairy cows fed *Camelina sativa* seeds or expeller. *Animal Feed Science and Technology*, 270: 114697.
- SAS (2002). SAS User's Guide: Statistics. Ver 9.0.SAS Institute, Cary, N.C. USA. 956 pp.
- Sey, A.A., Pham, T.H., Kavanagh, V., Kaur, S., Cheema, M.G., alagedara, L. & Thomas, R. (2020). Canola produced under boreal climatic conditions in newfoundland and labrador have a unique lipid composition and expeller press extraction retained the composition for commercial use. *Journal of Advanced Research*, 24: 423–434.
- Shirnegar, Z., Hozhabri, F. & Nooriyan Soroor, M.E. (2023). Replacement of soybean meal with *Camelina sativa* meal in diet of fattening lambs: effect on performance, some blood and rumen fermentation parameters. *Journal of Animal Production*, 25(3): 255-266. (In Persian).
- Sizmaz, Ö., Çalik, A. & Bundur, A. (2021). *In Vitro* Fermentation Characteristics of Camelina Meal Comparison with Soybean Meal. *Livestock Studies*, 61: 9–13.
- Somanjaya, R., Imanudin, O., Turohman, S.M., Fuah, A.M., Rahayu, S., Abdullah, L. & Setiadi, M.A. (2022). *In vitro* gas production of *sorghum-indigofera* forage-based complete feed for ruminants. *International conference on sustainable animal resource and environment*, 1020: 012011.
- Uke, O., Kale, H., Kaplan, M. & Kamalak, A. (2017). Effects of maturity stages on hay yield and quality, gas and methane production of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *KSU Journal of Natural Sciences*, 20(1): 42–46.
- Van Soest, P.J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*, 2nd ed. Cornell Univ. Press, Itacha, NY, USA, 476 pp.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. & Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch poly-saccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74: 3583–3597.
- Vasta, V., Daghighi, M., Cappucci, A., Buccioni, A., Serra, A., Viti, C. & Mele, M. (2019). Invited review: Plant polyphenols and rumen microbiota responsible for fatty acid biohydrogenation, fiber digestion, and methane emission: Experimental evidence and methodological approaches. *Journal of Dairy Science*, 102: 1–24.
- Wang, S., Kreuzer, M., Braun, U. & Schwarm, A. (2017). Effect of unconventional oilseeds (safflower, poppy, hemp, camelina) on *in vitro* ruminal methane production and fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(11): 3864-3870.
- Waraich, E.A., Ahmed, Z., Ahmad, R., Yasin Ashraf, M., Saifullah, Naeem, M.S. & Rengel, Z. (2013). *Camelina sativa*, a climate proof crop, has high nutritive value and multiple-uses: a review. *Australian Journal of Crop Science*, 7(10): 1551-1559.
- Woyengo, T.A., Patterson, R., Slominski, B.A., Beltranena, E. & Zijlstra, R.T. (2017). Nutritive value of cold-pressed camelina cake with or without supplementation of multi-enzyme in broiler chickens. *Poultry Science*, 95: 2314–2321.
- Yang, F., Wang, Y., Zhao, S., Feng, C. & Fan, X. (2022). Dynamics of the fermentation products, residual non-structural carbohydrates, and bacterial communities of wilted and

- non-wilted alfalfa silage with and without *Lactobacillus plantarum* inoculation. *Frontiers in Microbiology*, 12: 824229.
- Yang, J., Zhang, J., Huang, Z., Zhu, Q. & Wang, L. (2000). Remobilization of carbon reserved is improved by controlled soil drying during grain filling of wheat. *Crop Science*, 40: 1645-1655.
- Yanza, Y.R., Szumacher-Strabel, M., Jayanegara, A., Kasenta, A.M., Gao, M., Huang, H., Patra, A.K., Warzych, E. & Cieślak, A. (2019). The effects of dietary medium-chain fatty acids on ruminal methanogenesis and fermentation *in vitro* and *in vivo*: A metaanalysis. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105: 874–889.
- Ye, C.L., Anderson, D.M. & Lall, S.P. (2016). The effects of camelina oil and solvent extracted camelina meal on the growth, carcass composition and hindgut histology of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr in freshwater. *Aquaculture*, 450: 397–404.
- Yuyama, K.T., Rohde, M., Molinari, G., Stadler, M. & Abraham, W. (2020). Unsaturated fatty acids control biofilm formation of *Staphylococcus aureus* and other gram-positive bacteria. *Antibiotics*, 9: 788.
- Zhou, X., Meile, L., Kreuzer, M. & Zeitz, J.O. (2013). The effect of saturated fatty acids on methanogenesis and cell viability of *Methanobrevibacter ruminantium*. *Archaea*, 2013: 106916.

