Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Research on Animal Production, Vol. 14, Issue 4, 2023 p: 11-19

OPEN ACCESS

Research Paper

Determination of Metabolizable Energy Value in Canola Meal with and without Enzymes Addition by Regression Method in Adult Leghorn Roosters

Ronak Zamani[1], Hossein Jonmohammadi[2], Seyed Ali Mirgheleng[3], and Yousef Didehban[4]

1 -Master's student, Department of Animal Science, Tabriz University, Tabriz, Iran

2 -Professor of Poultry Nutrition, Department of Animal Science, Tabriz University, Tabriz, Iran (Corresponding author: janmohammadi@tabrizu.ac.ir)

3 -Associate Professor of Poultry Nutrition, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

4 -Ph.D. student in Animal Science, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran

Recieved: 3 February, 2023 Accepted: 7 June, 2023

Extended Abstract

Background: In addition to its high protein content, canola meal can significantly contribute to the energy supply in poultry feeds due to its relatively high levels of carbohydrates and crude fat. The value of apparent metabolizable energy (AMEn) for canola meal in the NRC table is 2000 kcal/kg. However, the metabolizable energy value of canola meal has not been published in the Iranian tables of feed composition by the Animal Science Research Center. The evaluation of feed is completed by determining its nutrient composition, followed by measuring its metabolizable energy content. Various methods exist to determine the amounts of metabolizable energy in poultry feeds, each with its own advantages and disadvantages. The regression method is one such approach that allows for the study of the metabolizable energy content of a test ingredient in practical diets at different levels. The purpose of this experiment was to determine the apparent metabolizable energy values corrected to zero point of nitrogen balance (AMEn) of canola meal, both with and without enzymes, using the regression method in adult Leghorn roosters.

Methods: Canola meal samples were obtained from poultry feed plants in Tabriz, and their chemical composition was measured according to standard methods. A total of 48 adult Leghorn roosters were used, with 6 replications in a completely randomized design in a factorial arrangement (2 × 4) (two enzyme levels: zero and 375 units × four levels of canola meal: zero, 7, 14, and 21 percent), employing the regression method by replacing corn-soybean meal in the diet with canola meal.

Results: The average values for dry matter, ash, crude protein, ether extract, neutral detergent fiber (NDF), and acid detergent fiber (ADF) were 88.5%, 6.8%, 34.4%, 6.7%, 34.5%, and 20.5%, respectively. The gross energy value of canola meal was 4324 kcal/kg. As the level of canola meal in the experimental diets increased, the values of apparent dry matter metabolizable energy (ADMM), apparent organic matter metabolizable energy (AOMM), AMEn, and gross energy efficiency decreased significantly ($p < 0.05$). The AMEn decreased by 7.4%, equivalent to 244 kcal/kg, in the diet containing 21% canola meal compared to the control diet without canola meal. The addition of enzymes improved the AMEn of diets containing canola meal by 64 kcal/kg. The equations for estimating AMEn of canola meal with and without enzymes demonstrated high determination coefficients of 0.83 and 0.79, respectively. The AMEn of canola meal with and without enzymes, as estimated by the regression method, was 1985 and 1838 kcal/kg, respectively.

Conclusion: The obtained AMEn values for canola meal with and without enzymes, determined by the regression method, were lower than the corresponding values reported in NRC (1994). Therefore, formulating poultry diets using the AMEn values reported here may be effective in predicting the birds' performance.

Keywords: Adult Leghorn Roosters, Canola Meal, Enzyme, Metabolizable Energy, Regression Method

How to Cite This Article: Zamani, R., Jonmohammadi, H., Mirgheleng, S. A., & Didehban, Y. (2023). Determination of Metabolizable Energy Value in Canola Meal with and without Enzymes Addition By Regression Method in Adult Leghorn Roosters. *Res Anim Prod*, 14(4), 11-19. https://doi.org/10.61186/rap.14.42.11

Copyright ©2023 Zamani et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License which allows users to read, copy, distribute and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

مقاله پژوهشی

تعیین انرژی قابل سوخت و ساز کنجاله کانولا با و بدون آنزیم به‌روش رگرسیون در خروس‌های بالغ لگهورن

روناک زمانی[۱]، حسین جانمحمدی[۲]، سید علی میرقلنج[۳] و یوسف دیده‌بان[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم دامی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲- استاد تغذیه طیور، گروه علوم دامی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، (نویسنده مسوول: janmohammadi@tabrizu.ac.ir)
۳- دانشیار تغذیه طیور، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۴- دانشجوی دکتری علوم دام، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۷
صفحه: ۱۱ تا ۱۹

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: کنجاله کانولا علاوه بر پروتئین زیاد به‌دلیل داشتن مقدار نسبتاً زیادی کربوهیدرات‌ها و چربی‌خام می‌تواند نقش قابل‌توجهی در مقدار تأمین انرژی خوراک طیور داشته باشد. مقدار AMEn در جدول NRC برای کنجاله کانولا ۲۰۰۰ کیلوکالری در کیلوگرم می‌باشد. مقدار انرژ ی قابل متابولیسم کنجاله کانولا در جداول ترکیبات شیمیایی مواد خوراکی ایران توسط مرکز تحقیقات علوم دامی کشور منتشر نشده است. ارزشیابی یک خوراک با تعیین مواد مغذی آن و اندازه‌گیری انرژی قابل متابولیسم آن تکمیل می شود. روش‌های متفاوتی برای تعیین مقادیر انرژی قابل سوخت و ساز در طیور وجود دارد که هرکدام دارای مزایا و معایبی است. روش رگرسیون از جمله روش‌های تعیین انرژی قابل متابولیسم است که امکان مطالعه انرژی قابل متابولیسم را در جیره‌های غذایی عملی و در سطوح مختلف فراهم می‌آورد. هدف از این آزمایش تعیین مقادیر انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح شده برای نقطه صفر تعادل نیتروژن (AMEn) کنجاله‌های کانولا با و بدون آنزیم به‌روش رگرسیون در خروس‌های بالغ لگهورن بود.

مواد و روش‌ها: نمونه‌های کنجاله‌ی کانولا از کارخانجات خوراک دام و طیور شهرستان تبریز تهیه و ترکیبات شیمیایی آن مطابق روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. از ۴۸ قطعه خروس بالغ لگهورن با ۶ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌ترتیب فاکتوریل (۴×۲) (دو سطح صفر و ۳۷۵ × چهار سطح کنجاله کانولا صفر،۷،۱۴،۲۱) از روش رگرسیون با جایگزینی کنجاله کانولا در جیره پایه ذرت-کنجاله سویا استفاده شد.

یافته‌ها: میانگین ماده‌خشک، خاکستر، پروتئین خام، عصاره اتری، فیبر نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) در این آزمایش به‌ترتیب ۸۸/۵، ۶/۸، ۳۴/۴، ۶/۷، ۳۴/۵ و ۲۰/۵ درصد و انرژی خام کنجاله کانولا نیز برابر ۴۳۲۴ کیلوکالری در کیلوگرم بدست آمد.
با افزایش سطح کنجاله کانولا در جیره‌های غذایی آزمایشی مقادیر قابلیت سوخت و ساز ماده‌خشک، ماده‌آلی، AMEn و بازده انرژی‌خام به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (p<۰/۰۵). کاهش مقدار AMEn برابر ۷/۴ درصد معادل ۲۴۴ کیلوکالری در کیلوگرم در جیره غذایی حاوی ۲۱ درصد کنجاله کانولا در مقایسه با جیره غذایی فاقد کنجاله کانولا بود در اثر افزودن آنزیم، مقدار AMEn در جیره‌های غذایی حاوی کنجاله کانولا ۶۴ کیلوکالری در کیلوگرم بهبود نشان داد. معادلات برآوردکننده AMEn کنجاله کانولا با و بدون آنزیم از ضریب تبیین بالایی به‌ترتیب برابر با ۰/۸۳ و ۰/۷۹ برخوردار بودند. مقدار AMEn کنجاله کانولا با و بدون آنزیم به‌روش رگرسیون به‌ترتیب برابر ۱۹۸۵ و ۱۸۳۸ کیلو کالری در کیلوگرم برآورد شد.

نتیجه‌گیری: ارقام حاصله برای AMEn کنجاله کانولا در مقایسه با ارقام گزارش شده در جداول استانداردهای غذایی NRC (۱۹۹۴)کمتر بوده و لذا تنظیم جیره‌های غذایی با مقادیر AMEn به‌دست آمده در این پژوهش احتمالاً می‌تواند در پیش‌بینی عملکرد پرنده موثر باشد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم، انرژی قابل سوخت و ساز، خروس‌های بالغ لگهورن، روش رگرسیون، کنجاله کانولا

مقدمه

امروزه مشخص شده است حدود ۷۰ درصد هزینه پرورش حیوانات را خوراک تشکیل می‌دهد، با توجه به اهمیت موضوع، ارزیابی صحیح مواد تشکیل‌دهنده را نمی‌توان دست کم گرفت و نیاز به بررسی قابل‌توجهی دارد (Wise & Adeola, 2023). انرژی جیره می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر هزینه تولید حیوانات تأثیر بگذارد (Kang et al., 2018)، تعیین انرژی قابل استفاده مواد خوراکی به‌منظور تنظیم صحیح جیره طیور بسیار مهم است (Sibbald, 1982). کنجاله کانولای استخراج شده با حلال معمولی، بعد از کنجاله سویا به‌عنوان دومین منبع پروتئینی در سراسر جهان است که معمولاً در جیره طیور استفاده می‌شود (Watts et al., 2020). در ایران، منابع انرژی غذایی مختلف برای طیور مورد مطالعه قرار گرفته است. با این‌حال، جایگزین‌های پروتئین گیاهی ارزان قیمت کمتر مطالعه شده و داده‌ها برای ارزش غذایی آن‌ها محدود است. امکان استفاده از کنجاله کانولا در خوراک طیور، وابستگی به کنجاله سویا را به‌عنوان منبع پروتئین کاهش می‌دهد. این منبع می‌تواند هزینه خوراک را کاهش داده و محصولات طیور ایران را در بازارهای محلی و بین‌المللی رقابتی‌تر کند. کنجاله کانولا محتوای پروتئین کمتری نسبت به کنجاله سویا دارد، اما این کنجاله از نظر ترکیبات اسید آمینه با کنجاله سویا قابل مقایسه است. کنجاله کانولا حاوی متیونین و سیستئین بیشتر اما لیزین و آرژنین کمتری نسبت به کنجاله سویا است (Khajali & Slominski, 2012). علی‌رغم تعادل خوب اسیدهای آمینه ضروری در کنجاله کانولا، قابلیت هضم کمتر و متغیرتر انرژی و اسیدهای آمینه در مقایسه با کنجاله سویا و وجود برخی عوامل ضد تغذیه، میزان استفاده از کنجاله کانولا را در حیوانات تک معده محدود می‌کند (Khajali & Slominski, 2012). عامل اصلی ضد تغذیه‌ای که در کنجاله کانولا یافت می‌شوند شامل فیبر (پلی‌ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای (NSP)، لیگنین الیگوساکاریدها، همراه با پلی‌فنول‌ها، گلیکوپروتئین‌ها)، ترکیبات فنولی، فیتیکاسید و گلوکوزینولات‌ها هستند (Bell, 1993). محتوای فیبر بالای کنجاله کانولا گزارش شده است که هم انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری (AME) و هم پروتئین خام را کاهش می‌دهد (Newkirk et al., 2003).

هنگامی‌که جیره برای جوجه‌های گوشتی، بوقلمون‌ها یا مرغ‌های تخمگذار بر اساس انرژی قابل متابولیسم ظاهری تصحیح شده با نیتروژن (AMEn) و محتوای اسید آمینه قابل هضم ایلئومی تنظیم می‌شود، کنجاله کانولا می‌تواند با موفقیت در ۱۵۰–۲۰۰ گرم بر کیلوگرم جیره استفاده شود (Adewole et al., 2016; Rogiewicz & Slominski, 2019). سوبستراهای موجود در مواد غذایی مجزا نیستند، بلکه به‌صورت کمپلکس‌هایی با پیوندهای مختلف با پروتئین، چربی، فیبر و سایر کربوهیدرات‌های پیچیده وجود دارند، افزودنی‌هایی با عنوان آنزیم‌های تجزیه‌کننده فیبر، فیتاز و غیره پتانسیل بهبود ارزش غذایی مواد غذایی دارند (Gallardo et al., 2017). کوچر و همکاران نشان دادند که استفاده از مخلوط آنزیمی پکتیناز، پروتئاز و آمیلاز در جیره بر پایه ذرت– کنجاله سویا در جوجه‌های گوشتی با سطح انرژی پایین جیره باعث افزایش AMEn در مقایسه با جیره پایه بدون آنزیم شد (Kocher et al., 2003). منگ و اسلومینسکی با استفاده از مخلوط آنزیمی (زایلاناز، گلوکاناز، پکتیناز، سلولاز، ماناناز و گالاکتوناز) AMEn را در جیره‌های بر پایه ذرت، ذرت– کنجاله سویا، ذرت– کنجاله کانولا و ذرت– نخود فرنگی بهبود دادند که علت آن‌را بهبود قابلیت سوخت و سازنشاسته و پلی‌ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای گزارش کردند (Meng & Slominski, 2005).

افزایش یا کاهش AMEn در کنجاله کانولا عمدتاً به تعادل اجزای سازنده انرژی در خوراک و عواملی که مانع استفاده از آنها می‌شود بستگی دارد. گزارش شده است که کاهش در محتوای فیبر خام باعث افزایش انرژی قابل متابولیسم در کنجاله کانولا می‌شود (Olukosi et al., 2017). با در نظر گرفتن مطالب فوق در این پژوهش قصد برآن است که با گنجاندن سطوح مختلف کنجاله‌های کانولا با و بدون آنزیم انرژی قابل سوخت و ساز کنجاله کانولا در خروس‌های بالغ لگهورن به‌روش رگرسیون تعیین شود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در اتاق متابولیسمی خروس‌های بالغ ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز و بخش آزمایشگاهی آن در آزمایشگاه تغذیه دام پیشرفته گروه علوم دامی واقع در ساختمان شماره ۲ دانشکده کشاورزی انجام شد. کنجاله‌ی کانولا از کارخانجات خوراک دام و طیور شهرستان تبریز تهیه گردید. نمونه‌گیری از کنجاله‌ی مذکور به‌صورت تصادفی و از نواحی مختلف کنجاله کانولا صورت گرفت.

نگهداری و پرورش خروس‌ها

برای تعیین انرژی قابل سوخت و ساز کنجاله کانولا از ۴۸ قطعه خروس بالغ لگهورن استفاده شد. در کل مدت پرورش خروس‌ها دسترسی آزادانه به آب داشتند و در مدت پرورش با یک جیره نگهداری تغذیه شدند (جدول ۱).

تعیین ترکیبات شیمیایی

اندازه‌گیری مقدار ماده خشک، میزان پروتئین، خاکستر کنجاله کانولا مطابق روش‌های AOAC (AOAC, 2005). انرژی خام با بمب کالریمتر آدیاباتیک (Parr) در فضولات و جیره‌های غذایی، فیبر نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) با استفاده از دستگاه فایبرتیک اندازه‌گیری شد.

تنظیم جیره‌های غذایی آزمایشی

ابتدا جیره نگهداری جهت تامین احتیاجات خروس‌ها تنظیم و به‌طور آزادانه به تغذیه خروس‌ها رسید (جدول ۱). چهار جیره غذایی آزمایشی با جایگزینی کردن سطوح کنجاله کانولا به‌صورت ۰، ۷، ۱۴ و ۲۱ درصد به‌جای بخش انرژی‌زای جیره پایه حاصل شد. سپس هر یک از جیره‌ی آزمایشی حاوی کنجاله کانولا توسط (آنزیم آویزایم) در سطح ۳۷۵ گرم در تن به‌صورت سرک مخلوط گردید. مولتی آنزیم آویزایم شامل زایلاناز (۶۰۰ واحد بر گرم)، پروتئاز (۸۰۰۰ واحد بر گرم) و آمیلاز (۸۰۰ واحد بر گرم) بود.

انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری کنجاله کانولا با و بدون آنزیم از طریق تغذیه آزاد جیره کامل به‌همراه ثبت دقیق روزانه مقدار خوراک مصرفی و مقدار فضولات دفعی ارزیابی شد. از روش اروپایی برای تعیین انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری استفاده شد که این دوره ۹ روزه شامل دو بخش بود که ۴ روز نخست مرحله سازگار شدن و پنج روز نهایی مرحله آزمایش می‌باشد. در طی مرحله آزمایش پس از ۴ روز مرحله سازگاری، به خروس‌ها جهت تخلیه کامل دستگاه گوارش ۲۴ ساعت گرسنگی داده شد، سپس به‌مدت ۷۲ ساعت تغذیه آزاد از جیره‌ی پایه و جیره‌های آزمایشی انجام گرفت. در همین راستا سینی‌های جمع‌آوری فضولات بعد از اتمام ۲۴ ساعت گرسنگی اول و شروع تغذیه آزاد در زیر قفس‌های متابولیکی خروس‌ها قرار داده شد تا فضولات حیوان به‌طور کامل جمع‌آوری شد (Bourdillon et al., 1990). همچنین انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح شده برای نقطه صفر تعادل نیتروژن در جیره‌ها (پایه و آزمایشی) با و بدون آنزیم به‌روش اختلاف از فرمول زیر برای محاسبه AMEn کنجاله کانولا در هر سطح جایگزینی استفاده شد (رابطه ۱) (Leeson & Summers, 2001).

(۱)

ME basal diet – ((ME basal diet - ME assay diet)/X)

X: نسبت‌های جایگزینی کنجاله کانولادر جیره پایه
ME basal diet: انرژی قابل سوخت و ساز جیره پایه
ME assay diet: انرژی قابل سوخت و ساز جیره آزمایشی

جدول ۱- ترکیب جیره پایه مورد استفاده برای تعیین انرژی قابل سوخت و ساز در کنجاله کانولا
Table 1. The composition of the basal diet used to determine metabolizable energy in Canola meal

اقلام غذایی Item	تیمارها (%) Treatment			
	0	7	14	21
ذرت (Corn)	83.71	77.85	71.98	66.06
کنجاله سویا (Soybean meal)	12.21	11.35	10.50	9.64
کنجاله کانولا (canola meal)	0	7	14	21
دی کلسیم فسفات (Dicalcium phosphate)	2.06	1.91	1.77	1.62
کربنات کلسیم (Limestone)	0.98	0.91	0.84	0.77
مکمل ویتامینی (Vitamin mix)	0.25	0.25	0.25	0.25
مکمل معدنی (Mineral mix)	0.25	0.25	0.25	0.25
نمک طعام (NaCl)	0.44	0.40	0.37	0.34
DL- متیونین (DL Met)	0.04	0.03	0.03	0.03
L- لیزین هیدروکلراید (L-Lys HCl)	0.06	0.05	0.05	0.04
کل (Total)	100	100	100	100
مواد مغذی محاسبه شده (Analyzed content)				
AMEn (کیلوکالری در کیلوگرم)	3100	3023	2946	2869
پروتئین خام(درصد) CP٪	12.56	14.08	15.61	17.14
کلسیم (درصد) Ca٪	0.98	0.95	0.92	0.89
فسفر قابل دسترس (درصد)Available phosphorus ٪	0.45	0.43	0.42	0.41

برای محاسبه انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری و انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح شده برای نقطه صفر تعادل نیتروژن در جیره‌ها (پایه و آزمایشی) با و بدون آنزیم از فرمول‌های زیر استفاده شد (رابطه ۲) (Sibbald, 1982):

(۲)

AMEn (Kcal/kg) = {[Feed intake (g) ×GE of diet(kcal/kg) – (Excreta content(g) ×GE of excreta (kcal/kg) - (Feed intake(g) ×N of diet (g/g)- Excreta content (g) ×N of excreta (g/g)) × 8.22]} /Feed intake (g)

AMEn: انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری (کیلوکالری بر کیلوگرم)
Feed intake: مقدار خوراک مصرفی (گرم)
GE of diet: انرژی خام خوراک (کیلوکالری بر کیلوگرم)
Excreta content: مقدار فضولات (گرم)
GE of excreta: انرژی خام فضولات (کیلوکالری بر کیلوگرم)
N of diet: درصد نیتروژن خوراک (گرم)
N of excreta: درصد نیتروژن فضولات (گرم)
k: ۸/۲۲ کیلوکالری به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن

برای تعیین قابلیت سوخت و ساز مواد مغذی، میزان ماده مغذی موجود در خوراک مصرفی و مدفوع اندازه‌گیری شد. فرمول کلی برای محاسبه قابلیت سوخت و ساز مواد مغذی در جیره‌های (پایه و آزمایشی) موردنظر عبارت است از (رابطه ۳):

(۳) $\frac{\text{ماده مغذی موجود در مدفوع} - \text{ماده مغذی مصرف شده}}{\text{ماده مغذی مصرف شده}}$

تجزیه آماری

مدل آماری مورد استفاده در این پژوهش به‌صورت رابطه ۴ بود.

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + e_{ijk} \quad (۴)$$

μ: میانگین جمعیت
A_i: اثر سطوح مختلف کنجاله کانولا
B_j: اثر سطح آنزیم (با و بدون آنزیم)
AB_{ij}: اثر متقابل فاکتورهای A و B
e_{ijk}: خطای آزمایشی

اطلاعات و داده‌های حاصل از این پژوهش توسط نرم‌افزار SAS (۹,۱) (Lee et, al.) با رویه GLM بر پایه طرح کاملاً تصادفی به‌روش فاکتوریل ۴×۲ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. از رویه Reg نیز برای تجزیه و تحلیل رگرسیونی ساده جهت برآورد AMEn کنجاله کانولا در سطح صد در صد جایگزینی استفاده شد.

نتایج و بحث

ترکیبات شیمیایی کنجاله کانولا

میانگین ترکیبات شیمیایی کنجاله کانولا در جدول شماره ۲ آورده شده است. همان‌گونه که در جدول ۲ مشخص است، میانگین ماده خشک، خاکستر، پروتئین خام، عصاره اتری، فیبر نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) در این آزمایش به‌ترتیب ۸۸/۵، ۶/۸، ۳۴/۴، ۷/۶، ۳۴/۵، ۲۰/۵ درصد و انرژی خام کنجاله کانولا نیز برابر ۴۳۲۴ کیلوکالری در کیلوگرم به‌دست آمد.

جدول ۲- میانگین ترکیبات شیمیایی کنجاله کانولا (براساس درصد وزن تر)
Table 2. Mean value of chemical composition in Canola meal (as % of fed basis)

متغییر Item	کنجاله کانولا canola meal
ماده خشک (درصد) (Dry Matter%)	88.5
انرژی خام (کیلوکالری در کیلوگرم) Gross energy (kcal/kg)	4324
٪ADF	20.5
٪NDF	34.5
عصاره اتری (درصد) (EE%)	7.6
پروتئین خام (درصد) (CP%)	34.4
خاکستر (درصد) (Ash%)	6.8

میانگین ماده خشک کنجاله کانولا در این پژوهش ۸۸/۵ درصد بود که پائین‌تر از مقدار ماده خشک کنجاله کانولا در جدول NRC (Council, 1994) با ۹۳ ماده خشک در جداول برزیلی (Coelho et al., 2019)، با ۸۹/۵، جداول ایرانی (Abbasi et al., 2014) با ۹۵/۳۴ و گزارش اخیر ژونگ و آدئولا (۳۴) با ۹۱/۸۲ درصد می‌باشد. میانگین پروتئین خام در این پژوهش ۳۴/۴ درصد می‌باشد که پایین‌تر از مقدار پروتئین خام در جدول NRC (Council, 1994) با ۳۸ درصد پروتئین خام (Council, 1994)، جداول برزیلی (Coelho et al., 2019) با ۳۶/۲، جداول ایرانی (Abbasi et al., 2014) با ۳۷/۳ و مقدار گزارش شده توسط نادم و همکاران (Nadeem et al., 2005) به‌ترتیب با ۳۶/۳ درصد پروتئین خام و مشابه ژونگ و آدئولا (Zhong & Adeola, 2019) با ۳۴/۹ درصد می‌باشد. از دلایل این اختلاف می‌توان به اثر واریته، شرایط فرآوری و میزان چربی کنجاله کانولا اشاره کرد. میانگین عصاره اتری در این پژوهش ۶/۷ درصد به‌دست آمد که بالاتر از مقادیر گزارش شده عصاره اتری در جدول NRC (Council, 1994) با ۳/۸ درصد و جداول ایرانی (Abbasi et al., 2014) با ۲/۵۵ و در پژوهش نادم و همکاران (Nadeem et al., 2005) است. از دلایل این اختلاف می‌توان به نحوه استخراج روغن (استخراج مکانیکی یا حلال) اشاره کرد. میانگین NDF و ADF کنجاله کانولا در این پژوهش به‌ترتیب ۳۴/۵ و ۲۰/۵ درصد بود که بیشتر از مقادیر گزارش شده توسط ژونگ و آدئولا (Zhong & Adeola, 2019) است. میانگین انرژی خام نیز در این پژوهش ۴۳۲۴ کیلوکالری در کیلوگرم می‌باشد که بالاتر از مقادیر گزارش شده در پژوهش یعقوب‌فر و نوری امامزاده (Nouri-Emamzadeh et al., 2008) با ۴۷۴۵ و پایین‌تر از جداول ایرانی (Abbasi et al., 2014) با ۴۰۳۶ کیلوکالری در کیلوگرم می‌باشد، که از دلایل این تفاوت می‌توان به اثر میزان چربی، الیاف خام، واریته اشاره کرد.

اثرات اصلی و متقابل سطوح مختلف کنجاله کانولا و آنزیم

نتایج حاصل از اثرات اصلی سطح کنجاله کانولا و آنزیم بر ADMM[1]، AOMM[2]، ACPM[3]، AMEn و بازده انرژی خام در جدول۳ ارایه شده است. همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود با افزایش سطح کنجاله کانولا در جیره‌های غذایی آزمایشی مقادیر ADMM، AOMM، ACPM، AMEn و بازده انرژی خام به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (p< ۰/۰۵). کاهش مقدار AMEn برابر ۷/۴ درصد معادل ۲۴۴ کیلوکالری در کیلوگرم در جیره غذایی حاوی ۲۱ درصد کنجاله کانولا در مقایسه با جیره غذایی فاقد کانولا می‌باشد که این نتیجه به‌دنبال کاهش AOMM در اثر افزایش سطح کنجاله کانولا دور از انتظار نمی‌باشد. بین سطح NDF و NSP در کنجاله کانولا همبستگی معنی‌دار بالایی گزارش شده است (Slominski & Campbell, 1990). بنابراین پر واضح است که با افزایش سطح کنجاله کانولا، مقادیر کربوهیدرات‌های غیر نشاسته‌ای بدلیل سطوح بالای NDF و ADF در جیره‌های غذایی افزایش یافته و سبب کاهش AOMM و به دنبال آن AMEn خواهد شد. افزایش این ترکیبات در جیره‌های غذایی طیور که توام با افزایش کربوهیدرات غیر نشاسته‌ای که حاوی پیوندهای گلیکوزیدی غیر قابل هضم بر پرندگان می‌باشد، همراه بوده و توانایی پرنده را برای استفاده از این ترکیبات و تولید انرژی قابل استفاده کاهش می‌دهد. اثر آنزیم موجب افزایش معنی‌دار (p< ۰/۰۵) مقادیر ACPM، ADMM و AMEn در جیره‌های غذایی حاوی کنجاله کانولا شد. بدین نحو به دنبال افزایش AMEn اثر افزودن آنزیم، با بهبودی برابر ۱۴ کیلوکالری در کیلوگرم جیره‌های غذایی حاوی کنجاله کانولا روبرو شد. مقادیر ADMM، AOMM، AMEn و بازده انرژی خام مورد مطالعه تحت تاثیر اثرات متقابل سطح کنجاله و آنزیم قرار گرفت (p< ۰/۰۵). بطور کلی بیشترین مقدار در معیارهای مورد بررسی در جیره‌های غذایی فاقد کنجاله کانولا با آنزیم و کمترین مقدار آن‌ها در جیره‌های غذایی با سطوح بالای کنجاله کانولا بدون آنزیم مشاهد شد. بیشترین مقدار AMEn با ۳۲۸۶ کیلوکالری در کیلوگرم در جیره غذایی فاقد کنجاله کانولا با آنزیم و کمترین مقدار آن با ۳۰۳۱ کیلوکالری در کیلوگرم در جیره غذایی با ۲۱ درصد کنجاله کانولا بدون آنزیم حاصل شد. این روند از اثرات متقابل بطور مشابهی در سایر معیارهای مورد بررسی نیز مشاهده شد.

نتایج ارزیابی اثر سطح آنزیم تائیدکننده این مطلب است که ارزشیابی توانایی آنزیم در بهبود انرژی با استفاده از سیستم انرژی AMEn برخلاف TMEnدر خروس‌های بالغ در گزارش اسدی همکاران (Assadi et al., 2011) امکانپذیر می‌باشد. اسلومینسکی و کمبل (Slominski & Campbell, 1990) نشان دادند استفاده از یک مکمل آنزیمی قابلیت هضم NSP در کنجاله کانولا بویژه کربوهیدرات‌های غیر سلولزی را افزایش می‌دهد. منگ و اسلومینسکی با استفاده از مخلوط آنزیمی (زایلاناز، گلوکاناز، پکتیناز، سلولاز، ماناناز و گالاکتوناز) AMEn را در جیره‌هایی بر پایه ذرت، ذرت- کنجاله سویا، ذرت-کنجاله کانولا و ذرت- نخود فرنگی بهبود دادند که به علت بهبود قابلیت سوخت و سازنشاسته و پلی‌ساکاریدهای

1- Apparent Dry Matter Metabolizability 2- Apparent Organic Matter Metabolizability 3- Apparent Crude protein Metabolizability

غیرنشاسته‌ای می‌باشد (Meng & Slominski, 2005). کوچر و همکاران نشان دادند که استفاده از مخلوط آنزیمی پکتیناز، پروتئاز و آمیلاز در جیره بر پایه ذرت– کنجاله سویا در جوجه‌های گوشتی با سطح انرژی پایین جیره غذایی باعث افزایش AMEn در مقایسه با جیره پایه بدون آنزیم شد (Kocher et al., 2003).

گارسیا و همکاران گزارش کردند که مکمل‌سازی با آنزیم آمیلاز قابلیت سوخت و ساز نشاسته و در نتیجه قابلیت سوخت و سازماده خشک، ماده آلی و انرژی جیره را بهبود می‌دهد که ممکن است توضیح‌دهنده بهبود AMEn در مطالعه حاضر باشد (García et al., 2008). کالوندی و همکاران استفاده از آنزیم ناتوزایم–پی سبب بهبود مقدار AMEn به اندازه ۵۲ کیلوکالری و نیز بهبود قابلیت متابولیسم ظاهری نیتروژن و ماده خشک در جیره‌های غذایی بر پایه ذرت-کنجاله سویا به ترتیب ۱/۸ و ۲/۶۳ درصد گزارش کرده‌اند (Kalvandi et al., 2015).

جدول ۳– اثرات اصلی و متقابل سطوح مختلف کنجاله کانولا و آنزیم بر مقادیر قابلیت متابولیسم ظاهری ماده خشک، ماده آلی، پروتیین خام، انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح شده برای تعادل صفر نیتروژن و بازده انرژی خام (کیلوکالری در کیلوگرم) در جیره‌های غذایی خروس‌های بالغ لگهورن

Table 3. Main and interaction effects of different levels of Canola meal and enzyme on the values of apparent dry matter metabolizability(ADMM), apparent organic matter metabolizability (AOMM), apparent crude protein metabolizability(ACPM) and apparent metabolizable energy corrected to zero nitrogen balance (AMEn) and GE efficiency Kcal/kg in adult leghorn roosters diets.

AMEn/GE	AMEn	ACPM	AOMM	ADMM	
				Main level effects canola meal ٪	اثرات اصلی سطح کنجاله (درصد)
0.86[a]	3292[a]	58.72[a]	86.15[a]	92.63[a]	0
0.84[b]	3212[b]	44.74[b]	83.85[b]	88.32[b]	7
0.82[c]	3113[c]	27.17[c]	80.14[c]	86.42[c]	14
0.80[d]	3048[d]	29.56[c]	78.89[d]	85.03[d]	21
*	*	*	*	*	P-value
0.0009	9.8	0.98	0.064	0.107	SEM
				Enzyme level (g/ton)	سطح آنزیم (گرم در تن)
0.83	3159[b]	38.93[b]	82.45	87.64[b]	0
0.83	3173[a]	41.15[a]	82.56	88.55[a]	375
ns	*	*	ns	*	P-value
0.0006	2.9	0.69	0.045	0.075	SEM
				Interaction effects (level of canola meal × enzyme)	اثرات متقابل (سطح کنجاله × آنزیم)
0.85[b]	3277[b]	57.51	85.86[b]	91.88[b]	0 ×0
0.84[c]	3214[c]	42.36	84.02[c]	88.31[c]	7 ×0
0.82[d]	3115[d]	26.99	81.26[e]	86.49[d]	14 ×0
0.80[f]	3031[f]	28.88	78.67[g]	83.89[e]	21×0
0.86[a]	3286[a]	59.94	86.43[a]	93.38[a]	0 × 375
0.84[c]	3215[c]	47.13	83.68[d]	88.32[c]	7 × 375
0.82[d]	3117[d]	27.29	81.01[e]	86.35[d]	14 ×375
0.81[e]	3065[e]	30.23	79.12[f]	86.16[d]	21 ×375
*	*	ns	*	*	P-value
0.001	7.8	1.39	0.12	0.27	SEM

[a-g] میانگین‌هایی با حروف غیرمشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشند (p<۰/۰۵).
ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار SEM: انحراف معیار میانگین‌ها

[a-g] Within acolumn, means bearing different superscripts are statistically different; ($p < 0.05$).
ns: There is no significant difference SEM: Standard error of the means

نتایج حاصل از برآورد AMEn کنجاله کانولا با و بدون آنزیم به‌روش رگرسیون در جدول ۴ ارائه شده است. معادلات برآوردکننده AMEn از ضریب تبیین بالایی به ترتیب برابر ۰/۸۳ و ۰/۷۹ برخوردار بودند که اعتبار آن‌را تائید می‌کند. مقدار AMEn کنجاله کانولا با و بدون آنزیم به‌ترتیب برابر ۱۹۸۵ و ۱۸۳۸ کیلوکالری در کیلوگرم برآورد گردید که نسبت به مقدار AMEn کنجاله‌ی کانولا گزارش شده در جدول NRC (Council, 1994) ۲۰۰۰ کیلوکالری در کیلوگرم، اندکی پائین‌تر است. همچنین در جداول استانداردهای غذایی ژاپن (Nakamura et al., 2008) و برزیل (Coelho et al., 2019) مقدار AMEn کنجاله‌ی کانولا به‌ترتیب ۱۹۲۰ و ۱۷۴۳ کیلوکالری در کیلوگرم براساس ماده خشک گزارش شده است. سیبالد گزارش کرد که مقدار چربی خام، الیاف خام، عصاره عاری از نیتروژن و پروتئین خام بر مقدار AMEn مواد خوراکی تاثیر دارد (Sibbald, 1980). لوسادا و همکاران AMEn کنجاله کانولا را ۱۸۶۲ کیلوکالری در کیلوگرم تخمین زدند، که مشابه مقادیر برآورده شده در این پژوهش می‌باشد (Losada et al., 2010). گزارش اخیر ژونگ و آدئولا مقدار AMEn در کنجاله کانولا حاصل از روغن‌کشی مکانیکی و با حلال را به‌ترتیب برابر ۲۹۳۷ و ۱۶۹۵ کیلوکالری در کیلوگرم به‌روش رگرسیون در جوجه‌های گوشتی گزارش کرده‌اند که متفاوت از یافته‌ای حاضر می‌باشد (Zhong & Adeola, 2019). نوری‌امام‌زاده و همکاران میانگین AMEn کنجاله کلزا را ۲۰۵۸ کیلوکالری در کیلوگرم

براساس ماده خشک گزارش کردند (Nouri-Emamzadeh et al., 2008). سیبالد مقدار AMEn و TMEn کنجاله کلزا را ۱۹۲۰ و ۲۳۶۵ کیلوکالری در کیلوگرم گزارش کردند (Sibbald, 1980). داودی و همکاران میانگین AMEn کنجاله کلزا را به‌ترتیب ۲۰۳۹ کیلوکالری در کیلوگرم گزارش کردند (Dawoodi et al., 2007). از دلایل این اختلاف‌ها می‌توان به تفاوت در ترکیبات شیمیایی کنجاله‌ها، نوع پرنده از نظر سن، نژاد، وزن متابولیکی، نوع جیره پایه و غیره اشاره کرد. علاوه بر اختلاف در ترکیبات شیمیایی، تفاوت در میزان AMEn درگزارشات مختلف به نوع فرآوری مورد استفاده برای تولید این کنجاله‌ها نیز بستگی دارد. به‌طور کلی مقادیر AMEn گزارش شده برای جوجه‌های گوشتی بالاتر می‌باشد که دلیل آن می‌تواند به سطح مصرف بالای خوراک و کاهش اثرات دفع انرژی از منشاء داخلی بر مقدار AME باشد. در روش رگرسیون مقدار AMEn تحت تاثیر سطح خوراک و اثرات سایر اجزای جیره غذایی قرار دارد و مقادیر متفاوتی از سطوح را به‌روش اختلاف که تنها یک سطح انرژی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. به هر حال بایستی در نظر داشت که مقدار انرژی قابل استفاده کنجاله کانولا علاوه بر سایر عوامل به روش اندازه‌گیری آن نیز بستگی دارد که در فرمولاسیون جیره‌های طیور می‌تواند مقدار واقعی AMEn را تحت تاثیر قرار داده و اثرات تامین انرژی مازاد و یا کم را در عملکرد و ترکیبات لاشه جوجه‌های گوشتی به‌دنبال داشته باشد (Zhong & Adeola, 2019).

جدول ۴- معادلات رگرسیون سطح کنجاله با مقدار انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح شده برای تعادل صفر نیتروژن، بازده انرژی خام، قابلیت سوخت و ساز ماده خشک و ماده آلی در جیره‌های غذایی بر پایه ذرت و کنجاله سویا حاوی کنجاله کانولا با و بدون آنزیم در خروس‌های بالغ لگهورن

Table 4. Regression equations of Canola meal level with AMEn content, GE efficiency, ADMM and AOMM in diet based on corn- soybean meal containing Canola meal with and without enzymes in adult leghorn roosters

تیمار Treatment	معادله رگرسیون خطی Linear regression equation	ضریب R2 R2 coefficient	مقدار برآورد Estimated amount
انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح شده AMEn		0.83	
کنجاله کانولا بدون آنزیم Canola meal without enzymes	Y=2377.35-5.39X	0.79	1838
کنجاله کانولا با آنزیم Canola meal with enzymes	Y=2483.96-4.98X		1985
بازده انرژی خامGE		0.84	
کنجاله کانولا بدون آنزیم Canola meal without enzymes	Y=0.69-0.00059X	0.76	0.62
کنجاله کانولا با آنزیم Canola meal with enzymes	Y=0.71-0.0001X		0.7
قابلیت سوخت و ساز ماده خشکADMM		0.80	
کنجاله کانولا بدون آنزیم Canola meal without enzymes	Y=42.45-0.072X	0.79	35/25
کنجاله کانولا با آنزیم Canola meal with enzymes	Y=48.45-0.072X		41.25
قابلیت سوخت و ساز ماده آلیAOMM		0.51	
کنجاله کانولا بدون آنزیم Canola meal without enzymes	Y=54.24-0.071X	0.78	47.11
کنجاله کانولا با آنزیم Canola meal with enzymes	Y=57.71-0.067X		51.01

مقادیر AMEn تعیین شده به روش اختلاف در کنجاله کانولا در هر یک از سطوح جایگزین با و بدون آنزیم و میانگین آن در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود میانگین مقادیر AMEn تعیین شده به روش اختلاف نیز در حضور آنزیم بهبود می‌یابد. ارقام حاصله برای AMEn در روش اختلاف به ترتیب برابر ۵۶۷ و ۲۶۰ کیلوکالری در کیلوگرم در مقایسه با مقادیر برآورد شده با و بدون آنزیم به روش رگرسیون بیشتر می‌باشد. که برخلاف نتایج گزارش شده توسط ولوری و اولوکوسی (Veluri & Olukosi, 2020) می‌باشد. اغلب داده گزارش شده از محتوی AMEn مواد غذایی طیور در گذشته با استفاده از روش اختلاف با استفاده از جیره پایه متفاوت در خروس‌های بالغ صورت گرفته است (Council, 1994). بخشی از تفاوت‌ها در مقادیر AMEnتوسط محققین همان‌طوری‌که فوقا بیان شده است می‌تواند بسته روش اندازه‌گیری توجیه شود. میانگین ارقام AMEnدر روش اختلاف برای کنجاله کانولا مشابه گزارش داودی و همکاران بود (Dawoodi et al., 2007). آگیکوم و وینگوی مقدار AMEnکنجاله کانولا را برابر ۱۹۹۴ کیلوکالری در کیلوگرم به روش اختلاف در جوجه‌های گوشتی تعیین کردند (Agyekum & Woyengo, 2022). به هر حال نباید از نظر دور داشت ارقام برآورد شده به‌روش رگرسیون به‌دلیل ارزیابی انرژی در سطوح مختلف در جیره غذایی پایه می‌تواند در عمل از اعتبار بیشتری برخوردار باشد.

جدول ۵- میانگین مقادیرAMEn (کیلوکالری در کیلوگرم) کنجاله کانولا در هر یک از سطوح چایگزین شده با و بدون آنزیم در خروس‌های بالغ لگهورن

Table 5. The mean values of AMEn (kcal/kg) of Canola meal for each of the replaced levels with and without enzymes in adult 1 eghorn roosters

آنزیم میلی‌گرم در گیلو گرم Enzyme mg/kg	سطح کنجاله‌کانولا ٪ canola meal level%	AMEn
0	7	2149
0	14	2013
0	21	2130
میانگینAverage		2096
375	7	2271
375	14	2515
375	21	2868
میانگینAverage		2552

AMEn به‌دست آمده به‌روش رگرسیون در حضور آنزیم برای کنجاله کانولا برابر ۷/۹ درصد معادل ۱۴۷ کیلوکالری بهبود یافته است. این روند در سایر پاسخ‌های اندازه‌گیری شده شامل AMEn، AOMM و بازده انرژی خام نیز مشاهده می‌شود. افزودن آنزیم‌های خارجی به خوراک از لحاظ نظری قادر به بهبود قابلیت سوخت و ساز خوراک از طریق هیدرولیز سوبستراهای که مانع هضم و حذف فاکتورهای ضد تغذیه‌ای ویژه می‌شود، انجام می‌گیرد. علاوه بر محتوای کل فیبر، ساختار فیزیکی و شیمیایی پلی ساکاریدهای غیری و ترتیب آناتومیکی در هر جزء خاص بر دسترسی آنزیم برای هضم مواد مغذی نیز موثر می‌باشد (Smits & Annison, 1996).

نتیجه‌گیری کلی

ارقام حاصله در این تحقیق برای AMEn کنجاله کانولا در مقایسه با ارقام گزارش شده در جداول استانداردهای غذایی NRC کمتر بوده و لذا تنظیم جیره‌های غذایی با مقادیر AMEn به‌دست آمده در این پژوهش احتمالاً می‌تواند در پیش‌بینی عملکرد پرنده موثر باشد.

References

Abbasi, B., Fadaeli, H., Zahdifar, M., Mirhadi, S., Grami, A., Timuranjad, N. S., & Alavi, M. (2014). *T*ables of chemical composition of Iran's livestock and poultry feed sources (In Persian) https://civilica.com/doc/1067428

Adewole, D., Rogiewicz, A., Dyck, B., & Slominski, B. (2016). Chemical and nutritive characteristics of canola meal from Canadian processing facilities. *Animal Feed Science and Technology*, *222*, 17-30.

Agyekum, A. K., & Woyengo, T. A. (2022). Nutritive value of expeller/cold-pressed canola meal and pre-pressed solvent-extracted carinata meal for broiler chicken. *Poultry Science*, *101*(1), 101528.

AOAC. (2005). Association of Official Analytical Chemists 2005. Official methods of analysis. In: Association of Official Analytical Chemists International Gaithersburg (MD).

Assadi, E., Janmohammadi, H., Taghizadeh, A., & Alijani, S. (2011). Nutrient composition of different varieties of full-fat canola seed and nitrogen-corrected true metabolizable energy of full-fat canola seed with or without enzyme addition and thermal processing. *Journal of Applied Poultry Research*, *20*(1), 95-101.

Bell, J. (1993). Factors affecting the nutritional value of canola meal: a review. *Canadian Journal of Animal Science*, *73*(4), 689-697.

Bourdillon, A., Carré, B., Conan, L., Duperray, J., Huyghebaert, G., Leclercq, B., Lessire, M., McNab, J., & Wiseman, J. (1990). European reference method for the in vivo determination of metabolisable energy with adult cockerels: reproducibility, effect of food intake and comparison with individual laboratory methods. *British Poultry Science*, *31*(3), 557-565.

Coelho, K. S., Giuntini, E. B., Grande, F., da Silva Dias, J., Purgatto, E., de Melo Franco, B. D. G., Lajolo, F. M., & de Menezes, E. W. (2019). 12th IFDC 2017 Special Issue–Brazilian Food Composition Table (TBCA): development and functionalities of the online version. *Journal of Food Composition and Analysis*, *84*, 103287.

Council, N.-N. R. (1994). Nutrient requirements of poultry. In: National Academy Press Washington.

Dawoodi, J., Golzaradbi, S., Haji Asghari, S., Moghadam, J. A., & Farmarzi, A. (2007). The effect of different levels of rapeseed meal replacing soybeans on the performance of broiler chickens, . *Ecology of Crop Plants (New Agricultural Knowledge)*, *3*(1), 27-39 (In Persian).

Gallardo, C., Dadalt, J. C., Kiarie, E., & Neto, M. T. (2017). Effects of multi-carbohydrase and phytase on standardized ileal digestibility of amino acids and apparent metabolizable energy in canola meal fed to broiler chicks. *Poultry Science*, *96*(9), 3305-3313.

García, M., Lázaro, R., Latorre, M., Gracia, M., & Mateos, G. (2008). Influence of enzyme supplementation and heat processing of barley on digestive traits and productive performance of broilers. *Poultry Science*, *87*(5), 940-948.

Kalvandi, O., Janmohammadi, H., & Ghashlag, M. (2015). Effect of enzyme supplementation on metabolizable energy and apparent nitrogen retention in broiler diets based on corn-soybean meal. *Journal of Animal Science Research*, *25*(1), 65-78.

Kang, H. K., Park, S. B., Jeon, J. J., Kim, H. S., Park, K. T., Kim, S. H., Hong, E. C., & Kim, C. H. (2018). Effect of increasing levels of apparent metabolizable energy on laying hens in barn system. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *31*(11), 1766.

Khajali, F., & Slominski, B. (2012). Factors that affect the nutritive value of canola meal for poultry. *Poultry Science*, *91*(10), 2564-2575.

Kocher, A., Choct, M., Ross, G., Broz, J., & Chung, T. (2003). Effects of enzyme combinations on apparent metabolizable energy of corn-soybean meal-based diets in broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, *12*(3), 275-283.

Lee, T., Duling, D., Liu, S., & Latour, D. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Leeson, S., & Summers, J. (2001). Nutrition of the chicken 4th Ed. *Guelph, Ontario, Canada: University Books*.

Losada, B., García-Rebollar, P., Álvarez, C., Cachaldora, P., Ibáñez, M., Méndez, J., & De Blas, J. (2010). The prediction of apparent metabolisable energy content of oil seeds and oil seed by-products for poultry from its chemical components, in vitro analysis or near-infrared reflectance spectroscopy. *Animal Feed Science and Technology*, *160*(1-2), 62-72.

Meng, X., & Slominski, B. (2005). Nutritive values of corn, soybean meal, canola meal, and peas for broiler chickens as affected by a multicarbohydrase preparation of cell wall degrading enzymes. *Poultry Science*, *84*(8), 1242-1251.

Nadeem, M., Anjum, M., Khan, A., & Azim, A. (2005). Effect of dietary supplementation of non-starch polysaccharide degrading enzymes on growth performance of broiler chicks. *Pakistan Veterinary Journal*, *25*(4), 183.

Nakamura, Y.-N., Orito, H., Tsuneishi, E., Hirano, K., Kato, N., Shoji, A., Kamiya, M., & Nakanishi, Y. (2008). Changes in plasma composition of Japanese black steers during grazing and fattening periods. *Journal of Applied Animal Research*, *34*(2), 157-161.

Newkirk, R., Classen, H., & Edney, M. (2003). Effects of prepress-solvent extraction on the nutritional value of canola meal for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, *104*(1-4), 111-119.

Nouri-Emamzadeh, A., Yaghobfar, A., Sadeghi, A., Mirhadi, S., & Chamani, M. (2008). Determination of Metabolizable Energy in Soybean, Sunflower and Canola Meals Using Caecectomised and Intact Adult Cockerels. *JOURNAL OF ANIMAL AND VETERINARY ADVANCES*, *7*(3), 235-238.

Olukosi, O., Kasprzak, M., Kightley, S., Carre, P., Wiseman, J., & Houdijk, J. (2017). Investigations of the nutritive value of meals of double-low rapeseed and its influence on growth performance of broiler chickens. *Poultry Science*, *96*(9), 3338-3350.

Rogiewicz, A., & Slominski, B. (2019). Low-glucosinolate rapeseed meal as a valuable source of protein for poultry. *Proc. 22nd. Eur. Sympo. Poult. Nutr. Gdansk, Poland*, 15-24.

Sibbald, I. (1980). Metabolizable energy in poultry nutrition. *BioScience*, *30*(11), 736-741.

Sibbald, I. (1982). Measurement of bioavailable energy in poultry feedingstuffs: a review. *Canadian Journal of Animal Science*, *62*(4), 983-1048.

Slominski, B. A., & Campbell, L. D. (1990). Non‐starch polysaccharides of canola meal: quantification, digestibility in poultry and potential benefit of dietary enzyme supplementation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *53*(2), 175-184.

Smits, C. H., & Annison, G. (1996). Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition–towards a physiologically valid approach to their determination. *World's poultry science journal*, *52*(2), 203-221.

Veluri, S., & Olukosi, O. A. (2020). Metabolizable energy of soybean meal and canola meal as influenced by the reference diet used and assay method. *Animals*, *10*(11), 2132.

Watts, E. S., Rose, S. P., Mackenzie, A. M., & Pirgozliev, V. R. (2020). The effects of supercritical carbon dioxide extraction and cold-pressed hexane extraction on the chemical composition and feeding value of rapeseed meal for broiler chickens. *Archives of animal nutrition*, *74*(1), 57-71.

Wise, T., & Adeola, O. (2023). Validation of a 3-point model for the determination of energy values using the regression method in broiler chickens. *Poultry Science*, *102*(2), 102336.

Zhong, R., & Adeola, O. (2019). Energy values of solvent-extracted canola meal and expeller-derived canola meal for broiler chickens and growing pigs determined using the regression method. *Journal of Animal Science*, *97*(8), 3415-3425.