Gorgan University of
Agricultural Sciences
and Natural Resources

Journal of Ruminant Research

Print ISSN: 2345 - 4261
Online ISSN: 2345 - 4253

Study of replacing soybean meal with camelina meal (fermented and non-fermented) in the diets of fattening lambs: Effect on growth performance and rumen fermentation parameters

Vahid Allameh Sadr[2], Mohammad Mehdi Moeini[2*], Fardin Hozhabri[2], Somayeh mirzaei cheshmehgachi[3]

[1] Ph.D, student, Animal Science Department, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran
[2] Associate Professor of Animal Science Department, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran
Email: mmoeini@razi.ac.ir
[3] Lab. staff of Animal Science Department, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 10/9/2025
Revised: 29/11/2025
Accepted: 08/12/2025

Keywords:
Camelina
Growth performance
Protozoa
Trichoderma
Volatile fatty acids

ABSTRACT

Background and Objectives: Protein is one of the most important and expensive nutrients used in ruminant feeding. Due to Iran’s limitations in producing oilseeds and protein meals, meeting the protein requirements of livestock faces considerable challenges. Soybean meal is currently the most common and high-quality protein source in animal and poultry diets; however, its cost is higher than other meals. Camelina meal is another protein source that could be a potential alternative to soybean meal in livestock feeding. Therefore, this study was conducted to evaluate the effects of replacing soybean meal with fermented and unfermented camelina meal on growth performance and some ruminal fermentation parameters of fattening lambs.

Materials and Methods: The experiment was carried out in a completely randomized design with three dietary treatments and eight replications per treatment, using 24 lambs aged four to six months with an average initial body weight of 34.5 ± 5 kg over a period of 80 days. The experimental treatments included: (1) control diet containing soybean meal, (2) diet containing fermented camelina meal, and (3) diet containing unfermented camelina meal. Fermentation of camelina meal was performed using *Trichoderma reesei* (PTCC 5142). A 24-hour gas production assay was used to estimate organic matter digestibility, metabolizable energy, and microbial biomass yield. At the end of the experiment, rumen fluid samples were collected via oesophageal tube to determine pH, ammonia nitrogen concentration, volatile fatty acids (VFA), and protozoal population. During the experimental period, daily feed intake, average daily gain, and feed conversion ratio were measured. The economic efficiency index was calculated based on the cost per kilogram of body weight gain. Data were analysed using the GLM procedure of SAS software (2005).

Results: The results indicated that replacing soybean meal with fermented or unfermented camelina meal had no significant effect on growth performance or feed intake (P>0.05). Similarly, ruminal pH, ammonia nitrogen concentration, total volatile fatty acids, and total protozoal count were not affected by the treatments, although the population of Entodinium protozoa increased in lambs fed camelina meal diets (P<0.05). In lambs receiving fermented and unfermented camelina meal, ruminal propionate concentration increased while the acetate-to-propionate ratio decreased compared with the control group (P<0.05). No significant differences were observed among treatments in 24-hour gas production, estimated organic matter digestibility, metabolizable energy, partitioning factor, or microbial biomass yield.

Conclusion: The findings of this study demonstrated that partial or complete replacement of soybean meal with fermented or unfermented camelina meal had no adverse effects on growth performance or feed intake of fattening lambs. Considering its lower cost and reduced water requirement for cultivation, camelina meal can be recommended as a suitable and sustainable protein source in fattening lamb diets.

Cite this article: Allameh Sadr, V., Moeini, M.M., Hozhabri, F., mirzaei cheshmehgachi, S. (2026). Study of replacing soybean meal with camelina meal (fermented and non-fermented) in the diets of fattening lambs: Effect on growth performance and rumen fermentation parameters. *Journal of Ruminant Research*, 14(1), 159-175.

© The Author(s)

10.22069/ejrr.2025.24052.2023
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

پژوهش در نشخوارکنندگان

شاپا چاپی: ۴۲۶۱-۲۳۴۵
شاپا الکترونیکی: ۴۲۵۳-۲۳۴۵

بررسی جایگزینی کنجاله سویا با کنجاله کاملینا (تخمیری و غیر تخمیری) در جیره بره‌های پرواری: تأثیر بر فراسنجه‌های عملکرد رشد و تخمیر شکمبه‌ای

وحید علامه‌صدر[۱]، محمدمهدی معینی[۲*]، فردین هژبری[۲]، سمیه میرزائی چشمه‌گچی[۳]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه علوم دامی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه،ایران

[۲] (نویسنده مسئول) دانشیار گروه علوم دامی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران، رایانامه: mmoeini@razi.ac.ir

[۳] کارشناس آزمایشگاه تغذیه گروه علوم دامی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران، رایانامه: somayehmirzaei138@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۶/۲۰
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۹/۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۱۸

واژه‌های کلیدی:
اسیدهای چرب فرار
پروتوزوآ
تریکودرما
عملکرد رشد
کاملینا

چکیده

سابقه و هدف: پروتئین یکی از مهم‌ترین و پرهزینه‌ترین مواد مغذی مورداستفاده برای نشخوارکنندگان است. با توجه به محدودیت‌های ایران در تولید دانه‌های روغنی و کنجاله‌های پروتئینی، تأمین نیاز پروتئینی دام با مشکلات بسیاری همراه است. کنجاله سویا بهترین کنجاله پروتئینی است که امروزه در خوراک دام و طیور استفاده می‌شود، اما قیمت آن در مقایسه با سایر کنجاله‌ها بیشتر است. کنجاله کاملینا نیز یکی از کنجاله‌های پروتئینی است که می‌تواند گزینه مناسبی برای جایگزینی کنجاله سویا در تغذیه دام باشد. لذا، این تحقیق به‌منظور بررسی اثر جایگزینی کنجاله سویا با کنجاله کاملینا (تخمیر شده و تخمیر نشده) بر عملکرد رشد و برخی فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای بره‌های پرواری انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار آزمایشی و هشت تکرار در هر تیمار (۲۴ رأس بره) چهار تا حدود شش‌ماهه با میانگین وزن ۵±۳۴/۵ به مدت ۸۰ روز انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل جیره شاهد (کنجاله سویا)، جیره حاوی کنجاله کاملینای تخمیر شده و کنجاله کاملینای تخمیر نشده بودند. برای تخمیر کاملینا از قارچ *تریکودرما رسی* (PTCC 5142) استفاده شد. آزمون تولید گاز ۲۴ ساعته برای برآورد قابلیت هضم ماده آلی، انرژی متابولیسمی و بازده تولید توده میکروبی انجام شد. در پایان آزمایش، جهت اندازه‌گیری برخی فراسنجه‌های تخمیر شکمبه مانند pH، غلظت نیتروژن آمونیاکی، اسیدهای چرب و تعداد جمعیت پروتوزوآ، نمونه مایع شکمبه بره‌ها، از طریق سوند مری جمع‌آوری شد. در طول دوره آزمایش، مصرف خوراک روزانه، افزایش وزن روزانه بره‌ها و ضریب تبدیل خوراک اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS (۲۰۰۵) تجزیه آماری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که جایگزینی کنجاله سویا با کنجاله کاملینای تخمیری و غیر تخمیری تأثیر معنی‌داری بر فراسنجه‌های رشد و مصرف خوراک نداشت. همچنین، pHشکمبه، نیتروژن آمونیاکی، اسیدهای چرب فرار کل و جمعیت کل پروتوزوآ تحت تأثیر جایگزینی کنجاله‌ها قرار نگرفت، هرچند جمعیت انتودینیوم در گروه‌های آزمایشی حاوی کنجاله کاملینا افزایش یافت

(P<٠/٠٥). در بره‌های دریافت‌کننده کنجاله کاملینا (تخمیری و غیرتخمیری)، غلظت پروپیونات در شکمبه بیشتر و نسبت استات به پروپیونات کمتر از گروه شاهد بود (P<٠/٠٥). تفاوت آماری معنی‌داری در تولید گاز ٢٤ ساعته بین تیمارهای آزمایشی مشاهده نشد. قابلیت هضم ماده آلی، انرژی متابولیسمی برآورد شده، عامل تفکیک و بازده توده میکروبی تفاوتی در گروه‌های مختلف آزمایشی نداشتند.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش حاضر نشان داد که جایگزینی کنجاله سویا با کنجاله کاملینای تخمیری و غیر تخمیری اثرات نامطلوبی بر عملکرد رشد و ماده خشک مصرفی بره‌های پرواری نداشت و با توجه به نیاز آبی کشت و قیمت کمتر می‌تواند به‌عنوان یک منبع پروتئینی در جیره غذایی بره‌های پرواری مورداستفاده قرار گیرد.

استناد: علامه‌صدر، وحید؛ معینی، محمدمهدی؛ هژبری، فردین؛ میرزائی چشمه‌گچی، سمیه. (١٤٠٥). بررسی جایگزینی کنجاله سویا با کنجاله کاملینا (تخمیری و غیر تخمیری) در جیره بره‌های پرواری: تأثیر بر فراسنجه‌های عملکرد رشد و تخمیر شکمبه‌ای. *پژوهش در نشخوارکنندگان*، ١٤(١)، ١٧٥-١٥٩.

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

10.22069/ejrr.2025.24052.2023

مقدمه

در کشورهای توسعه‌یافته حدود ٦٥-٦٠ درصد و در کشورهای درحال‌توسعه مانند ایران، بیش از ۷۰ درصد کل هزینه‌های تولید مربوط به هزینه خوراک دام است. پروتئین یکی از مهم‌ترین و گران‌ترین مواد مغذی است. با توجه به محدودیت کشور ایران در تولید دانه‌های روغنی و کنجاله‌های پروتئینی، تأمین احتیاجات پروتئینی دام با مشکلات متعددی مواجه است. کنجاله سویا مرغوب‌ترین کنجاله پروتئینی است که امروزه در جیره دام و طیور استفاده می‌شود، اما قیمت آن در مقایسه با سایر کنجاله‌ها بالاتر است (Mahdavi و همکاران، ۲۰۱۳). از طرفی، امروزه تأمین آب یکی از مهم‌ترین مسائل استراتژیک در مناطق کم‌آبی نظیر ایران است و با توجه به مصرف بالای آب در کشت دانه سویا و کلزا ضرورت دارد تا گیاهی با مصرف آب کمتر معرفی شود (Kahrizi و همکاران، ۲۰۱۵ و Rezaei و همکاران، ۲۰۱٦). افزایش تقاضا برای دانه‌های روغنی از یک طرف و محدودیت تولید این محصول در اثر محدودیت منابع آبی، زمین، هزینه‌های رو به رشد، انرژی و بروز خشک‌سالی از سوی دیگر توجه به تولید سایر دانه‌های روغنی را موردتوجه قرار داده است (Mahdavi و همکاران، ۲۰۱۳). به‌هرحال، کاربرد منابع پروتئینی جدید به‌خصوص منابع بومی در تغذیه نشخوارکنندگان یکی از راه‌حل‌های اصلی جبران کمبود منابع پروتئینی و کاهش واردات و همچنین کاهش هزینه‌های تولید در صنعت دام و طیور است (Kahrizi و همکاران، ۲۰۱۵). مطالعاتی راجع به استفاده از کنجاله کاملینا با اهداف مختلف در تغذیه نشخوارکنندگان انجام‌شده است (Cappellozza و همکاران، ۲۰۱۲؛ Halmemies-Beauchet-Filleau و همکاران، ۲۰۱٦). این در حالی است که مطالعات اندکی (Shirnegar و همکاران، ۲۰۲۳) راجع به تغذیه کنجاله کاملینا و به‌خصوص رقم سهیل در تغذیه نشخوارکنندگان در ایران انجام‌شده است. با توجه به مطالعات انجام‌شده روی کنجاله کاملینا و وجود عوامل ضد تغذیه‌ای در این کنجاله، مطالعه کاربردی روش تخمیری کردن، برای کاهش این عوامل ضد تغذیه‌ای قابل‌بررسی می‌باشد. به‌طور طبیعی در ترکیبات گیاهی مواد ضد تغذیه‌ای (اسیدفیتیک، گوسیپول، گلوکوزینولات و غیره) وجود دارد که می‌تواند بر عملکرد دام اثر منفی داشته باشد، لذا حذف یا کاهش اثر عوامل ضد تغذیه‌ای امکان استفاده بیشتر از این مواد خوراکی در جیره غذایی دام، طیور و آبزیان را فراهم می‌کند. یکی از روش‌های فرآوری جهت کاهش ترکیبات ضد تغذیه‌ای، استفاده از فرآیند تخمیر به کمک گونه‌های قارچی یا باکتریایی است (Czerniawski، ۲۰۲۳). تخمیر حالت جامد در کنجاله کلزا منجر به کاهش قابل توجه گلوکوزینولات‌ها از ۲۱٫۱۲ به ۳٫۹۳ میکرومول در گرم ماده خشک شده است (Ashayerizadeh و همکاران، ۲۰۱۵).

تخمیر حالت جامد (SSF) یک تکنیک بیوپروسسینگ است که ترکیب مغذی چندین محصول جانبی کشاورزی و محصولات کشاورزی کم‌مصرف را بهبود می‌بخشد. در طول فرایند SSF، ضد مغذی‌ها کاتالیز می‌شوند که شامل سنتز آنزیم‌های برون‌زا همراه با استفاده از آن‌ها به‌عنوان بستر میکروبی برای رشدشان است.

کاملینا که در سال‌های اخیر موردتوجه قرارگرفته است. مهم‌ترین مزیت آن مقاومت به خشکی و سرماست. کاملینا گیاهی کم‌مصرف ازلحاظ نیاز آبی است (Gohsen و Gresh، ۲۰۱۵) که پتانسیل عملکردی بالا در آن به اثبات رسیده است (Kahrizi و همکاران، ۲۰۱۵). وجود مقادیر بالای پروتئین، انرژی و اسیدهای آمینه ضروری در کنجاله کاملینا باعث شده است که کاندیدای مطلوب و بالقوه‌ای

برای استفاده در صنعت تغذیه دام و طیور باشد (Cherian، ۲۰۱۲). پروتئین خام کنجاله کاملینا ۳۱/۱۰ درصد ماده خشک (Shirnegar و همکاران، ۲۰۲۳) تا ٤۱/۹۰ درصد ماده خشک (Paula و همکاران، ۲۰۱۹) گزارش‌شده است. از طرفی، کنجاله کاملینا در مقایسه کنجاله کانولا دارای پروتئین خام بیشتر و پروتئین غیرقابل تجزیه (RUP) مشابهی است (Colombinis و همکاران، ۲۰۱٤). در پژوهش دیگری بیان‌شده است که تغذیه کنجاله کاملینا به گاوهای شیری باعث افزایش نسبت پروپیونات و کاهش استات در مقایسه با گروه شاهد شد (Hurtaud و Peyraud، ۲۰۰۷). با توجه به مطالب بیان‌شده، هدف از این پژوهش ارزیابی اثر جایگزینی کنجاله سویا با کنجاله کاملینا (تخمیری و غیرتخمیری) بر عملکرد رشد، مصرف خوراک و فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای بره‌های پرواری است.

مواد و روش‌ها

دام‌ها و تیمارهای آزمایشی: آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار آزمایشی و هشت تکرار در هر تیمار آزمایشی (۲٤ رأس بره نر) در ایستگاه گوسفندداری پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی پس از اخذ کد اخلاق کار با حیوانات (IR.RAZI.REC.1402.72) انجام شد. دام‌های چهار تا شش‌ماهه با میانگین وزن ۳٤/۵±۵ در جایگاه‌های انفرادی با ابعاد طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۱۵۰×۱۰۰×۱۰۰ سانتی‌متر نگهداری شدند. دو هفته قبل از شروع آزمایش، بره‌ها علیه بیماری انتروتوکسیمی واکسینه شدند و میزان ۲۰ میلی‌لیتر شربت ضد انگل کلوزانتل پنج درصد به ازای هر ۱۰ کیلوگرم وزن بدن و شربت ضد انگل دامیاکاونیل (نیکلوزوماید) به ازای هر ۱۵ کیلوگرم وزن بدن (هفت تا ۱۰ میلی‌لیتر به ازای هر رأس) به بره‌ها خورانده شد. دام‌ها به مدت ۸۰ روز با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند که ۱۰ روز اول به‌عنوان دوره عادت‌پذیری به جیره‌های آزمایشی و جایگاه انفرادی و ۷۰ روز باقیمانده به‌عنوان دوره اصلی آزمایش در نظر گرفته شد. جیره‌های آزمایشی که بر اساس جداول احتیاجات غذایی نشخوارکنندگان کوچک (NRC، ۲۰۰۷) تنظیم شد، به ترتیب شامل گروه شاهد (کنجاله سویا)، تیمار حاوی کنجاله کاملینای تخمیری و تیمار حاوی کنجاله کاملینای غیرتخمیری بودند (جدول ۲). کنجاله کاملینای مورداستفاده در آزمایش حاضر، یک واریته اصلاح ژنتیکی و بومی‌سازی شده بود (رقم سهیل، لاین DH1025) که از مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم استان کرمانشاه تهیه شد. ترکیب شیمیایی کنجاله‌های پروتئینی و همچنین جیره‌های آزمایشی با استفاده از روش استاندارد تعیین شد (AOAC، ۲۰۰۵). انرژی قابل سوخت‌وساز کنجاله کاملینا با استفاده از آزمون تولید گاز تعیین شد (Menke و Steingass، ۱۹۸۸). ترکیب شیمیایی کنجاله‌های پروتئینی در جدول ۱ ارائه‌شده است. نسبت علوفه به کنسانتره ۳۰ به ۷۰ در نظر گرفته شد. اقلام خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی در جدول ۲ ارائه‌شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی کنجاله‌های مورداستفاده در جیره‌های آزمایشی (درصد ماده خشک)

Table 1: Chemical composition of the meals used in the experimental diets (% DM)

کنجاله پروتئینی Protein meal	ماده خشک Dry matter	خاکستر Ash	پروتئین خام Crude protein	چربی خام Ether extract	الیاف نامحلول در شوینده خنثی NDF	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF
کنجاله سویا Soybean meal	90.15	6.03	42.12	14.73	23.35	12.35
کنجاله کاملینا تخمیری Fermented camelina meal	93.45	5.91	31.14	25.22	27.25	13.35
کنجاله کاملینا Camelina meal	94.46	5.73	30.95	24.76	26.13	14.45

جدول ۲- مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره‌های مورد آزمایش

Table 2- Feed ingredients and chemical composition of the experimental diets

اجزای جیره	Ingredients	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments		
		شاهد Control	کنجاله کاملینای تخمیری Fermented camelina meal	کنجاله کاملینا Camelina meal
کاه گندم	Wheat straw	10.00	10.00	10.00
یونجه	Alfalfa hay	20.00	20.00	20.00
جو	Barley grain	34.00	25.50	25.50
ذرت	Corn grain	20.00	26.50	26.50
کنجاله سویا	Soybean meal	13.50	0.00	0.00
کنجاله کاملینا تخمیری	Fermented camelina	0.00	15.50	0.00
کنجاله کاملینا غیر تخمیری	Non-fermented camelina	0.00	0.00	15.50
مکمل معدنی و ویتامینی	Min-Vit mixture	2.00	2.00	2.00
دی کلسیم فسفات	DCP	0.30	0.30	0.30
نمک	Salt	0.20	0.20	0.20
ترکیب شیمیایی (درصد ماده خشک)	Chemical Composition (% DM)			
ماده خشک (درصد)	Dry Matter	92.50	91.70	92.20
خاکستر	Ash	8.52	7.65	7.76
پروتئین خام	Crude Protein	14.28	14.52	14.43
چربی خام	Ether Extract	3.71	3.82	3.79
کربوهیدرات‌های غیر الیافی	NFC	39.61	38.73	37.24
الیاف نامحلول در شوینده خنثی	NDF	32.60	28.40	28.60
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی	ADF	21.90	20.30	20.10
انرژی سوخت و ساز[۱] (مگاکالری در کیلوگرم)	ME (Mcal/kg)	2.71	2.68	2.66

[۱] محاسبه شده بر اساس جداول (NRC، ۲۰۰۷)

[1] Calculated based on NRC (2007) tables

تهیه و کشت قارچ: قارچ *تریکودرما رسی* (*Trichoderma reesei*) با شماره (PTCC 5142) ATCC13631 به شکل ویال لیوفیلیزه از مرکز کلکسیون قارچ و باکتری سازمان پژوهش‌های علمی

و صنعتی ایران (IROST) خریداری شد. قارچ *تریکودرمارسی* در شرایط استریل در پلیت‌های حاوی محیط کشت PDA کشت داده شد. سپس پلیت‌ها در انکوباتور به مدت ١٥ روز، در دمای ٢٥ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا قارچ‌های مذکور رشد و اسپور تولید کردند. سپس به هر کیلوگرم از کنجاله کاملینا، ١/٢ لیتر از ترکیب آب مقطر و کشت آغازگر (حاوی حداقل $١٠^{٥}$ واحد تشکیل کلنی در میلی‌لیتر) اضافه شد. سپس بعد از چند روز، مخلوط حاصل در مخازن مجهز به سوپاپ یک‌طرفه و تهویه کنترل‌شده نگهداری شد تا گازها خارج‌شده و اکسیژن موردنیاز رشد قارچ تأمین گردد. به مدت هفت روز در دمای ٣٠ درجه سانتی‌گراد تخمیر شد. سپس کنجاله کاملینا تخمیر شده به مدت سه روز در دمای ٥٠ درجه سانتی‌گراد خشک شد (Zhang و همکاران، ٢٠٠٧). در دوره اصلی آزمایش، روزانه خوراک مصرفی دام‌ها کنترل شد. جیره‌های آزمایشی به‌صورت کاملاً مخلوط در دو نوبت ٨:٠٠ و ١٦:٠٠ در اختیار بره‌ها قرار گرفت. هر روز صبح قبل از خوراک‌دهی وعده صبح، پسمانده خوراک هر آخور جمع‌آوری و سپس خوراک تازه در آخور قرار گرفت. همه بره‌ها همواره به آب تازه دسترسی داشتند. جهت بررسی افزایش وزن روزانه، بره‌ها هر دو هفته یک‌بار توزین شدند. جهت دقت بیشتر وزن‌کشی، توزین بره‌ها در دو روز متوالی انجام و سپس میانگین وزن دو روز به‌عنوان وزن آن دوره ثبت شد.

آزمون تولید گاز و تعیین برخی فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای: شیرابه شکمبه از دو رأس گوسفند سنجابی فیستولا شده و قبل از غذا دادن وعده صبح جمع‌آوری و با رعایت شرایط بی‌هوازی و حفظ دما (داخل فلاسک ٣٩ درجه سانتی‌گراد) فوراً به آزمایشگاه انتقال و به‌وسیله دولایه پارچه، شیرابه صاف شد و هم‌زمان مقداری دی‌اکسید کربن برای حفظ شرایط بی‌هوازی داخل آن تزریق شد. آزمون تولید گاز ٢٤ ساعته بر اساس روش توصیه‌شده (Menke و Steingass، ١٩٨٨) انجام شد. این آزمایش با سه تیمار و هر تیمار در سه تکرار به‌علاوه سه تکرار بلانک که در مجموع ١٢ نمونه آزمایشی، انجام شد. مقدار ٥٠٠ میلی‌گرم از جیره پایه از هر تیمار به همراه ٤٠ میلی‌لیتر مایع شکمبه مخلوط شده با بزاق مصنوعی به نسبت ١ به ٢ در داخل شیشه‌های مقاوم در برابر فشار (با گنجایش ١٠٠ میلی‌لیتر) ریخته شد و در دستگاه انکوباتور با دمای ٣٩ درجه سانتی‌گراد انکوباسیون شدند. پس از ٢٤ ساعت فشار تولیدشده با استفاده از فشارسنج (Testo, Germany) ثبت شد. اطلاعات مربوط به گاز (فشارگاز) تولیدشده با توجه به موقعیت جغرافیایی شهر کرمانشاه، به حجم تبدیل شد (Lopez و همکاران،٢٠٠٧).

در انتهای دوره پروار، جهت تعیین فراسنجه‌های شکمبه‌ای شامل pH، غلظت نیتروژن آمونیاکی، اسیدهای چرب فرار و شمارش جمعیت پروتوزوآ، با استفاده از لوله مری از مایع شکمبه بره‌ها نمونه‌برداری شد. به‌منظور حصول اطمینان از عدم مخلوط شدن بزاق بره‌ها با مایع شکمبه، ١٠٠ میلی‌لیتر اولیه مایع شکمبه حذف و دومین نمونه مایع شکمبه با استفاده از پارچه پنیر چهار لایه صاف شد (Rahmati Zadeh و همکاران، ٢٠٢٣). اسیدیته محتویات شکمبه بلافاصله با دستگاه pH متر (سویس، مدل ٧٤٤، Metrohm) اندازه‌گیری شد. برای تعیین اسیدهای چرب فرار به ازای هر ١/٢ میلی‌لیتر مایع شکمبه، ٠/٣ میلی‌لیتر متافسفریک اسید ٢٥ درصد به نمونه مایع صاف شده اضافه شد و تا زمان آنالیز در فریزر با دمای ٢٠- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. به هنگام تعیین اسیدهای چرب فرار مایع شکمبه، پس از یخ گشایی نمونه‌ها در دمای اتاق، به مدت ١٥ دقیقه با دور ١٥٠٠٠×g و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد

سانتریفیوژ شدند و سپس مایع به‌وسیله سرنگ همیلتون به داخل دستگاه گاز کروماتوگرافی (Chrompack CP, 9002) تزریق شد. ستون دستگاه (1000,54/Carboxen TM 60) دارای طول ۱۲۲ سانتی‌متر و قطر ۱/۸ میلی‌متر بود. جریان گازهای نیتروژن، هیدروژن و هوا به داخل ستون به ترتیب ۳۰، ۳۰ و ۳۲۰ میلی‌لیتر در دقیقه بود. از اتیل بوتیریک اسید به‌عنوان استاندارد داخلی جهت تزریق به دستگاه گاز کروماتوگرافی استفاده شد. برای بررسی غلظت نیتروژن آمونیاکی مایع شکمبه، ابتدا مقدار پنج میلی‌لیتر مایع شکمبه با پنج میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۰/۲ نرمال کاملاً مخلوط و تا زمان آزمایش به فریزر با دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شد. غلظت نیتروژن آمونیاکی مایع شکمبه بر اساس روش فنل- هیپوکلرایت تعیین شد (Broderick و Kang، ۱۹۸۰). جمعیت پروتوزوآیی بر اساس روش Dehority (۲۰۰۳) و با استفاده از میکروسکوپ نوری و لنز X10 شمارش شد. گوارش‌پذیری ماده آلی با استفاده روش توصیه‌شده (Menke و همکاران،۱۹۷۹) و رابطه زیر تعیین شد.

رابطه ۱)

$$OMD = ١٤/٨٨ + ٠/٨٨٩٣GP + ٠/٠٤٤٨XP + ٠/٠٦٥١XA$$

در این رابطه OMD، گوارش‌پذیری ماده آلی؛ GP، حجم گاز تولیدی تصحیح‌شده در مدت ٢٤ ساعت (ml/ 200 mg of DM)؛ XP، پروتئین خام (g/Kg DM)؛ XA، خاکستر خام (g/Kg DM) می‌باشد.

انرژی قابل متابولیسم نمونه‌ها از طریق رابطه زیر برآورد شد (Menke و همکاران، ۱۹۸۸).

رابطه ۲)

$$ME = ١/٢٤٢ + ٠/١٤٦GP + ٠/٠٠٧XP + ٠/٠٢٢٤XL$$

در این رابطه، ME، انرژی قابل متابولیسم (مگاژول در کیلوگرم ماده خشک)؛ GP، حجم گاز تولیدی (ml/ 200mg DM in 24h)؛ XP، پروتئین خام (g/ Kg DM) و XL چربی خام می‌باشد.

میزان پروتئین میکروبی تولیدشده از نمونه‌های انکوبه شده از طریق رابطه زیر برآورد شد (Makkar، ۲۰۰۰).

رابطه ۳)

$$MCP = OMD - (GP \times 2.34)$$

در این رابطه، MCP ، پروتئین میکروبی تولیدشده (میلی‌گرم در گرم ماده خشک)؛ GP، مقدار گاز تولیدشده در ٢٤ ساعت (میلی‌لیتر در ۵۰۰ گرم ماده خشک) و ۲/۳۲، فاکتور استیوکیومتری برای ماده خوراکی است.

برای محاسبه بازده تولید توده میکروبی از معادله زیر استفاده شد (Blummel، ۲۰۰۰).

رابطه ٤)

$$\text{راندمان تولید توده میکروبی} = \frac{(\text{گاز تولیدی} \times 2.2) - \text{ماده آلی هضم شده واقعی}}{\text{ماده آلی هضم‌شده واقعی}}$$

میزان ضریب تفکیک (Partitioning Factor) با تقسیم وزن مقدار ماده خشک تجزیه شده (بعد از هضم در محلول شوینده خنثی) بر مقدار گاز تولید شده بعد از ٢٤ ساعت به دست آمد (Blummel و همکاران، ۱۹۹۷).

مدل آماری تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد، فراسنجه‌های شکمبه‌ای و جمعیت پروتوزوآیی با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS(۲۰۰۵) ویرایش ۹ و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح معنی‌داری پنج درصد انجام شد. مدل آماری به‌صورت رابطه ۵ بود.

رابطه ۵)

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

در این مدل، T_i، μ، Y_{ij} و e_{ij} به ترتیب صفت مشاهده‌شده، میانگین کل، اثر ثابت تیمار آزمایشی iام و اثر خطای آزمایشی بود.

نتایج و بحث

همان‌گونه که در جدول ۳ نشان داده‌شده است، جیره‌های غذایی حاوی سطوح مختلف کنجاله کاملینای تخمیری و غیرتخمیری در مقایسه با گروه شاهد تأثیر معنی‌داری بر وزن نهایی بدن، میانگین افزایش وزن روزانه، مصرف ماده خشک و ضریب تبدیل خوراک نداشتند. در این مطالعه اختلاف معنی‌داری بین تیمارها ازنظر عملکرد رشد و مصرف خوراک مشاهده نشد و ضریب تبدیل خوراک نیز در گروه‌های آزمایشی تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. مشابه این نتایج، گزارش‌شده است که جایگزینی ۳۳، ٦۷ و ۱۰۰ درصدی کنجاله سویا با کنجاله کاملینا در جیره بره‌های نر پرواری تأثیری بر وزن نهایی و افزایش وزن روزانه نداشت، هرچند میزان مصرف خوراک مقداری کاهش یافت (Shirnegar و همکاران، ۲۰۲۳). هرچند، در مطالعه حاضر جایگزینی کامل کنجاله سویا با کنجاله کاملینا (تخمیری یا غیرتخمیری) تغییری در مصرف ماده خشک بره‌ها ایجاد نکرد. در مطالعه‌ای دیگر جیره‌های غذایی با جایگزینی ۵ و ۱۰ درصدی کنجاله سویا با کنجاله کاملینا تأثیری بر وزن نهایی بدن، میانگین افزایش وزن روزانه، مصرف ماده خشک و الیاف نامحلول در شوینده خنثی نداشتند (Nazari و همکاران، ۲۰۲۲).

نتایج مطالعات حاضر و این محققین نشان می‌دهد که جایگزینی کنجاله سویا با کنجاله کاملینا تأثیر نامطلوبی بر فراسنجه‌های عملکردی بره‌ها نداشته است. همچنین نتایج ما تأثیر مثبتی از تخمیر کنجاله کاملینا بر عملکرد دام به‌خصوص افزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل خوراک را نشان نداد. ولی مقایسه مصرف خوراک در این مطالعه احتمالا می‌تواند به دلیل حضور گلوکوزینولات در کنجاله کاملینا باشد.

بر اساس گزارش‌های متعدد، فرآیند تخمیر می‌تواند به‌طور معنی‌داری باعث کاهش این ترکیبات در کنجاله کاملینا و سایر کنجاله‌های روغنی شود (Ashayerizadeh و همکاران، ۲۰۱۵؛ Piravi Vannak و همکاران،۲۰۲۳). به عنوان مثال کاهش گلوکوزینولات‌های کل بین ۱٦تا ۲٦ میکرومول بر گرم و یا بین ۳۰ تا ۳۵ میکرومول بر گرم مشاهده شده است (Czerniawski و همکاران، ۲۰۲۱). این اختلاف ممکن است ناشی از تفاوت در منابع کنجاله کاملینا و شرایط فرآوری باشد. ازاین‌رو، بهبود در وضعیت متابولیت‌های خونی و شکمبه‌ای بره‌ها در تیمارهای حاوی کنجاله کاملینای تخمیری، احتمالاً ناشی از کاهش ترکیبات ضدتغذیه‌ای و افزایش قابلیت هضم و دسترسی مواد مغذی است. بررسی دقیق تغییرات این ترکیبات در مطالعات بعدی می‌تواند ارتباط میان ویژگی‌های شیمیایی کنجاله و پاسخ‌های فیزیولوژیک دام را شفاف‌تر کند. لذا به نظر می‌رسد بهبود در وضعیت متابولیت‌های خونی و شکمبه‌ای بره‌ها در تیمارهای حاوی کنجاله کاملینای تخمیری، احتمالاً ناشی از کاهش ترکیبات ضدتغذیه‌ای و افزایش قابلیت هضم و دسترسی مواد مغذی باشد.

اثر تیمارهای آزمایشی بر برخی فراسنجه های تخمیر شکمبه‌ای در جدول ٤ نشان داده شده است. در فراسنجه‌های تولید گاز آزمایشگاهی تفاوت آماری معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. اختلاف معنی‌داری بین تیمارها آزمایشی از لحاظ قابلیت هضم ماده آلی، انرژی متابولیسمی، عامل تفکیک و بازده تولید میکروبی مشاهده نشد.

جدول۳. اثر تیمارهای آزمایشی بر فراسنجه‌های عملکرد بره‌های پرواری

Table 3. The effect of different treatments on the growth performance in fattening lambs

فراسنجه‌های رشد Growth Parameters	تیمارها Treatments			شاخص آماری Statistical index	
	شاهد Control	کاملینای تخمیری Fermented camelina meal	کنجاله کاملینا Camelina meal	SEM	P Value
وزن آغازین بدن (کیلوگرم) Initial Body Weight (kg)	35.26	35.13	35.02	0.87	0.99
وزن پایانی بدن (کیلوگرم) Final Body Weight (kg)	54.76	54.25	54.30	0.84	0.95
میانگین افزایش وزن روزانه(گرم در روز) Average Daily Gain (g/day)	278.57	273.03	273.94	3.57	0.80
ماده خشک مصرفی (کیلوگرم در روز) Dry Matter Intake (kg/day)	1.68	1.65	1.63	0.12	0.23
ضریب تبدیل خوراک Feed Conversion Ratio	6.08	6.07	5.92	0.09	0.86

حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح (P<۰/۰۵) است.

SEM: خطای استاندارد میانگین

Different letters in a row indicate significant differences at the level of P<0.05.
SEM: Standard Error of the Mean

جدول ٤- اثر تیمارهای مختلف بر فراسنجه‌های تخمیر شکمبه.(روش تولید گاز)

Table 4- The effect of different treatments on rumen fermentation parameters (gas production method)

فراسنجه‌های تخمیر Fermentation parameters	**تیمارها** Treatments			شاخص آماری Statistical index	
	شاهد Control	کاملینای تخمیری Fermented camelina meal	کنجاله کاملینا Camelina meal	SEM	P Value
گاز ٢٤ ساعته (میلی‌لیتر بر گرم ماده خشک) 24-hour gas (ml/g DM)	50.39	54.82	53.58	1.14	0.27
قابلیت هضم ماده آلی (٪) Organic matter digestibility (%)	63.69	67.98	66.69	1.08	0.29
قابلیت هضم ماده آلی (mg) Organic matter digestibility (mg)	318.48	339.42	333.49	5.40	0.21
انرژی متابولیسمی (MJ/kg DM) Metabolic energy (MJ/kg DM)	8.77	9.43	9.25	0.16	0.28
عامل تفکیک (mg/ml) Partitioning factor (mg/ml)	9.56	10.21	10.03	0.16	0.27
توده میکروبی (mg) Microbial mass (mg)	193.30	202.97	200.13	2.54	0.31
بازده تولید توده میکروبی (٪) Microbial mass production efficiency (%)	60.69	60.02	59.83	0.20	0.19

حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح (P<۰/۰۵) است.

SEM: خطای استاندارد میانگین

Different letters in a row indicate significant differences at the level of P<0.05.
SEM: Standard Error of the Mean

فراسنجه‌های شکمبه‌ای شامل pH، غلظت آمونیاک و اسیدهای چرب فرار و شمارش جمعیت پروتوزوآ در جدول ۵ آورده شده است. شاخص pH، غلظت نیتروژن آمونیاکی و کل اسیدهای چرب فرار تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت. در بره‌های دریافت‌کننده کنجاله‌های کاملینای تخمیری و غیر تخمیری غلظت پروپیونات بیشتر از گروه شاهد و نسبت استات به پروپیونات کمتر بود ($P<۰/۰۵$). غلظت‌های سایر اسیدهای چرب فرار تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۵).

در مطالعه حاضر، pH شکمبه بره‌ها تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت. شاخص pH شکمبه به تولید بزاق، تولید و جذب اسیدهای چرب کوتاه زنجیره، نوع و سطح خوراک مصرفی وابسته است (Aschenbach و همکاران، ۲۰۱۱) و دائم تغییر می‌کند (Russell و Strobel، ۱۹۸۹)، اما معمولاً در دامنه ٦/۱ تا ۷/۱ باقی می‌ماند (Van Soest، ۱۹۸۲). مطابق با نتایج پژوهش حاضر، جایگزینی کنجاله سویا با کنجاله کاملینا در جیره بره‌های پرواری (Shirnegar و همکاران، ۲۰۲۳؛ Nazari و همکاران، ۲۰۲۲) و گاوهای شیری تغذیه‌شده با دانه کاملینا (Martin و همکاران، ۲۰۱٦)، تأثیری بر pH شکمبه نداشت. همچنین در یک پژوهش، انکوباسیون دانه کاملینا در محیط کشت حاوی شیرابه شکمبه گاو، تأثیری بر pH شکمبه در بین تیمارهای آزمایشی مشاهده نشد(Brandao و همکاران، ۲۰۱۸). در کل به نظر می‌رسد که تغذیه دانه‌های روغنی یا کنجاله‌های آن‌ها، تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر pH شکمبه نداشته است.

علی‌رغم اینکه تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای کنجاله کاملینا بیشتر از کنجاله سویا (۷٦ در مقایسه با ۵۸ درصد) گزارش‌شده است (Lawrence و همکاران، ۲۰۱٦)، این انتظار می‌رفت که غلظت نیتروژن آمونیاکی در جیره‌های حاوی کنجاله کاملینا (تیمارهای ۱ و ۲) بیشتر از جیره حاوی کنجاله سویا (گروه شاهد) باشد، در صورتی‌که فقط از لحاظ عددی در تیمار ۲ بالاتر بود. این تفاوت در غلظت نیتروژن آمونیاکی در گزارش Shirnegar و همکاران (۲۰۲۳) با جایگزینی کنجاله سویا با کنجاله کاملینا در سطوح ۳۳ و ٦۷ درصد جیره بره‌های پرواری مشاهده می‌شود. همچنین، انکوباسیون جیره‌های حاوی ٦۰ درصد علوفه و ٤۰ درصد کنسانتره محتوی دانه کاملینا سبب افزایش غلظت نیتروژن آمونیاکی نسبت به گروه شاهد شد (Wang و همکاران، ۲۰۱۷).

مشابه نتایج تحقیق حاضر، جایگزینی کنجاله سویا با کنجاله کاملینا در سطوح ۳۳، ٦۷ و ۱۰۰ درصد جیره بره‌های پرواری تغییر معنی‌داری در غلظت کل اسیدهای چرب فرار شکمبه نداشت (Shirnegar و همکاران، ۲۰۲۳). هر چند در مطالعه حاضر، غلظت پروپیونات نسبت به سایر اسیدهای چرب فرار افزایش معنی‌داری در جیره‌های حاوی کنجاله کاملینا داشت. افزایش غلظت پروپیونات در جیره‌های حاوی کنجاله کاملینا احتمالاً به دلیل غلظت بیشتر اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه در کنجاله مذکور در مقایسه با کنجاله سویا می‌باشد که تخمیر شکمبه را به سمت تولید پروپیونات بیشتر و کاهش تولید استات و بوتیرات متمایل کرده است (Ueda و همکاران، ۲۰۰۳؛ Hurtaud و Peyraud؛ ۲۰۰۷؛ Shingfield و همکاران، ۲۰۰۸). چنین روندی ممکن است مرتبط با آثار سمی اسیدهای چرب لینولئیک و لینولنیک روی باکتری‌های تجزیه‌کننده سلولز شکمبه نیز باشد (Maia و همکاران، ۲۰۰۷؛ Yang و همکاران، ۲۰۰۹). غلظت اسیدهای چرب اولئیک، لینولئیک و لینولنیک در کنجاله کاملینا به ترتیب ۱۹/۹، ۲۸/۵ و ٤۱/۳ درصد از کل چربی خام را تشکیل می‌دهند (Hurtaud و Peyraud، ۲۰۰۷).

جدول۵- اثر تیمارهای مختلف بر فراسنجه‌های تخمیر شکمبه

Table 5- The effect of different treatments on rumen fermentation parameters

فراسنجه‌های تخمیر Fermentation Parameters	تیمارها Treatments			شاخص آماری Statistical index	
	شاهد Control	کاملینای تخمیری Fermented camelina meal	کنجاله کاملینا Camelina meal	SEM	P Value
pH	6.35	6.38	6.36	0.005	0.25
نیتروژن آمونیاکی (میلی‌گرم در لیتر) NH_3-N(mg/L)	89.92	89.69	94.51	3.15	0.82
اسیدهای چرب فرار کل (میلی‌مول در لیتر) Total volatile fatty acids (mmol/L)	96.20	97.25	97.15	0.43	0.15
Acetate استات	57.89	57.21	56.47	0.58	0.16
Propionate پروپیونات	23.31^{b}	25.12^{a}	25.80^{a}	0.43	0.002
Butyrate بوتیرات	11.48	11.30	11.26	0.12	0.59
Iso-butyrate ایزوبوتیرات	1.23	1.43	1.34	0.04	0.28
Valerate والرات	1.25	1.18	1.27	0.03	0.19
Iso-valerate ایزووالرات	1.07	1.02	1.01	0.02	0.53
Acetate / Propionate استات / پروپیونات	2.48^{a}	2.28^{b}	2.19^{b}	0.10	0.001

^{a,b} حروف متفاوت در ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح (P<۰/۰۵) است.

SEM: خطای استاندارد میانگین

^{a,b}Different letters in row indicate a significant difference at the level of ($P < 0.05$)

SEM: Standard Error of Mean

اما این مقادیر در کنجاله سویا به ترتیب ۱۵/۱، ۵۴ و ۹/۷ درصد گزارش‌شده است (Lopes و همکاران، ۲۰۱۷). از طرفی تغذیه کاملینا باعث کاهش جمعیت باکتری‌های *رومینوکوکس آلبوس* و *بوتیرو ویبریو فابری سالونس* در شکمبه شده است و این در حالی است که این باکتری‌ها در تولید استات و بوتیرات نقش به‌سزایی دارند(Bergman، ۱۹۹۰). همچنین، تغذیه کنجاله کاملینا به گاوهای شیری باعث افزایش نسبت پروپیونات و کاهش استات در مقایسه با گروه شاهد شد (Hurtaud و Peyraud، ۲۰۰۷؛ Lawrence و همکاران، ۲۰۱۶). در مطالعات آزمایشگاهی به‌منظور مقایسه ویژگی‌های تخمیری کنجاله سویا و کنجاله کاملینا، سطوح استات و کل اسیدهای چرب فرار در کنجاله سویا بالاتر گزارش‌شده است (Sizmaz و همکاران، ۲۰۲۱). لذا با توجه به نتایج این محققین، کاهش غلظت استات و افزایش غلظت پروپیونات به دنبال جایگزینی کنجاله سویا با کنجاله کاملینا در جیره، دور از انتظار نبود.

اثر تیمارهای آزمایشی بر جمعیت پروتوزوآی شکمبه در جدول ٦ نشان داده‌شده است. جمعیت انتودینیوم در جیره‌های حاوی کاملینای غیر تخمیری (P<۰/۰۵) و تخمیری (P>۰/۰۵) بیشتر از گروه شاهد بود. جمعیت دیپلودینیوم، افریواسکالکس، ایزوترشیده و داسی‌تریشیده تحت تأثیر جیره‌های آزمایشی قرار نگرفت. مطالعات چندانی در مورد اثر کنجاله کاملینا روی جمعیت پروتوزوآیی شکمبه گزارش نشده است، با این حال در مطالعه Shirnegar و همکاران (۲۰۲۳)، با افزایش میزان جایگزینی کنجاله سویا با کنجاله کاملینا در جیره، جمعیت کل پروتوزوآ و جنس انتودینیوم کاهش یافت، ولی موافق نتایج ما، تغییری در جمعیت‌های سایر پروتوزوآ مشاهده نشد. همچنین گزارش‌شده است که حضور اسیدهای چرب ۱۸:۲ و

۱۸:۳ در روغن کاملینا اثرات سمی بر پروتوزوآی مژکدار و باکتری‌های سلولایتیک داشت (Jenkins و همکاران، ۲۰۰۸). ترکیب اسیدهای چرب کاملینا بیشتر مشابه با اسیدهای چرب موجود در گیاه کتان است (Halmemies-Beauchet-Filleau و همکاران، ۲۰۱۷)؛ بنابراین احتمال می‌رود اثرات کتان و کاملینا از لحاظ نوع اثر بر اکولوژی میکروبی شکمبه شبیه به هم باشد. جمعیت پروتوزوآ و باکتری‌ها با هضم الیاف و تولید هیدروژن در شکمبه مرتبط می‌باشد و از این رو وجود اسیدهای چرب اشباع نشده چندگانه در جیره (نظیر گیاه روغنی کاملینا) می‌تواند بر جمعیت پروتوزوآیی و باکتریایی شکمبه اثر گذاشته و تولید متان در شکمبه را مهار کند (Martin و همکاران، ۲۰۱۰).

جدول ٦- اثر تیمارهای مختلف بر جمعیت پروتوزوآی شکمبه بره‌های پرواری در طول دوره آزمایشی ($N\times10^4$ در میلی‌لیتر)

Table 6- The effect of different treatments on the rumen protozoan population in fattening lambs during the experiment ($N\times10^4$ ml)

جمعیت پروتوزوآیی Protozoan population	Treatments تیمارها			شاخص آماری	Statistical index
	شاهد Control	کاملینای تخمیری Fermented camelina meal	کنجاله کاملینا Camelina meal	SEM	P Value
کل جمعیت پروتوزآ Total Protozoa count	125.00	193.33	156.67	15.59	0.21
انتودینیوم Entodinium	45.00^{b}	111.67^{a}	71.67^{ab}	12.74	0.07
دیپلودینیوم Diplodinium	6.66	11.66	6.66	3.76	0.75
افریواسکالکس Ophryoscolex	6.66	6.66	5.00	1.82	0.93
ایزوتریشه Isotricha	20.00	11.66	10.00	2.46	0.22
داسی تریشه Dasytricha	46.66	51.66	63.33	3.41	0.11

a,b حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ($P<۰/۰۵$) است.

SEM: خطای استاندارد میانگین

a,b Different letters in each row indicate a significant difference at the level of ($P < 0.05$)
SEM: Standard Error of Mean

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که جایگزینی کنجاله سویا با کنجاله کاملینای تخمیری و غیر تخمیری اختلاف معنی‌دار و اثرات نامطلوبی بر عملکرد رشد و ماده خشک مصرفی بره‌های پرواری نداشت و با توجه به نیاز آبی و قیمت کمتر، کاملینا می‌تواند به عنوان یک منبع پروتئینی در جیره غذایی بره‌های پرواری مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

AOAC (2005). *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC. USA.

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

Ashayerizadeh, A., Ganji, F., Dasta, B. & Fallah, M. (2015). Effect of Aspergillus oryzae fermented soybean meal and dietary protein level on yield and microbial population of broiler chicks. *Journal of Animal Science* (Research and Development), 109:55-66.

Ashayerizadeh, A., Dastar, B., Shamsshargh, M., Sadeghimahoonak, A. R., & Zerehdaran, S. (2015). Reducingof glucosinolates in rapeseed meal by solid state fermentation and its effects on performance and gastrointestinal microflora population of broiler chickens. *Animal science Journal*, 29 *(*110): 3-16. https://doi.org/10.22092/asj.2016.106516 (In Persian)

Bergman, E. N. (1990). Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiological Review*, 70(2): 567-590. https://doi.org/10.1152/physrev.1990.70.2.567

Blummel, M., (2000). Predicting the partitioning of fermentation products by combined *in vitro* gas volume-substrate degradability measurements: Opportunities and Limitations. In: Gas production: Fermentation Kinetics for feed evaluation and to assess microbial activity. *British Society of Animal Science*, Penicuik, Midlothian pp. 48.

Blummel, M., Steingass, H. & Becker, K. (1997). The relationship between *in vitro* gas production, *in vitro* microbial biomass yield and 15N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. *British Journal of Nutrition*, 77 (6):911-921. https://doi.org/10.1079/BJN19970089

Brandao, V. L. N., Dai, X., Paula, E. M., Silva, L. G. Marcondes, M. I., Shenkoru, T. & Faciola, A. P. (2018). Effect of replacing calcium salts of palm oil with camelina seed at 2 dietary ether extract levels on digestion, ruminal fermentation, and nutrient flow in a dual-flow continuous culture system. *Journal of Dairy Science*, 101(6): 5046-5059. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13558

Broderick, G. & 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(1): 64-75. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)82888-8

Cappellozza, B. I., Cooke, R. F., Bohnert, D. W., Cherian, G. & Carroll, J. A. (2012). Effects of camelina meal supplementation on ruminal forage degradability, performance, and physiological responses of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 90(11): 4042-4054. https://doi.org/10.2527/jas.2011-4664

Cherian, G. (2012). *Camelina sativa* in poultry diets: opportunities and challenges. Biofuel co-products as livestock feed: opportunities and challenges. Rome: FAO, pp.303-310.

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 Science and Food Agriculture*, 94(4): 736-743. https://doi.org/10.1002/jsfa.6408

Czerniawski, P., Piasecka, A., & Bednarek, P. (2021). Evolutionary changes in the glucosinolate biosynthetic capacity in species representing *Capsella*, *Camelina* and *Neslia genera*. *Phytochemistry*, *181*, 112571. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2020.112571

Dehority, B.A .(2003). Rumen Microbiology. British Library Cataloguing in Publication Data. First published.

Halmemies-Beauchet-Filleau, A., Shingfield, K. J., Simpura, I., Kokkonen, T. Jaakkola, S. Toivonen, V. &Vanhatalo, A. (2017). Effect of incremental amounts of camelina oil on milk fatty acid composition in lactating cows fed diets based on a mixture of grass and red clover silage and concentrates containing Camelina expeller. *Journal Of Dairy Science*, 100, 305–324. https://doi.org/10.3168/jds.2016-11438

Hurtaud, C., & Peyraud, J. L. (2007). Effects of feeding camelina (seeds or meal) on milk fatty acid composition and butter spreadability. *Journal of Dairy Science*, 90:5134–5145. https://doi.org/10.3168/jds.2007-0031

Jenkins, T. C., Wallace, R. J., Moate, P. J., & Mosley, E. E. (2008). Resent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. *Journal of Animal Science*, 86, 397-412. https://doi.org/10.2527/jas.2007-0588

Kahrizi, D., Rostami, H., & Akbarabadi, A. (2015). Feasibility cultivation of camelina (*Camelina sativa*) as medicinal-oil plant in rain fed condition in Kermanshah-Iran's first report. *Journal of Medicinal Plant and By-Products*, 2, 215-218. https://doi.org/10.22092/JMPB.2015.108911.

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(8): 6215-6228. https://doi.org/10.3168/jds.2016-10876

Lopes, J. C., Harper, M. T., Giallongo F., Oh, J., Smith, L., Ortega-Perez, A. M., Harper, S. A., Melgar, A., Kniffen D. M., Fabin R. A&Hristov A. N. (2017). Effect of high-oleic-acid soybeans on production performance, milk fatty acid composition, and enteric methane emission in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(2): 1132-1135. https://doi.org/10.3168/jds.2016-11911

Mahdavi Kalatenu, M., Torbatinejad, N. M., Zerehdaran, S., Moslemipour, F. & Samiei, R. (2013). Utilize of guar meal instead common oil seeds meal in nutrition of Mazandaran male Zel fattening lambs. MSc Thesis, *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*, Gorgan, Iran. (In Persian).

Maia, M. R. G., Chaudhary, L. C., Figueres, L. & Wallace, R. J. (2007). Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 91(4): 303-314.

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 Extranutritional Attributes in Ruminants: *Nuclear and Related Methodologies*. IAEA, Dordrecht, the Netherlands, pp. 107–144.

Martin, C., Ferlay, A., Mosoni, P., Rochette, Y., Chilliard, Y. & Doreau, M. (2016). Increasing linseed supply in dairy cow diets based on hay or corn silage: Effect on enteric methane emission, rumen microbial fermentation, and digestion. *Journal of Dairy Science*, 99(5): 3445-3456. https://doi.org/10.3168/jds.2015-10110

Martin, C., Morgavi, D. P. & Doreau, M. (2010). Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal*, 4, 351-365. https://doi.org/10.1017/S1751731109990620

Menke, K. H. , Rabb, L., Saleweski, A., Steingass, H., Fritz, D., & Schnider, W. (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feed stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *Jornual Agriculture Science*. 93: 217-222. https://doi.org/10.1017/S0021859600086305

Menke, K. H. & Steingass, H. (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research Development*, 28, 7- 55.

National Research Council (2007). *Nutrient Requirements of Small Ruminants*: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. Washington (DC, USA): *National Academy of Sciences*.

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. https://doi.org/10.22124/AR.2022.21052.1661 (In Persian).

Paula, E. M., Silva, L. G., Brandao, V. L. N., Dai, X. & Faciola, A. P. (2019). Feeding canola, camelina and carinata meals to ruminants. *Animal*, 9(10): 704-718. https://doi.org/10.3390/ani9100704

Piravi-vannak, Z., Shahrokhi Nezhad., M., &. Rashidi Nodeh, H. (2023). Study of physicochemical properties and nutritional and anti-nutritive compounds of camelina (*Camelina sativa*) meal (Soheyl) with unique methods.4th International Food Science and Technology Congress 2-3 may 2023. Iranian Research Organization for Science and Technology.

Rahmati Zaed, M., Hozhabri, F. & Kafilzadeh, F. (2023). The effect of adding a mixture of peppermint, thyme and rosemary essential oils to diet on growth performance, rumen fermentation parameters and blood metabolites of fattening lambs. *Iranian Journal of*

Animal Science, 53 (4): 273 -285. https://doi.org/10.22059/ijas.2022.340407.653879. (In Persian)

Rezaei, Z., Kahrizi, D., Rostami-Ahmadvandi, H., Falah, F. & Karami, F. (2016). Production and fatty acid characterization of DH1025 a doubled haploid *Camelina sativa* line. International Conference on Researches in Science & Engineering. 28 July 2016. Istanbul University – Turkey.

Russell, J. B. & Strobel, H. J. (1989). Effect of ionophores on ruminal fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 55(1): 1-6.

SAS. (2005). User’s Guide: Statistics, Version 9.0 Edition. SAS Inst. Inc., Cary, NC.

Shingfield, K. J., Ahvenjarvi, S., Toivonen, V., Vanhatalo, A., Huhtanen, P., & Griinari, J. M. (2008). Effect of incremental levels of sunflower-seed oil in the diet on ruminal lipid metabolism in lactating cows. *British Journal of Nutrition*, 99:971–983. https://doi.org/10.1017/S0007114507853323

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. *Iranian Journal of Animal Production*, 25(3): 255-266. https://doi.org/10.22059/jap.2023.354050.623726 (In Persian).

Sizmaz, Ö., Çalik, A. & Bundur, A. (2021). *In vitro* fermentation characteristics of camelina meal comparison with soybean meal. *Livestock Studies*, 61(1): 9-13

Ueda, K., Ferlay, A., Chabrot, J., Loor, J. J., Chilliard, Y., & Doreau, M. (2003). Effect of linseed oil supplementation on ruminal digestion in dairy cows fed diets with different forage: concentrate ratios. *Journal of Dairy Science*. 86:3999–4007. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74011-9

Van Soest, P. J. (1982). Nutritional ecology of the ruminant. Corvallis, OR, USA: *Cornell University Press*. Pp. 253- 280.

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. https:// doi/abs/10.1002/jsfa.8260

Woyengo, T. A., Beltranena, E., & Zijlstra, R. T. (2017). Effect of anti-nutritional factors of oilseed co-products on feed intake of pigs and poultry. *Animal Feed Science and Technology*, 233, 76-86. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.05.006.

Yang, S. L., Bu, D. P., Wang, J. Q., Hu, Z. Y., Li, D., Wei, H. Y., Zhou, L. Y., & Loor, J. J. (2009). Soybean oil and linseed oil supplementation affect profiles of ruminal microorganisms in dairy cows. *Animal*, 3(11): 1562- 1569. https://doi.org/10.1017/S1751731109990462

Zhang, W. J., Xu, Z. R., Zhao, S. H., Sun, J. Y., & Yang, X. (2007). Development of a microbial fermentation process for detoxification of gossypol in cottonseed meal. *Animal Feed Science and Technology*. 135: 176-186 https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.06.003