

Effect of camelina meal and enzyme supplement levels in finishing diets on performance, jejunum histomorphometry, bone characteristics, immune response, and blood metabolites of broiler chickens

Mohaddeseh Esnaashari, Heydar Zarghi³, Mohammad Javad Agah, Ahmad Hassanabadi

1. PhD student, Department of Animal Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
 2. Associate professor, Department of Animal Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
 3. Associate professor, Animal Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran .
 4. Professor, Department of Animal Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
- *Corresponding Author- Email: h.zarghi@um.ac.ir

Introduction: In the poultry industry, feed possess the largest share of production costs, with soybean meal utilizing as the primary protein source. Given that a significant portion of this feedstuff is imported and subject to price fluctuations, identifying native alternatives is essential. Camelina (*Camelina sativa*), due to its low water requirements, high resistance, and adaptability to low-fertility soils, is considered as a suitable candidate for native protein meal production. Camelina meal (CM) is rich in protein, essential fatty acids, and balanced amino acids, making it a potential substitute for soybean meal. However, the presence of anti-nutritional compounds such as high fiber and non-starch polysaccharides (NSPs) limits its inclusion in poultry diets. These compounds increase gastrointestinal countian viscosity and reduce nutrient digestion and absorption ability. The addition of exogenous enzymes such as xylanase, β -glucanase, pectinase, and protease can mitigate the adverse effects of NSPs and enhance growth performance and poultry health. Accordingly, the current study was designed to evaluate the feasibility of using CM as an alternative protein source with and without multi-enzyme (xylanase, beta-glucanase, cellulase, pectinase, protease, mannanase) supplementation in the finisher diet of broiler chickens.

Materials and Methods: A total of 500, 26-day broiler chickens mixed sex were allocated in a completely randomized design (CRD) with a 5 $\times$ 2 factorial arrangement, ten experimental treatments combining five levels of CM (0, 6, 12, 18, and 24%) and two levels of multi-enzyme supplementation (0 and 50 mg/kg). The CM used in this study, obtained from the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Fars Province, contained 95.12% dry matter, 4671 kcal/kg gross energy, 37% crude protein, 6.3% ether extract, 11% crude fiber, and 7.01% ash dray mater basis. Birds were fed experimental diets based on corn-soybean meal, formulated using UFFDA software, from 26 to 46 days of age. During this period, various parameters were precisely evaluated, including growth performance indices (live body weight, weight gain, feed intake, and feed conversion ratio), quantitative carcass traits, small intestinal histomorphology indices (villus height and width, crypt depth, and muscular thickness), bone quality indices (ash percentage, calcium and phosphorus content, and bone characteristic), humoral immune responses measured by antibody titers against sheep red blood cells (SRBC), and serum metabolite levels (lipid profile, liver functional enzymes, and thyroid hormones). All collected data were statistically analyzed using SAS software with General Linear Model (GLM) procedure.

Results and Discussion: The results showed that with increasing the level of CM in the diet, abdominal fat decreased ($P<0.05$), which could be due to the high content of polyunsaturated fatty acids (PUFA) in Camelina oil and its role in inhibiting lipid synthesis. Also, increasing the level of CM in the diet increased the relative weight of the small intestine ($P<0.05$). This could be due to changes in physicochemical conditions and increased mechanical activities of the intestine in the presence of non-starch polysaccharides. On the other hand, bone quality indices showed a significant decrease in ash and calcium content of the femur with increasing the level of CM ($P<0.05$), which indicates that the phytic acid in this meal can cause impaired mineral absorption. Also, the pH of the small intestinal contents and the strength of the tibia changed as a quadratic equation ($P<0.05$); decreasing the pH of the intestinal contents increases mineral absorption and improves bone strength. The immune response against sheep red blood cell injection also decreased with increasing CM in the diet ($P<0.05$). The reduced immune response in birds may be attributed to its anti-nutritional components such as glucosinolates and tannins. Multi-enzyme supplementation improved feed conversion ratio ($P<0.05$), which may be due to the degradation of non-starch polysaccharides, reduced viscosity of digesta, and increased nutrient digestion and absorption. Multi-enzyme supplementation also increased triglyceride levels and reduced liver enzyme ALT and thyroid hormone T3 ($P<0.05$), indicating improved energy status and reduced metabolic stress on the liver. Other studied parameters were not affected by the main effects of CM level, multi-enzyme addition, and interactions between them.

Conclusion: The current study results showed that replacing CM in the finisher diet of broiler chickens (Arian strain) up to 24%; 1) had no adverse effect on growth performance, 2) significantly reduced abdominal fat, 3) adding a multi enzyme (xylanase, beta-glucanase, cellulase, pectinase, protease, mannanase) improved feed conversion ratio, 4) however, by increasing CM levels in the finisher diet due to the presence of anti-nutritional compounds, negative effects were observed in bone quality and immune response against SRBC, therefore, the use of CM in the broiler chickens diet requires management of its side effects on bird health.

Keywords: Boiler, Camelina meal, Enzyme, Performance

۷۰ اثر سطوح کنجاله کاملینا و مکمل آنزیمی در جیره پایانی بر عملکرد، ریخت‌شناسی ژژنوم، خصوصیات استخوان،
۷۱ پاسخ ایمنی و متابولیت‌های خون جوجه‌های گوشتی

۷۲ محدثه اثنی عشری^۱، حیدر زرقی^{۲*}، محمدجواد آگاه^۳، احمد حسن آبادی^۴

۷۳ تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۰

۷۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۰۲

۷۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۴

۷۶ ۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم دامی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۷۷ ۲. دانشیار، گروه علوم دامی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۷۸ ۳. دانشیار، بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

۷۹ کشاورزی، شیراز، ایران

۸۰ ۴. استاد، گروه علوم دامی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۸۱ *نویسنده مسئول - ایمیل: h.zarghi@um.ac.ir

۸۲ <https://doi.org/10.22067/IJASR.2026.96456.1278>

چکیده

۸۵ به‌منظور بررسی اثر سطح کنجاله کاملینا در جیره پایانی جوجه‌های گوشتی با و بدون افزودن مخلوط آنزیمی (زایلاناز،
۸۶ بتاگلوکاناز، سلولاز، پکتیناز، پروتئاز، ماناناز) بر عملکرد رشد، راندمان لاشه، ریخت‌شناسی بافت ژژنوم، کیفیت استخوان، ایمنی
۸۷ و فراسنجه‌های خون آزمایشی با استفاده از ۵۰۰ قطعه جوجه گوشتی ۲۶ روزه (مخلوط دو جنس) سویه آرین انجام شد.
۸۸ آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چیدمان فاکتوریل ۵×۲؛ افزودن پنج سطح کنجاله کاملینا (صفر، ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴
۸۹ درصد) و دو سطح مخلوط آنزیمی (صفر و ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم) به جیره، ۱۰ تیمار، پنج تکرار و ۱۰ قطعه پرنده در هر
۹۰ تکرار انجام شد. پرندگان از سن ۲۶ تا ۴۶ روزگی با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. با افزایش سطح کنجاله کاملینا در جیره
۹۱ چربی حفره شکمی، درصد خاکستر و کلسیم استخوان ران و پاسخ ایمنی علیه تزریق گلبول‌های قرمز خون گوسفند با روند
۹۲ خطی کاهش و وزن نسبی روده کوچک افزایش یافت. همچنین pH محتویات روده کوچک و استحکام استخوان درشت‌نی
۹۳ به صورت معادله درجه دوم تغییر کرد. با افزودن مخلوط آنزیمی به جیره ضریب تبدیل خوراک به‌طور معنی‌دار بهبود، غلظت
۹۴ تری‌گلیسرید سرم خون افزایش و غلظت آنزیم آلانین‌آمینوترانسفراز و تری‌یدوتیرونین سرم خون کاهش یافت. سایر شاخص-
۹۵ های مورد مطالعه تحت اثرات اصلی سطح کنجاله کاملینا، افزودن مخلوط آنزیمی و اثرات متقابل بین آن‌ها واقع نشدند. به‌طور
۹۶ کلی نتایج این پژوهش نشان داد؛ می‌توان از کنجاله کاملینا تا سطح ۲۴ درصد در جیره پایانی جوجه‌های گوشتی استفاده کرد.
۹۷ با این حال، بهره‌گیری از آن مستلزم مدیریت اثرات جانبی آن بر سلامت جوجه‌های گوشتی است.

۹۸
۹۹ **واژگان کلیدی:** آنزیم، جوجه گوشتی، عملکرد، کنجاله کاملینا

مقدمه

۱۰۰
۱۰۱
۱۰۲ بیشترین هزینه‌ی تولید در صنعت پرورش طیور مربوط به تامین خوراک می‌باشد (Abdollahi et al., 2013). منابع
۱۰۳ پروتئینی، بخش مهمی از تغذیه طیور را تشکیل می‌دهند. در خوراک طیور، استفاده از کنجاله دانه‌های روغنی به عنوان منبع

پروتئینی بسیار اهمیت دارد. در حال حاضر، کنجاله سویا به عنوان مهم‌ترین منبع پروتئینی در کشور استفاده می‌شود (Jabari et al., 2018). به علاوه بخش قابل توجهی از کنجاله مورد نیاز برای تغذیه دام و طیور از طریق واردات تامین می‌شود. نوسانات قیمت این نهاده باعث ایجاد عدم اطمینان تولیدکنندگان برای تامین آن شده است (Sahaf et al., 2018). یکی از راه حل‌های این مشکل، کشت محصولات زراعی سازگار با اقلیم آب و هوای کشور مانند دانه روغنی کاملینا (Camelina sativa)، به منظور تامین بخشی از نیاز کشور است. دانه روغنی کاملینا یا کتان کش به گیاهان تیره چلیپاییان و گونه براسیکاسه تعلق دارد. این گیاه نسبت به سایر گیاهان دانه روغنی به‌ویژه کانولا نیاز آبی کمتری دارد، در برابر سرما و بیماری‌ها مقاوم‌تر است و قابلیت کشت در اراضی کم حاصلخیز را دارد. می‌توان کاملینا را به عنوان یک گیاه تناوبی در کشت غلات دیم مانند گندم و جو استفاده کرد (Moser & Vaughn, 2010). در حال حاضر قیمت جهانی کنجاله کاملینا نسبتاً ارزانتر از سایر منابع پروتئینی گیاهی، به ویژه کنجاله سویا است (Juodka et al., 2022).
 نتایج تحقیقات پیشین حاکی از این است که کنجاله کاملینا پتانسیل خوبی برای استفاده به عنوان یک منبع پروتئینی جایگزین ارزان و ارزشمند در خوراک دام و طیور دارند (Bulbul et al., 2015; Juodka et al., 2022; Matthäus & Zubr, 2000; Oryschak et al., 2020). مقدار قابل توجه پروتئین، انرژی، اسیدهای چرب ضروری (امگا ۳ و امگا ۶) و اسیدهای آمینه ضروری در کنجاله کاملینا، آن را به منبع بالقوه مناسبی از پروتئین گیاهی به همراه اسیدهای چرب ضروری در جیره طیور تبدیل می‌کند (Cherian, 2012). محتوای پروتئینی کاملینا تا حدود زیادی مشابه پروتئین کانولا است (Acamovic et al., 1999; Perera et al., 2022). با توجه به اینکه کنجاله کاملینا حاوی مقدار زیادی پروتئین با تعادل نسبتاً مناسب اسیدهای آمینه ضروری است، این کنجاله می‌تواند منبع مناسبی از پروتئین گیاهی برای استفاده در تغذیه دام و طیور باشد (Acamovic et al., 1999; Rashid & Razzaq, 2023; Russo & Reggiani, 2017).
 کنجاله کاملینا محتوی ترکیبات ضد مغذی می‌باشد که مصرف آن در جیره‌های طیور را محدود می‌کند (Matthäus & Angelini, 2005; Murphy, 2016; Schuster & Friedt, 1998). یکی از موارد محدود کننده این کنجاله در خوراک طیور محتوای پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای (سلولزی و غیر سلولزی) است (Slominski, 2011; Woyengo et al., 2016). در دستگاه گوارش طیور آنزیم‌های تجزیه کننده‌ی پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای تولید نمی‌شود، بنابراین قابلیت تجزیه نداشته و باعث کاهش بازده خوراک می‌شوند. این ترکیبات مقادیر زیادی آب به خود جذب می‌کنند در نتیجه ویسکوزیته دستگاه گوارش پرنده افزایش می‌یابد. افزایش ویسکوزیته باعث ایجاد مشکلاتی در هضم و جذب مواد مغذی می‌شود (Alagawany et al., 2018). گزارش شده است؛ می‌توان با افزودن آنزیم‌های برون‌زادی به جیره طیور اثرات منفی ناشی از پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای را برطرف کرد (Alagawany et al., 2018) و به واسطه آن قابلیت هضم مواد مغذی، عملکرد رشد و سلامت طیور را بهبود داد (Abd El-Hack et al., 2018; Alagawany et al., 2018). با توجه به مطالب فوق این پژوهش به منظور بررسی اثرات استفاده از سطوح مختلف کنجاله کاملینا با و بدون افزودن مخلوط آنزیمی (زایلاناز-بتاگلوکاناز-پکتیناز-پروتئاز) به جیره پایانی جوجه‌های گوشتی انجام شد.

مواد و روش‌ها

تهیه کنجاله کاملینا

کنجاله مورد استفاده در این پژوهش به میزان مورد نیاز از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس (دانه کاملینای رقم سهیل و روغن کشی به روش حلال) تهیه شد. ترکیبات شیمیایی کنجاله کاملینا در آزمایشگاه آنالیز مواد

خوراکی تعیین شد (AOAC, 2002) که شامل: ماده خشک (روش ۹۳۰/۱۵) ۹۵/۱۲ درصد، انرژی خام (بمب کالریمتر مدل پر ۱۲۶۱) ۴۶۷۱ کیلو کالری در کیلو گرم، پروتئین خام (روش ۹۸۴/۱۳) ۳۷ درصد، چربی خام (روش ۹۲۰/۳۹) ۶/۳ درصد، فیبر خام (روش ۹۶۲/۰۹) ۱۱ درصد و خاکستر (روش ۹۴۲/۰۵) ۷/۰۱ درصد (ماده خشک) بود.

پرنده‌گان، جایگاه و شرایط پرورش

برای انجام این آزمایش تعداد ۷۰۰ قطعه جوجه گوشتی سویه آرین تا سن ۲۵ روزگی با جیره تجاری بر پایه ذرت- سویا تغذیه شدند. با حذف پرنده‌گان سبک و سنگین وزن تعداد ۵۰۰ قطعه جوجه در سن ۲۶ روزگی با حداکثر یکنواختی وزن گروهی (میانگین وزن 671 ± 33 گرم) بین ۵۰ واحد آزمایشی (پن‌هایی به مساحت یک متر مربع تجهیز به آبخوری اتومات نیپل و دانخوری سطلی) مستقر شدند. در طول آزمایش دمای سالن در دامنه ۲۲-۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی آن در دامنه ۶۰-۵۰ درصد تنظیم و برنامه نوری ۱۸ ساعت روشنایی و ۶ ساعت خاموشی اعمال شد. پرنده‌گان در تمام دوره آزمایش به آب و خوراک آزادانه دسترسی داشتند.

جیره‌های آزمایشی

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ تیمار و چیدمان فاکتوریل 5×2 شامل افزودن پنج سطح کنجاله کاملینا (صفر، ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴ درصد) و دو سطح مخلوط آنزیمی (صفر و ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم) به جیره‌های پایانی (دوره سنی ۳۶-۲۶ و ۴۶-۳۷ روزگی)، با ۵ تکرار و ۱۰ قطعه پرنده در هر تکرار (واحد آزمایشی) انجام شد. مخلوط آنزیمی مورد استفاده در این آزمایش مولتی آنزیم روابیو (ROVABIO®, Adisseo France) حاوی زایلاناز، بتاگلوکاناز، سلولاز، پکتیناز، پروتئاز و ماناناز بود. جیره‌های آزمایشی با توجه به احتیاجات پرنده، براساس راهنمای سویه آرین با استفاده از نرم افزار UFFDA به گونه‌ای تنظیم شدند که مقادیر انرژی، پروتئین و سایر مواد مغذی با یکدیگر برابر باشند. ترکیبات جیره‌های آزمایشی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. اجزا و ترکیب جیره‌های آزمایشی^۱

Table 1. Ingredients and composition of the experimental diets¹

اجزای جیره Ingredients (%)	جیره ۲۶-۳۶ روزگی 26-36 days of age diet					جیره ۳۷-۴۶ روزگی 37-46 days of age diet				
	سطح کنجاله کاملینا در جیره Camelina meal level in diet (%)									
	0	6	12	18	24	0	6	12	18	24
ذرت Corn	64.90	63.04	61.17	59.31	57.44	68.37	66.50	64.64	62.77	60.90
کنجاله سویا Soybean meal	29.60	25.01	20.43	15.84	11.25	26.65	22.06	17.47	12.88	8.29
کنجاله کاملینا Camelina meal	0.00	6.00	12.00	18.00	24.00	0.00	6.00	12.00	18.00	24.00
روغن سویا Soybean oil	1.66	2.09	2.53	2.96	3.39	1.10	1.53	1.97	2.40	2.83
ال- لیزین هیدروکلرید L- lysine HCL	0.18	0.23	0.28	0.32	0.37	0.19	0.24	0.29	0.34	0.39
دی- ال- متیونین DL- methionine	0.24	0.23	0.21	0.20	0.18	0.23	0.22	0.20	0.19	0.17
ال- ترئونین L- threonine	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.10	0.11	0.12	0.12	0.13
دی- کلسیم فسفات Dicalcium phosphate	1.52	1.52	1.51	1.51	1.50	1.55	1.54	1.54	1.53	1.52
کربنات کلسیم Calcium carbonate	0.96	0.94	0.92	0.90	0.88	0.96	0.94	0.92	0.90	0.88
مکمل ویتامینی ^۲	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

Vitamin premix ²										
مکمل معدنی ²	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Mineral premix ³										
نمک طعام	0.34	0.35	0.35	0.36	0.36	0.34	0.35	0.35	0.36	0.36
Salt										
(Calculated nutrient composition) ترکیب محاسباتی										
انرژی قابل سوخت و ساز	3025	3025	3025	3025	3025	3025	3025	3025	3025	3025
AMEn energy (kcal/kg)										
پروتئین خام	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
Crude protein (%)										
فیبر خام	3.08	3.45	3.83	4.20	4.57	2.99	3.36	3.74	4.11	4.48
Crude fiber (%)										
کلسیم	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
Calcium (%)										
فسفر قابل دسترس	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
Available phosphorus (%)										
سدیم	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Sodium (%)										
لیزین قابل هضم	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
Digestible Lys (%)										
متیونین قابل هضم	0.50	0.49	0.49	0.48	0.47	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45
Digestible Met (%)										
متیونین + سیستین قابل هضم	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
Digestible Met + Cys (%)										
ترئونین قابل هضم	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Digestible Thr (%)										

¹هر یک از جیره‌ها به دو قسمت مساوی تقسیم و به یک قسمت آن مقدار ۵۰ گرم در تن مخلوط آنزیمی (روابو (ROVABIO®, Adisseo France) حاوی زایلاناز، بتاکلوکاناز، سلولاز، پکتیناز، پروتئاز و ماناناز) و به قسمت بدون آنزیم ۵۰ گرم در تن سیوس گندم اضافه شد.

²مکمل ویتامینه در هر کیلوگرم جیره مواد زیر را تأمین میکرد: ویتامین A، ۵۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی؛ ویتامین D₃، ۲۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی؛ ویتامین E، ۳۲۰۰۰ میلی‌گرم؛ ویتامین K₂، ۱۲۸۰ میلی‌گرم؛ ویتامین B₁₂، ۸ میلی‌گرم؛ تیامین، ۱۲۷۴ میلی‌گرم؛ ریبوفلاوین، ۳۴۴۰ میلی‌گرم؛ نیاسین، ۲۵۰۰ میلی‌گرم؛ اسید پانتوتیک، ۷۴۱۶ میلی‌گرم؛ پیریدوکسین، ۱۹۴۴ میلی‌گرم؛ اسید فولیک، ۸۸۰ میلی‌گرم؛ بیوتین، ۱۰۰ میلی‌گرم؛ آنتی اکسیدان، ۱۰۰۰ میلی‌گرم.

³مکمل معدنی در هر کیلوگرم جیره مواد زیر را تأمین میکرد: منگنز، ۴۸۰۰۰ میلی‌گرم؛ آهن، ۸۰۹۲ میلی‌گرم؛ روی، ۲۴۰۳۰ میلی‌گرم؛ مس، ۶۴۴۸ میلی‌گرم؛ ید، ۵۰۰ میلی‌گرم؛ سلنیوم، ۱۲۰ میلی‌گرم.

¹Each one of diets was divided into two equal portion and enzyme cocktail was added to one part and wheat bran to another part at rate of 50 g/Ton.

²Vitamin permix Supplied the following, per kilogram of diet: vitamin A, 5000000 IU; vitamin D₃, 2000000 IU; vitamin E, 32000 mg; vitamin K₂, 1280 mg; vitamin B₁₂, 8 mg; thiamine, 1274 mg; riboflavin, 3440 mg; niacin, 25000 mg; pantothenic acid, 7416 mg; pyridoxine, 1944 mg; folic acid, 880 mg; biotin, 100 mg; Anti-Oxidant, 1000 mg.

³Mineral permix Supplied the following per kilogram of diet: Mn, 48000 mg; Fe, 8092 mg; Zn, 44030 mg; Cu, 6448 mg; I, 500 mg; Se, 120 mg.

۱۵۶

۱۵۷

عملکرد رشد

۱۵۸

شاخص‌های عملکرد رشد مورد ارزیابی شامل میانگین وزن زنده در پایان دوره آزمایش (۴۶ روزگی)، میزان مصرف خوراک،

۱۵۹

افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک در دوره آزمایش (۴۶-۲۶ روزگی) بود. به منظور به حداقل رساندن خطای آزمایش مربوط

۱۶۰

به وزن محتویات دستگاه گوارش، قبل از وزن کشی به جوجه‌ها ۴ ساعت گرسنگی داده شد. خوراک مصرفی به صورت گرم

۱۶۱

در روز و ضریب تبدیل خوراک از تقسیم مقدار خوراک مصرفی بر افزایش وزن محاسبه شد.

۱۶۲

پاسخ ایمنی

۱۶۳

جهت سنجش ایمنی همورال از روش سنجش مستقیم هموآگلوتیناسیون، برای اندازه گیری پاسخ ایمنی (آنتی‌بادی تولید

۱۶۴

شده) بر علیه گلبول‌های قرمز گوسفند (SRBC) استفاده شد. در سن ۲۹ روزگی ۰/۵ میلی لیتر محلول ۵ درصد SRBC به

۱۶۵

عضلات سینه‌ای ۲ پرنده از هر تکرار تزریق شد. برای اندازه‌گیری پاسخ آنتی بادی اولیه به SRBC، ۷ روز پس از تزریق اول

۱۶۶

(۳۶ روزگی)، ۲ میلی لیتر خون از همان دو پرنده جمع آوری شد و برای آزمایش تبتر آنتی بادی ثانویه، ۰/۵ میلی لیتر از

۱۶۷

محلول SRBC مجدداً تزریق شد و پس از ۷ روز (۴۳ روزگی)، خونگیری مجدد انجام شد (Allahdo et al., 2018). از

نمونه خون سرم جدا و به آزمایشگاه به منظور سنجش تیتراژ آنتی‌بادی انتقال یافت. اندازه‌گیری پاسخ تیتراژ آنتی‌بادی علیه SRBC با استفاده از روش سنجش مستقیم هم‌آگلوتیناسیون برای تعیین ایمنوگلوبولین‌های کل (IgT)، ایمنوگلوبولین‌های مقاوم به مرکاپتواتانول (IgG) و ایمنوگلوبولین‌های حساس به مرکاپتواتانول (IgM) انجام شد. تیتراژ آنتی‌بادی علیه SRBC به صورت $\log_2$ معکوس رقتی ($\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \dots, \frac{1}{256}$) از سرم خون که قادر باشد به طور قابل مشاهده یک حجم مساوی از سوسپانسیون ۵ درصد SRBC را آگلوتینه کند خوانده شد. (Cheema et al., 2003).

متابولیت‌های سرم خون

در روز ۴۶ دوره پرورش از هر واحد آزمایشی یک پرندۀ انتخاب شد و از سیاهرگ بال نمونه خون تهیه و در لوله‌های غیر هپارینه جمع‌آوری شد. پس از اتمام لخته شدن، نمونه‌های خون به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس با سرعت ۱۹۰۰g سانتریفیوژ شدند تا سرم استخراج شود. نمونه‌های سرم تا زمان ارزیابی موارد مورد بررسی در دمای ۲۰- نگهداری شدند. قبل از آزمایش، نمونه‌ها از فریزر خارج، یخ‌زدایی و تا دمای اتاق گرم شدند (Zarghi et al., 2022). میزان تری‌گلیسیرید (TG)، کلسترول (Chol)، لیپوپروتئین با چگالی بالا (HDL)، لیپوپروتئین با چگالی پایین (LDL)، پروتئین تام (TP)، آنزیم‌های دارای فعالیت کبدی شامل آسپاراتات آمینوترانسفراز (AST)، آلانین آمینوترانسفراز (ALT) و آلکالین فسفاتاز (ALP) و هورمون‌های تیروئید شامل تری‌یدوتیرونین (T3) و تیروکسین (T4) سرم خون با دستگاه اتوانالیزر (Roche, Cobas Bio, Basel, Switzerland) و کیت‌های شرکت پارس آزمون- ایران اندازه‌گیری شد.

کشتار و نمونه برداری

در سن ۴۶ روزگی از هر واحد آزمایشی یک قطعه پرندۀ انتخاب، وزن کشی و به روش ذبح اسلامی کشتار شد. پس از پوست کنی، وزن اجزای مختلف لاشه از جمله ران‌ها، سینه، پانکراس، روده‌ها و چربی محوطه شکمی اندازه‌گیری شد و وزن نسبی آن‌ها به ازای وزن زنده محاسبه شد. همچنین pH محتویات ژژنوم و ایلئوم اندازه‌گیری شد. برای انجام آزمایشات ریخت‌شناسی، از قسمت ژژنوم روده پرندگان کشتار شده، قطعه‌ای به اندازه‌ی یک سانتی‌متر جدا و با سرم فیزیولوژی شسته شد. برای جلوگیری از تخریب بافت‌ها و همچنین حفظ ساختمان فیزیکی نمونه‌های جدا شده، در فرمالین ۱۰ درصد قرار گرفتند و پس از ۲۴ ساعت فرمالین تعویض شد. همچنین استخوان ران و درشت‌نی پای چپ پرندگان برای بررسی شاخص‌های سنجش کیفیت استخوان جدا و تا زمان آزمایشات در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شد.

بافت شناسی ژژنوم

در آزمایشگاه بافت‌شناسی، نمونه‌های بافتی با اتانول آبگیری، در زایلن شفاف‌سازی و با قرار دادن نمونه‌ها در پارافین مایع اشباع‌سازی انجام شد. سپس با استفاده از قالب‌های لوکهارت و پارافین بلوک‌های بافتی تهیه شد. با استفاده از دستگاه میکروتوم (Leica RM 2145) برش‌های با ضخامت ۶-۷ میکرومتر تهیه شد. رنگ‌آمیزی نمونه‌های بافتی به روش هماتوکسیلین-ئوزین (Hematoxylin and Eosin) انجام شد. اندازه‌گیری‌های ریخت‌شناسی اسلایدهای روده با استفاده از میکروسکوپ نوری مجهز به دوربین (Model U-TV0.5 XC- 2, Olympus Corporation, BX41, Olympus, Tokyo, Japan) و بسته نرم‌افزاری Image-Pro Plus V 4.5 بر روی نه‌پرز انتخاب شده از هر اسلاید انجام شد (Zarghi et al., 2022). صفات ریخت‌شناسی عبارت بودند از (۱) ارتفاع پرز (فاصله از نوک پرز تا محل اتصال کریپت)، (۲) عرض پرز (میانگین عرض پرز در یک سوم و دو سوم طول پرز)، (۳) عمق کریپت (فاصله از پایه پرز تا زیر مخاط) و (۴) ضخامت ماهیچه‌ای. مساحت سطح پرزها طبق فرمول زیر محاسبه شد (Ebrahimi et al., 2017):

$$VSA (\mu m^2) = \frac{1}{2} VW \times VH \times 2\pi$$

که در آن VSA مساحت سطح پرزها؛ VW عرض پرزها؛ VH ارتفاع پرزها و π برابر با ۳/۱۴ است.

کیفیت استخوان

در نمونه‌های درشتنی وزن با استفاده از ترازوی دیجیتال (0.001 g, Model GF 400, A&D Weighing Co.) و طول و قطر با استفاده از کولیس دیجیتال (0.05 mm, Model 1116-150, Insize Co. Ltd., CA, USA) اندازه‌گیری شد. وزن هر استخوان هنگام غوطه‌ور شدن در آب مقطر برای محاسبه وزن مخصوص با روش ارشمیدس و با استفاده از فرمول زیر تعیین شد (Hempe et al., 1988):

$$SG (g/cm^3) = \frac{BW_a}{(BW_a - BW_w)}$$

که در آن SG وزن مخصوص؛ BWa وزن استخوان در هوا و BWw وزن استخوان در آب است.

همچنین استحکام استخوان درشتنی با استفاده از دستگاه طراحی شده در آزمایشگاه تربیت مدرس (Khorshidi et al., 2021) تعیین و نتایج به صورت نیروی (N) مورد نیاز برای رسیدن به شکست ساختاری استخوان درشت نی ثبت شد. استخوان‌های ران نیز وزن شده و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۵۵ درجه سلسیوس در آون خشک شدند. پس از آن، نمونه‌ها چربی‌زدایی شده و پس از خشک شدن برای تعیین ماده خشک وزن شدند (Xavier et al., 2015). استخوان‌ها برای تعیین خاکستر استخوان و محتوای مواد معدنی آسیاب شدند و سپس به مدت ۱۶ ساعت در کوره با دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. پس از افزودن خاکستر استخوان وزن شده (۰.۱ گرم) به اسید نیتریک غلیظ (۵ میلی‌لیتر)، نمونه‌ها به مدت ۱۰۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سلسیوس در بن ماری پیش هضم شدند. پس از هضم، محلول هضم شده با ۲۰ میلی لیتر آب دیونیزه با خلوص بالا ترکیب شد و محلول از کاغذ صافی عبور داده شد، به یک ظرف ۵۰ میلی‌لیتری منتقل شد و با آب دیونیزه با خلوص بالا حجم آن تنظیم شد (Kolakshyapati et al., 2019). سنجش کلسیم و فسفر با استفاده از طیف‌سنج پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-OES; Agilent Australia, Victoria, Australia) انجام شد.

آنالیز آماری داده‌ها

نتایج آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل و با استفاده از نرم افزار آماری (SAS, ۹/۴) و رویه‌ی مدل عمومی خطی GLM مورد تجزیه‌ی آماری قرار گرفتند (SAS, 2014). مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح احتمال (P < ۰/۰۵) و همچنین آنالیز رگرسیون خطی و درجه دوم اثر سطوح کنجاله کاملینا، برای کلیه مشاهدات انجام شد. مدل طرح آماری در فرمول زیر نشان داده شده است:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

که در آن Y_{ijk} مقدار مشاهده شده؛ μ میانگین جامعه؛ α_i اثر سطوح کنجاله کاملینا جیره؛ β_j اثر مخلوط آنزیم در جیره؛ $(\alpha\beta)_{ij}$ اثرات متقابل و ε_{ijk} اثر خطای آزمایش است.

نتایج و بحث

عملکرد رشد

شاخص‌های عملکرد رشد شامل وزن زنده، افزایش وزن بدن، میزان مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک جوجه‌های گوشتی در جدول ۲ گزارش شده است. بر اساس نتایج این جدول اثر سطح کنجاله کاملینا، افزودن مخلوط آنزیمی به جیره و

۲۳۲ اثر متقابل بین آنها بر وزن زنده در سن ۴۶ روزگی، افزایش وزن و مصرف خوراک در دوره سنی ۴۶-۲۶ روزگی معنی‌دار نشد.

۲۳۳ با افزودن مخلوط آنزیمی به جیره ضریب تبدیل خوراک به طور معنی‌دار بهبود یافت ($P<0/05$). اثر سطح کنجاله کاملینا در

۲۳۴ جیره و اثر متقابل بین سطح کنجاله کاملینا با افزودن مخلوط آنزیمی به جیره بر ضریب تبدیل خوراک معنی‌دار نشد.

۲۳۵ مطابق با نتایج آزمایش حاضر گزارش شده است که می‌توان از کنجاله کاملینا در جیره جوجه‌های گوشتی تا سطح ۱۰ درصد

۲۳۶ (Anca et al., 2019; Aziza et al., 2010; Aziza et al., 2014; Orczewska-Dudek & Pietras, 2019) و ۲۴ درصد (Oryschak et al., 2020) بدون بروز اثر منفی بر عملکرد و سلامت پرندگان استفاده کرد. مغایر با گزارش‌های

۲۳۷ فوق و نتایج پژوهش حاضر، با افزایش سطح کنجاله کاملینا تا سطح ۱۵ درصد در جیره آغازین و رشد (۲۱-۱ روزگی) (Pekel

۲۳۸ 2012; Thacker & Widyaratne, 2009; et al., 2009) و ۲۵ درصد در جیره کل دوره پرورش (Valkonen et al., 2008)

۲۳۹ جوجه‌های گوشتی شاخص‌های عملکرد رشد نامطلوب شدند. این اختلاف در نتایج حاصل از پژوهش‌ها می‌تواند ناشی از تنوع

۲۴۰ در میزان مواد ضد تغذیه‌ای و دسترسی مواد مغذی کنجاله کاملینا باشد. گیاه کاملینا تحت تاثیر وارسته، شرایط آب و هوایی و

۲۴۱ زراعی دارای مقادیر متنوع پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای، سینیپین، تانن و گلوکوزینولات‌ها است (Budin et al., 1995).

۲۴۲ علاوه بر این روش فرآوری دانه طی فرآیند روغن‌کشی و سن پرندگان تحت آزمایش می‌تواند باعث اختلاف در نتایج شود

۲۴۳ (Cherian, 2012). اگرچه گلوکوزینولات‌ها به تنهایی سمی نیستند، اما در اثر فعالیت آنزیم گیاهی میروزیناز و یا تحت تاثیر

۲۴۴ فعالیت میکروفلور روده، ترکیبات سمی (ایزوتیوسیانات‌ها، تیوسیانات‌ها، و نیتریل‌ها) از آنها ایجاد می‌شود که باعث کاهش

۲۴۵ ترشح هورمون‌های تیروئید (T3 و T4)، آسیب‌های کبدی، کاهش اشتها، رشد و راندمان تبدیل خوراک می‌شود (Schuster

۲۴۶ & Friedt, 1998). در پژوهش حاضر با افزایش پله‌ای (۶ درصد) سطح کنجاله کاملینا از صفر به ۲۴ درصد در جیره پایانی

۲۴۷ مصرف خوراک از ۱۴۵ گرم به ۱۳۹ گرم (به ازای هر قطعه پرند در روز) کاهش یافت اگرچه نتایج از نظر اماراتی معنی‌دار

۲۴۸ نبود ($P=0/09$). گزارش شده است وجود مواد ضد تغذیه‌ای شامل سینیپین، گلوکوزینولات و تانن در کنجاله کاملینا باعث

۲۴۹ کاهش میزان مصرف خوراک می‌شود (Matthäus & Zubr, 2000; Woyengo et al., 2016). نتایج پژوهش حاضر نشان

۲۵۰ داد افزودن مخلوط آنزیمی باعث بهبود ضریب تبدیل خوراک می‌شود. این نتایج با گزارش سایر محققین مطابقت دارد

۲۵۱ (Juodka et al., 2022; Woyengo et al., 2016). بهبود راندمان تبدیل خوراک با مکمل‌سازی جیره با مخلوط آنزیمی

۲۵۲ می‌تواند به دلیل کاهش ویسکوزیته محتویات دستگاه گوارش از طریق تجزیه پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای باشد، که با

۲۵۳ بهبود هضم و جذب مواد مغذی و سلامت دستگاه گوارش موجب بهبود عملکرد رشد می‌شود (Slominski, 2011).

۲۵۴

۲۵۵

جدول ۲. اثر سطح کنجاله کاملینا و مخلوط آنزیمی در جیره پایانی (۴۶-۲۶ روزگی) بر عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی

Table 2. The effect of finisher diet (26-46d) Camelina meal (CM) and multi enzyme (ME) level on growth performance of broiler chickens

سطح کنجاله کاملینا CM level, %	سطح مخلوط آنزیمی ME level, mg/Kg	وزن زنده		افزایش وزن بدن Weight gain	مصرف خوراک Feed intake	ضریب تبدیل خوراک Feed conversion ratio FI/WG
		روزگی	روزگی			
		Live body weight g/b	Live body weight g/b			
0	0	684	2167	70.62	150	2.13
6		685	2167	70.58	145	2.06
12		681	2063	65.79	137	2.09
18		659	2071	67.23	136	2.03
24		677	2110	68.24	142	2.08
0	50	651	2106	69.30	140	2.02
6		660	2188	72.75	147	2.01
12		665	2057	66.29	138	2.09

18	672	2134	69.60	142	2.04
24	680	2110	68.09	137	2.01
SEM	15.39	43.37	1.91	3.64	0.03
(CM level) سطح کنجاله کاملینا					
0	667	2137	69.96	145	2.08
6	672	2178	71.67	146	2.04
12	673	2060	66.04	138	2.09
18	666	2102	68.42	139	2.03
24	679	2110	68.16	139	2.05
SEM	10.88	30.66	1.35	2.57	0.02
(ME level) سطح مخلوط آنزیمی					
0	677	2116	68.49	142	2.08 ^a
50	665	2119	69.21	141	2.03 ^b
SEM	6.88	19.39	0.85	1.63	0.01
(P-Value) سطح احتمال معنی داری					
(CM) کاملینا	0.928	0.112	0.063	0.090	0.310
(ME) آنزیم	0.226	0.909	0.558	0.550	0.046
(CM × ME) کاملینا × آنزیم	0.528	0.704	0.852	0.242	0.378
(Regression analysis in responses to Camelina level) آنالیز رگرسیون پاسخ به سطح کنجاله کاملینا					
Linear	0.649	0.196	0.231	0.155	0.411
Quartic	0.844	0.421	0.429	0.402	0.924

^{a-b} تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ستون برای هر اثر معنی دار مشخص شده است ($P < 0.05$).

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها

^{a-b} Means within each column for each effect with uncommon superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

SEM: Standard Error of Means

خصوصیات لاشه

داده‌های مربوط به وزن نسبی (گرم به ازای ۱۰۰ گرم وزن زنده) لاشه، اجزای لاشه (سینه و ران) و اندام‌های دستگاه گوارشی (سنجش در سن ۴۶ روزگی) در جدول ۳ گزارش شده است. اثر اصلی سطح کنجاله کاملینا و افزودن مخلوط آنزیمی به جیره پایانی و اثر متقابل بین آنها بر وزن نسبی لاشه، گوشت سینه و ران معنی‌دار نبود. با افزایش سطح کنجاله کاملینا در جیره با روند خطی وزن نسبی روده کوچک افزایش ($P < 0.05$) و چربی شکمی کاهش یافت ($P < 0.001$).

کاهش چربی شکمی جوجه‌های گوشتی در پاسخ به افزایش سطح کنجاله کاملینا در جیره پایانی با مطالعات پیشین مطابقت دارد به طوری که گزارش شده است، با افزودن ۸ درصد (Anca et al., 2019) و ۱۰ درصد (Orczewska-Dudek & Pietras, 2019) کنجاله کاملینا به جیره پایانی (۲۱-۴۲ روزگی) جوجه‌های گوشتی، چربی شکمی به صورت عددی کاهش یافت. همچنین در پژوهش دیگر که از سطوح ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد کنجاله کانولا در جیره (۱-۳۵ روزگی) جوجه‌های گوشتی استفاده شده بود نتایج نشان داد با افزایش سطح کنجاله کانولا در جیره، چربی شکمی با روند خطی نزدیک به معنی داری ($P = 0.07$) کاهش یافت (An et al., 2016). سطح بالای پلی‌ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای در کنجاله کاملینا (Slominski, 2011; Woyengo et al., 2016) باعث افزایش ویسکوزیته محتویات روده، تحریک رشد باکتری‌های بی‌هوازی، افزایش جمعیت باکتریایی، تحریک مخاط روده، افزایش ضخامت آن و دکنژوگه نمک‌های صفراوی (جدا کردن گلیسین یا تورین از نمک‌های صفراوی و تبدیل آن‌ها به نمک‌های صفراوی ثانویه مثل دئوکسی‌کولیک و لیتوکولیک) در نتیجه کاهش هضم و جذب چربی‌ها می‌شود (Zarghi et al., 2016). از سوی دیگر با توجه به اینکه حدود ۵۵ درصد از کل اسیدهای چرب موجود در روغن کاملینا را اسیدهای چرب غیراشباع چندانگانه (PUFAs) تشکیل می‌دهند (Singh et al.,

این ترکیبات قادرند سنتز لیپیدها در کبد را مهار کرده و فرآیندهای ترموژنز را افزایش دهند (Orczewska-Dudek, 2023)، لذا می‌توان کاهش چربی شکمی مشاهده شده در سطوح بالای کنجاله کاملینا در جیره را به این اثرات متابولیکی نسبت داد. اگرچه در مقابل با گزارش‌های فوق و نتایج پژوهش حاضر، نشان داده شده است که افزایش سطح ۲/۵، ۵ و ۱۰ درصدی کنجاله کاملینا به جیره جوجه‌های گوشتی در دوره سنی ۴۲-۱ روزگی تاثیر معنی‌داری بر تجمع چربی شکمی نداشت (Aziza et al., 2010). افزایش وزن نسبی روده کوچک در پاسخ به افزایش سطح کنجاله کاملینا در پژوهش حاضر می‌تواند به بالا بودن میزان پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای (محلول و نامحلول) در کنجاله کاملینا باشد که با تغییر شرایط فیزیکیوشیمیایی روده موجب افزایش فعالیت‌های مکانیکی روده می‌شود (Zarghi et al., 2016).

pH محتویات روده

داده‌های مربوط به pH محتویات روده کوچک (ژژنوم و ایلئوم) سنجش در سن ۴۶ روزگی در جدول ۳ گزارش شده است. در پاسخ به افزایش سطح کنجاله کاملینا در جیره پایانی جوجه‌های گوشتی تغییرات pH محتویات روده کوچک (ژژنوم و ایلئوم) دارای روند معادله درجه دوم بود ($P < 0.05$). به طوری که با افزایش سطح کنجاله کاملینا در جیره از صفر درصد (جیره بر پایه ذرت-کنجاله سویا) به ۶ و سپس ۱۲ درصد pH در ژژنوم و ایلئوم افزایش و سپس با افزایش سطح کنجاله کاملینا در جیره به ۱۸ و ۲۴ درصد pH محتویات کاهش یافتند. معادله خط تغییرات pH محتویات روده در برابر سطح کنجاله کاملینا محاسبه و با مشتق گیری نقطه شکست سطح کاملینا طی روند تغییرات pH برای ژژنوم و ایلئوم به ترتیب ۱۲ و ۱۱ درصد محاسبه شد که نشان دهنده بروز بالاترین pH محتویات روده در این سطح کنجاله کاملینا در جیره است. مطابق با داده‌های آزمایش حاضر، در پژوهشی که در آن از کنجاله کانولا در خوراک بوقلمون‌های در حال رشد استفاده شده بود؛ مشاهده شد که افزودن کنجاله کانولا تا سطح ۱۲ درصد pH روده کوچک را افزایش داده و پس از آن در سطح ۱۸ درصد این مقدار کاهش یافته است (Zduńczyk et al., 2013). فیبر خوراک می‌تواند باعث رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید مانند بیفیدوباکتریوم و لاکتوباسیلوس شود. میکروارگانیسم‌های روده می‌توانند اجزای خوراک هضم نشده یا موئین‌ها را تخمیر کرده و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر تولید کنند که این اسیدها می‌تواند اسیدیته روده را کاهش دهد (Dalile et al., 2019; Niu, 2023). بر خلاف نتایج آزمایش حاضر گزارش شد که افزودن کنجاله کاملینا به جیره خوک‌ها اثر معنی‌داری بر pH ژژنوم و ایلئوم آنها ندارد (Luise et al., 2024).

جدول ۳. اثر سطح کنجاله کاملینا و مخلوط آنزیمی در جیره پایانی (۴۶-۲۶ روزگی) بر وزن نسبی اجزای لا شه و اندام‌های گوارشی (گرم در ۱۰۰ گرم وزن زنده) و

pH محتویات روده جوجه‌های گوشتی سنجش در سن ۴۶ روزگی

Table 3. The effect of finisher diet (26-46d) Camelina meal (CM) and multi enzyme (ME) level on carcass components and digestive organ relative weight (g/100g live body weight) and intestinal contents pH of broiler chickens at 46 d of age

سطح کنجاله کاملینا	سطح مخلوط آنزیمی	لاشه	سینه	ران	چربی شکمی	روده کوچک	پانکراس	روده بزرگ	Intestinal pH	
									ژژنوم	ایلئوم
CM level, %	ME level, mg/Kg	Carcass	Breast	Thigh	Abdominal Fat	Small Intestine	Pancreas	Large Intestine	Jejunum	Ileum
0	0	59.69	18.96	21.07	2.50	2.48	0.24	0.57	4.94	5.70
6		60.75	20.19	20.30	1.88	2.77	0.25	0.54	5.17	5.92
12		60.59	20.09	20.49	1.63	2.69	0.26	0.54	5.31	6.08
18		58.71	20.15	19.81	1.06	2.87	0.20	0.62	5.45	5.89
24		57.94	18.94	19.95	1.26	2.72	0.23	0.50	5.03	5.42
0	50	59.76	20.66	19.81	2.29	2.54	0.23	0.52	5.24	5.70
6		59.78	20.76	20.06	1.74	2.47	0.22	0.63	5.28	5.82
12		61.03	21.28	19.78	1.46	2.49	0.24	0.56	5.41	6.07
18		59.42	19.23	20.68	1.58	2.62	0.18	0.54	5.21	5.88

24	60.93	20.59	19.84	1.14	2.93	0.25	0.55	4.99	5.61
SEM	0.946	0.782	0.469	0.214	0.158	0.025	0.041	0.174	0.198
سطح کنجاله کاملینا (CM level)									
0	59.72	19.81	20.44	2.39 ^a	2.51	0.24	0.55	5.09	5.70
6	60.27	20.47	20.18	1.81 ^{ab}	2.62	0.24	0.58	5.23	5.87
12	60.81	20.69	20.13	1.54 ^b	2.59	0.25	0.55	5.36	6.07
18	59.06	19.69	20.25	1.32 ^b	2.74	0.19	0.58	5.33	5.88
24	59.43	19.76	19.89	1.20 ^b	2.83	0.24	0.53	5.01	5.51
SEM	0.668	0.553	0.332	0.151	0.112	0.017	0.029	0.123	0.140
سطح مخلوط آنزیمی (ME level)									
0	59.54	19.67	20.32	1.67	2.71	0.24	0.55	5.18	5.80
50	60.18	20.50	20.03	1.64	2.61	0.22	0.56	5.22	5.81
SEM	0.423	0.349	0.210	0.096	0.070	0.011	0.018	0.078	0.088
سطح احتمال معنی داری (P-Value)									
کاملینا (CM)	0.391	0.602	0.839	<0.001	0.291	0.213	0.612	0.233	0.086
آنزیم (ME)	0.289	0.101	0.339	0.852	0.351	0.387	0.806	0.690	0.896
کاملینا × آنزیم (CM × ME)	0.338	0.444	0.256	0.421	0.445	0.855	0.253	0.637	0.966
آنالیز رگرسیون پاسخ به سطح کنجاله کاملینا (Regression analysis in responses to Camelina level)									
Linear	0.413	0.623	0.335	<0.001	0.032	0.616	0.595	0.026	0.010
Quartic	0.307	0.259	0.981	0.086	0.768	0.593	0.337	0.019	0.004

^{a-b} تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ستون برای هر اثر معنی دار مشخص شده است ($P < 0.05$).

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها

^{a-b} Means within each column for each effect with uncommon superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

SEM: Standard Error of Means

هیستومورفومتری (ریخت‌شناسی) روده

اطلاعات مربوط به ریخت‌شناسی بافت ژژنوم جوجه‌های گوشتی در سن ۴۶ روزگی در جدول ۴ آمده است. اثر اصلی سطح کنجاله کاملینا و افزودن مخلوط آنزیمی به جیره پایانی جوجه‌های گوشتی و اثرات متقابل بین کنجاله کاملینا و مخلوط آنزیمی بر روی شاخص‌های بافت شناسی روده (ریخت‌شناسی) معنی‌دار نبود. مغایر با نتایج آزمایش حاضر گزارش شده است که با افزودن کنجاله کاملینا به جیره جوجه‌های گوشتی، طول ویلی و نسبت طول ویلی به عمق کریپت کاهش می‌یابد (Aziza et al., 2014). نسبت طول ویلی به عمق کریپت به عنوان یک معیار مفید برای تخمین ظرفیت گوارشی روده کوچک در نظر گرفته می‌شود و مقدار بالای این نسبت نشان‌دهنده یک مخاط روده با تمایز خوب با قابلیت هضم و جذب بالا است (Montagne et al., 2003; Pell et al., 1992).

جدول ۴. اثر سطح کنجاله کاملینا و مخلوط آنزیمی در جیره پایانی (۴۶-۲۶ روزگی) بر ریخت‌شناسی ژژنوم جوجه‌های گوشتی در سن ۴۶ روزگی

Table 4. The effect of finisher diet (26-46d) Camelina meal (CM) and multi enzyme (ME) level on jejunal morphology of broiler chickens at 46 d of age

نسبت طول ویلی به عمق کریپت Villus Height/ Crypt Depth	سطح جانبی ویلی Villus Surface Area, 1000 μm^2	لایه عضلانی Muscular Thickness, μm	عمق کریپت Crypt Depth, μm	عرض ویلی Villus Width, μm	طول ویلی Villus Height, μm	سطح کنجاله کاملینا CM level, %
					مخلوط آنزیمی ME level, mg/Kg	سطح کنجاله کاملینا CM level, %
7.35	816	157	147	239	1089	0
6.59	782	153	183	207	1193	6
6.12	716	176	187	201	1150	12
7.13	864	158	189	210	1349	18
6.91	773	140	191	191	1326	24
6.14	779	151	188	214	1153	50
6.13	892	184	175	263	1075	6

12	1218	234	190	141	913	6.40
18	1147	254	185	153	910	6.24
24	1094	206	174	146	705	6.41
SEM	104.98	21.27	12.66	12.03	99.08	0.363
(CM level) سطح کنجاله کاملینا						
0	1121	226	167	154	797	6.74
6	1134	235	179	168	837	6.36
12	1184	218	188	158	815	6.26
18	1248	232	187	155	887	6.68
24	1210	199	183	143	739	6.66
SEM	74.22	15.04	8.95	8.51	70.07	0.26
(ME level) سطح مخلوط آنزیمی						
0	1221	209	179	157	790	6.82
50	1137	234	182	155	840	6.26
SEM	46.94	9.513	5.66	5.38	44.31	0.16
(P-Value) سطح احتمال معنی داری						
(CM) کاملینا	0.731	0.453	0.482	0.335	0.666	0.592
(ME) آنزیم	0.217	0.075	0.692	0.815	0.434	0.122
(CM × ME) کاملینا × آنزیم	0.458	0.372	0.199	0.124	0.669	0.343
(Regression analysis in responses to Camelina level) آنالیز رگرسیون پاسخ به سطح کنجاله کاملینا						
Linear	0.214	0.245	0.176	0.196	0.757	0.859
Quartic	0.747	0.365	0.206	0.157	0.272	0.233

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها

SEM: Standard Error of Means

۳۰۶

۳۰۷

کیفیت استخوان

۳۰۸ نتایج مربوط به سنجش شاخص‌های کیفیت استخوان در جدول ۵ گزارش شده است. اثر اصلی سطح کنجاله کاملینا بر
 ۳۰۹ میزان خاکستر و کلسیم استخوان ران و استحکام استخوان درشت نی جوجه‌های معنی‌دار شد ($P < 0.05$). با افزایش سطح
 ۳۱۰ کنجاله کاملینا در جیره، خاکستر و کلسیم استخوان ران با روند خطی کاهش یافتند. کاهش درصد خاکستر و کلسیم استخوان
 ۳۱۱ در پاسخ به افزایش سطح کنجاله کاملینا احتمالاً به دلیل وجود اسید فائیک در این کنجاله است که به عناصر معدنی متصل
 ۳۱۲ شده و آنها را از دسترس خارج می‌کند (Singh, 2008). در پاسخ به افزایش سطح کنجاله کاملینا در جیره پایانی، استحکام
 ۳۱۳ استخوان درشت نی به صورت معادله درجه دوم تغییر نشان داد، با افزایش سطح کنجاله کاملینا در جیره پایانی از صفر درصد
 ۳۱۴ (جیره بر پایه ذرت-کنجاله سویا) به ۶ و ۱۲ درصد، استحکام استخوان کاهش و با افزایش سطح کنجاله کاملینا به ۱۸ و به
 ۳۱۵ خصوص در سطح ۲۴ درصد استحکام استخوان افزایش یافت. معادله خط تغییرات استحکام استخوان درشت نی در برابر سطح
 ۳۱۶ کنجاله کاملینا محاسبه و با مشتق‌گیری نقطه شکست سطح کاملینا طی روند تغییرات استحکام استخوان ۱۲/۸ درصد محاسبه
 ۳۱۷ شد که نشان دهنده بروز پایین‌ترین مقاومت استخوان در برابر نیروی وارده در این سطح کنجاله کاملینا در جیره است. این
 ۳۱۸ روند تغییر استحکام استخوان با روند تغییر pH روده مطابقت دارد به طوری که در شرایط pH پایین محتویات ژلنوم و ایلئوم
 ۳۱۹ جذب مواد معدنی (منیزیم، روی و مس) بهبود یافت و باعث بهبود استحکام استخوان درشت نی شده است (Boling-
 ۳۲۰ Frankenbach et al., 2001). همچنین از آنجا که کنجاله کاملینا منبع قابل توجهی از اسیدهای چرب غیراشباع با زنجیره
 ۳۲۱ بلند است، افزایش آن در جیره می‌تواند نسبت اسیدهای چرب امگا ۳ به امگا ۶ را تغییر دهد. این تغییر ممکن است به طور
 ۳۲۲ غیرمستقیم بر سنتز و بازسازی استخوان تأثیر بگذارد، زیرا تعادل میان این دو نوع اسید چرب بر فعالیت استئوکلاست‌ها و
 ۳۲۳ استئوبلاست‌ها اثرگذار است (Watkins et al., 2001). مغایر با نتایج فوق گزارش شده است که افزودن کنجاله کاملینا تا

سطح ۱۰ درصد در جیره جوجه های گوشتی تاثیر معنی داری بر وزن و درصد خاکستر استخوان درشت نی نگذاشت (Pekel et al., 2017). اثر اصلی افزودن مخلوط آنزیمی و اثر متقابل بین سطح کنجاله کاملینا با افزودن مخلوط آنزیمی به جیره تاثیر معنی داری بر شاخص های سنجش کیفیت استخوانی نداشت.

جدول ۵. اثر سطح کنجاله کاملینا و مخلوط آنزیمی در جیره پایانی (۴۶-۲۶ روزگی) بر پارامترهای استخوان جوجه های گوشتی در سن ۴۶ روزگی
Table 5. The effect of finisher diet (26-46d) Camelina meal (CM) and multi enzyme (ME) level on bone parameters of broiler chickens at 46 d of age

سطح کنجاله کاملینا CM level, %	سطح مخلوط آنزیمی ME level, mg/Kg	درشت نی (Tibia)					ران (Femur)						
		وزن Weight, gr	طول Length, mm	قطر Diameter, mm	وزن حجمی Specific gravity, gr/cm ³	استحکام Strength, N	وزن Weight, gr	خاکستر Ash, %	کلسیم Ca, %	فسفر Ph, %	منیزیم Mg, %	روی Zn, %	مس Cu, %
0	0	19.50	111.75	9.32	1.18	92.18	6.37	52.54	19.03	3.41	0.22	13.84	2.93
6		16.22	105.00	8.16	1.17	83.68	5.41	52.34	18.84	3.40	0.15	9.57	2.13
12		16.37	106.75	8.00	1.18	78.45	5.15	50.03	18.05	3.27	0.22	14.40	2.86
18		16.64	105.75	8.81	1.17	75.35	5.68	51.79	18.48	3.29	0.13	9.39	2.18
24		17.42	108.00	8.81	1.17	84.16	5.44	50.09	18.73	3.53	0.21	14.17	3.43
0	50	16.89	106.75	8.50	1.18	87.70	5.53	52.67	19.23	3.45	0.17	12.00	3.00
6		16.28	105.25	8.44	1.19	86.41	5.37	53.06	19.25	3.51	0.15	8.53	2.10
12		16.68	108.75	8.20	1.16	73.95	5.34	49.73	18.63	3.46	0.12	8.51	2.01
18		16.36	107.25	8.21	1.16	81.01	5.38	51.01	18.93	3.51	0.17	13.76	3.48
24		15.85	106.25	7.96	1.17	94.61	5.46	49.48	18.38	3.40	0.14	9.22	2.10
SEM		0.719	1.722	0.322	0.011	3.874	0.244	0.695	0.283	0.081	0.023	1.270	0.258
سطح کنجاله کاملینا (CM level)													
0		18.19	109.25	8.91	1.18	89.94 ^a	5.95	52.60 ^a	19.13 ^a	3.43	0.19	12.92	2.97
6		16.25	105.13	8.30	1.18	85.04 ^{ab}	5.39	52.70 ^a	19.04 ^a	3.45	0.15	9.05	2.12
12		16.52	107.75	8.10	1.17	76.20 ^b	5.25	49.88 ^b	18.34 ^b	3.36	0.17	11.46	2.43
18		16.50	106.50	8.51	1.17	78.18 ^b	5.53	51.40 ^{ab}	18.71 ^{ab}	3.40	0.15	11.58	2.83
24		16.64	107.13	8.38	1.17	89.38 ^a	5.45	49.78 ^b	18.55 ^b	3.46	0.17	11.69	2.76
SEM		0.509	1.218	0.228	0.008	2.739	0.172	0.491	0.199	0.057	0.016	0.898	0.183
سطح مخلوط آنزیمی (ME level)													
0		17.23	107.45	8.62	1.18	82.76	5.61	51.35	18.62	3.38	0.18	12.27	2.71
50		16.41	106.85	8.26	1.17	84.74	5.42	51.19	18.88	3.47	0.15	10.40	2.54
SEM		0.322	0.770	0.144	0.005	1.732	0.109	0.311	0.126	0.036	0.010	0.568	0.116
سطح احتمال معنی داری (P-Value)													
کاملینا (CM)		0.076	0.209	0.169	0.569	0.002	0.075	0.001	0.047	0.731	0.309	0.067	0.067
آنزیم (ME)		0.083	0.586	0.091	0.602	0.427	0.222	0.707	0.157	0.102	0.061	0.077	0.312
کاملینا×آنزیم (CM × ME)		0.235	0.267	0.234	0.457	0.253	0.267	0.820	0.512	0.213	0.068	0.073	0.070
آنالیز رگرسیون پاسخ به سطح کنجاله کاملینا (Regression analysis in responses to Camelina level)													
Linear		0.100	0.477	0.281	0.119	0.0002	0.136	0.0002	0.028	0.953	0.496	0.984	0.707
Quartic		0.062	0.243	0.089	0.756	0.0002	0.043	0.651	0.234	0.365	0.162	0.202	0.087

^{a,b} تفاوت میانگین ها با حروف نامشابه در هر ستون برای هر اثر معنی دار مشخص شده است (P<0.05), SEM: خطای استاندارد میانگین ها

^{a,b} Means within each column for each effect with uncommon superscripts differ significantly (P<0.05), SEM: Standard Error of Means

پاسخ ایمنی

نتایج مربوط به تیتراژ آنتی بادی ایجاد شده در پاسخ به تزریق SRBC، در سن ۲۹ و ۳۶ روزگی در جدول ۶ نشان داده شده است. با افزایش سطوح کنجاله کاملینا در جیره پایانی پاسخ ایمنی اولیه به تزریق SRBC به طور خطی و معنی دار کاهش یافت. غلظت IgT و IgM سرم در پاسخ به تزریق SRBC به طور قابل توجهی کاهش یافت (P<0.05). اثر اصلی افزودن مخلوط آنزیمی به جیره و اثر متقابل بین سطح کنجاله کاملینا در جیره با افزودن مخلوط آنزیمی به جیره تأثیر معنی داری بر تیتراژ آنتی بادی ایجاد شده در پاسخ به تزریق SRBC نداشت. کاهش پاسخ ایمنی می تواند تحت تاثیر ترکیبات

ضدتغذیه‌ای مانند گلوکوزینولات‌ها، تانن‌ها و فنولیک‌ها در کنجاله کاملینا واقع باشد. مطالعات متعددی گزارش کرده‌اند که گلوکوزینولات‌ها می‌توانند با مهار عملکرد متابولیکی تیروئید بر ایمنی اثر منفی بگذارند (Murphy, 2016). از سوی دیگر، تانن‌ها قادرند با اتصال به پروتئین‌های خوراکی، قابلیت هضم و در نتیجه در دسترس بودن اسیدهای آمینه ضروری برای سنتز ایمنوگلوبولین را کاهش دهند (FrAnKić et al., 2009).

جدول ۶ اثر سطح کنجاله کاملینا و مخلوط آنزیمی در جیره پایانی (۴۶-۲۶ روزگی) بر ایمنی هومورال جوجه‌های گوشتی

Table 6. The effect of finisher diet (26-46d) Camelina meal (CM) and multi enzyme (ME) level on humoral immunity of broiler chickens

سطح کنجاله کاملینا CM level, %	سطح مخلوط آنزیمی ME level, mg/Kg	تیتر آنتی‌بادی اولیه			تیتر آنتی‌بادی ثانویه		
		Total (IgT)	Ig G	Ig M	Total (IgT)	Ig G	Ig M
0	0	4.20	3.00	1.20	4.40	3.20	1.20
6		3.80	3.20	1.00	4.40	3.00	1.40
12		3.00	2.00	1.20	4.80	3.80	1.20
18		2.80	1.80	1.20	3.60	2.60	1.00
24		3.40	2.40	1.00	4.00	3.00	1.00
0	50	3.20	2.20	1.20	3.80	2.80	1.20
6		5.00	3.20	1.80	4.20	3.60	1.20
12		2.60	2.20	1.00	4.00	2.80	1.20
18		3.00	2.40	1.20	3.60	2.60	1.20
24		2.60	1.60	1.20	3.60	2.60	1.00
SEM		0.473	0.467	0.195	0.471	0.387	0.173
سطح کنجاله کاملینا (CM level)							
0		3.70 ^{ab}	2.60	1.20	4.10	3.00	1.20
6		4.40 ^a	3.20	1.40	4.30	3.30	1.30
12		2.80 ^b	2.10	1.10	4.40	3.30	1.20
18		2.90 ^b	2.10	1.20	3.60	2.60	1.10
24		3.00 ^b	2.00	1.10	3.80	2.80	1.00
SEM		SEM	0.330	0.138	0.333	0.274	0.122
سطح مخلوط آنزیمی (ME level)							
0		3.44	2.48	1.12	4.24	3.12	1.16
50		3.28	2.32	1.28	3.84	2.88	1.16
SEM		0.212	0.209	0.088	0.211	0.173	0.077
سطح احتمال معنی داری (P-Value)							
کاملینا (CM)		0.007	0.072	0.539	0.409	0.299	0.492
آنزیم (ME)		0.596	0.591	0.202	0.187	0.333	1.00
کاملینا × آنزیم (CM × ME)		0.156	0.479	0.121	0.923	0.343	0.854
آنالیز رگرسیون پاسخ به سطح کاملینا (Regression analysis in responses to Camelina level)							
Linear		0.294	0.035	0.386	0.212	0.216	0.107
Quartic		0.717	0.812	0.713	0.463	0.391	0.359

^{a-b} تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ستون برای هر اثر معنی دار مشخص شده است ($P < 0.05$).

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها

^{a-b} Means within each column for each effect with uncommon superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

SEM: Standard Error of Means

متابولیت‌های سرم خون

نتایج مربوط به متابولیت‌های سرم خون پرندگان در جدول ۷ گزارش شده است. با بررسی نتایج مشاهده می‌شود که با افزودن مخلوط آنزیمی به جیره جوجه‌های گوشتی تری‌گلیسیرید خون به طور معنی‌دار ($P < 0.05$) و میزان کلسترول خون به

۳۴۵ صورت عددی افزایش یافت. همچنین مقدار ALT و T3 در خون با افزودن آنزیم به جیره کاهش یافتند ($P < 0.05$). کنجاله
 ۳۴۶ کاملینا از منابع گیاهی غنی از فیبر نامحلول و ترکیبات پلی ساکاریدی است که می‌توانند قابلیت هضم خوراک را کاهش دهند
 ۳۴۷ و موجب افزایش ویسکوزیته محتویات دستگاه گوارش شوند (Alagawany et al., 2018). افزودن آنزیم‌های کربوهیدراز
 ۳۴۸ سبب تجزیه دیواره سلولی و آزادسازی پروتئین‌ها و چربی‌های محبوس شده در ماتریس گیاهی می‌شود، که این امر می‌تواند
 ۳۴۹ جذب چربی و انرژی خالص را افزایش داده و در نتیجه منجر به افزایش سطح تری گلیسیرید و کلسترول سرم خون گردد
 ۳۵۰ (Cowieson & Ravindran, 2008). همچنین با بهبود هضم مواد مغذی و افزایش بازده انرژی، احتمالاً فشار متابولیکی
 ۳۵۱ بر سلول‌های کبد کاهش می‌یابد و در نتیجه ترشح آنزیم‌های شاخص آسیب کبدی مانند ALT کم‌تر می‌شود. کاهش سطح
 ۳۵۲ T3 نیز احتمالاً ناشی از کاهش تحریک محور تیروئیدی در نتیجه افزایش بازده تغذیه‌ای و انرژی قابل استفاده است. در
 ۳۵۳ شرایطی که پرنده با محدودیت دسترسی انرژی مواجه شود، معمولاً سطح T3 برای افزایش نرخ متابولیسم بالا می‌رود
 ۳۵۴ (Sturkie, 2012).
 ۳۵۵

جدول ۷. اثر سطح کنجاله کاملینا و مخلوط آنزیمی در جیره پایانی (۴۶-۲۶ روزگی) بر متابولیت‌های سرم خون جوجه‌های گوشتی در سن ۴۲ روزگی
 Table 7. The effect of finisher diet (26-46d) Camelina meal (CM) and multi enzyme (ME) level on blood metabolites of broiler chickens at 42 d of age

سطح کنجاله کاملینا CM level, %	سطح مخلوط آنزیمی ME level, mg/Kg	TG, mg/dl	Chol, mg/dl	HDL, mg/dl	LDL, mg/dl	TP, g/dl	AST, U/L	ALT, U/L	ALP, U/L	T3, ng/ml	T4, µg/dl
0	0	81	163	71	76	3.1	174	11	937	2.7	1.8
6		93	139	59	60	3.0	186	7	1134	3.3	2.0
12		84	156	68	70	3.0	194	6	963	2.8	1.9
18		78	167	77	72	2.8	138	7	883	2.9	2.0
24		93	169	74	76	3.4	228	11	996	3.1	2.0
0	50	100	158	72	61	3.3	164	6	759	2.6	2.2
6		96	157	67	65	3.1	216	3	1053	2.8	2.0
12		113	172	71	67	3.2	190	4	1050	2.5	1.7
18		105	178	76	64	3.6	267	3	1090	2.6	1.8
24		94	160	68	72	3.2	269	7	965	2.7	1.7
SEM		8.78	11.18	5.51	5.75	0.304	32.80	1.71	147.10	0.208	0.142
سطح کنجاله کاملینا (CM level)											
0		91	161	72	69	3.2	169	8	848	2.6	2.0
6		95	148	63	63	3.1	201	5	1094	3.1	2.0
12		99	164	70	69	3.1	192	5	1007	2.7	1.8
18		92	173	76	68	3.2	203	5	986	2.7	1.9
24		94	165	71	74	3.3	249	9	981	2.9	1.9
SEM		6.21	7.91	3.89	4.07	0.215	23.19	1.21	104.02	0.147	0.100
سطح مخلوط آنزیمی (ME level)											
0		86 ^b	159	70	71	3.1	184	8 ^a	983	3.0 ^a	1.9
50		102 ^a	165	71	66	3.3	221	5 ^b	983	2.6 ^b	1.9
SEM		3.93	5.00	2.46	2.57	0.136	14.67	0.77	65.79	0.093	0.063
سطح احتمال معنی داری (P-Value)											
کاملینا (CM)		0.913	0.315	0.256	0.442	0.947	0.221	0.076	0.591	0.248	0.531
آنزیم (ME)		0.009	0.412	0.777	0.173	0.295	0.091	0.002	0.994	0.027	0.559
کاملینا × آنزیم (CM × ME)		0.389	0.661	0.779	0.561	0.569	0.259	0.957	0.723	0.911	0.225
آنالیز رگرسیون پاسخ به سطح کنجاله کاملینا (Regression analysis in responses to Camelina level)											

Linear	0.916	0.206	0.307	0.222	0.645	0.929	0.698	0.612	0.697	0.338
Quartic	0.584	0.924	0.647	0.262	0.489	0.606	0.109	0.240	0.869	0.467

^{a-b}تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ستون برای هر اثر معنی دار مشخص شده است ($P < 0.05$).

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها

TG: تری‌گلیسرید، Chol: کلسترول، HDL: لیپوپروتئین با دانسیته بالا، LDL: لیپوپروتئین با دانسیته پایین، TP: پروتئین تام، AST: آسپارات ترانس آمین، ALT: آلانین

آمینوترانسفراز، ALP: آلکالین فسفاتاز، T3: تری‌یودوتیرونین، T4: تیروکسین

^{a-b}Means within each column for each effect with uncommon superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

SEM: Standard Error of Means

TG: Triglyceride, Chol: Cholesterol, HDL: High Density Lipoprotein, LDL: Low Density Lipoprotein, TP: Total Protein, AST: Aspartate transaminase, ALT: Alanine aminotransferase, ALP: Alkaline phosphatase, T3: Triiodothyronine, T4: Thyroxine

۳۵۶

۳۵۷

نتیجه گیری کلی

۳۵۸

به طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که جایگزینی کنجاله کاملینا در جیره پایانی جوجه‌های گوشتی سویه آرین تا

۳۵۹

سطح ۲۴ درصد؛ (۱) اثر نامطلوبی بر شاخص‌های عملکرد رشد نداشت، (۲) چربی شکمی را کاهش داد، (۳) با افزودن مخلوط

۳۶۰

آنزیمی (زایلاناز، بتاگلوکاناز، سلولاز، پکتیناز، پروتئاز، ماناناز) به جیره ضریب تبدیل خوراک بهبود یافت، (۴) با این حال به دلیل

۳۶۱

وجود ترکیبات ضدتغذیه‌ای در کنجاله کاملینا با افزایش سطح آن در جیره پایانی اثرات منفی بر کیفیت استخوان و پاسخ ایمنی

۳۶۲

مشاهده شد. بنابراین استفاده از کنجاله کاملینا در جیره جوجه‌های گوشتی مستلزم مدیریت اثرات جانبی آن بر سلامت پرنده

۳۶۳

است.

۳۶۴

۳۶۵

منابع

۳۶۶

Abd El-Hack, M., Chaudhry, M., Mahrose, K. M., Noreldin, A., Emam, M., & Alagawany, M. (2018). The efficacy of using exogenous enzymes cocktail on production, egg quality, egg nutrients and blood metabolites of laying hens fed distiller's dried grains with solubles. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 102(2), e726-e735. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jpn.12825>

۳۶۷

۳۶۸

۳۶۹

۳۷۰

Abdollahi, M., Ravindran, V., & Svihus, B. (2013). Pelleting of broiler diets: An overview with emphasis on pellet quality and nutritional value. *Animal Feed Science and Technology*, 179(1-4), 1-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2012.10.011>

۳۷۱

۳۷۲

۳۷۳

Acamovic, T., Gilbert, C., Lamb, K., & Walker, K. (1999). NUTRITION Nutritive value of Camelina sativa meal for poultry. *British poultry science*, 40(S1), 27-27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00071669986657>

۳۷۴

۳۷۵

۳۷۶

Alagawany, M., Elnesr, S. S., & Farag, M. (2018). The role of exogenous enzymes in promoting growth and improving nutrient digestibility in poultry. *Iranian journal of veterinary research*, 19(3), 157.

۳۷۷

۳۷۸

۳۷۹

۳۸۰

Allahdo, P., Ghodrati, J., Zarghi, H., Saadatfar, Z., Kermanshahi, H., & Edalatian Dovom, M. R. (2018). Effect of probiotic and vinegar on growth performance, meat yields, immune responses, and small intestine morphology of broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, 17(3), 675-685. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1424570>

۳۸۱

۳۸۲

۳۸۳

An, B., Jung, J., Oh, S., Kang, C., Lee, K., & Lee, S. (2016). Effects of diets with graded levels of canola meal on the growth performance, meat qualities, relative organ weights, and blood characteristics of broiler chickens. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 18, 351-356. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1806-9061-2015-0053>

۳۸۴

۳۸۵

۳۸۶

Anca, G., Hăbeanu, M., Lefter, N., & Ropotă, M. (2019). Performance parameters, plasma lipid status, and lymphoid tissue fatty acid profile of broiler chicks fed camelina cake. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 21. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2019-0053>

۳۸۷

۳۸۸

۳۸۹

AOAC. (2002). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists.

۳۹۰

- Aziza, A., Quezada, N., & Cherian, G. (2010). Feeding Camelina sativa meal to meat-type chickens: Effect on production performance and tissue fatty acid composition. *Journal of Applied Poultry Research*, 19(2), 157-168. <https://doi.org/10.3382/japr.2009-00100>
- Aziza, A. E., Awadin, W. F., Quezada, N., & Cherian, G. (2014). Gastrointestinal morphology, fatty acid profile, and production performance of broiler chickens fed camelina meal or fish oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(12), 1727-1733. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400019>
- Boling-Frankenbach, S., Snow, J., Parsons, C., & Baker, D. (2001). The effect of citric acid on the calcium and phosphorus requirements of chicks fed corn-soybean meal diets. *Poultry science*, 80(6), 783-788.
- Budin, J. T., Breene, W. M., & Putnam, D. H. (1995). Some compositional properties of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) seeds and oils. *Journal of the American oil chemists' society*, 72(3), 309-315.
- Bulbul, T., Rahman, A., & Ozdemir, V. (2015). Effect of false flax meal on certain growth, serum and meat parameters of Japanese quails. *J. Anim. Plant Sci*, 25, 1245-1250.
- Cheema, M., Qureshi, M., & Havenstein, G. (2003). A comparison of the immune response of a 2001 commercial broiler with a 1957 randombred broiler strain when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poultry science*, 82(10), 1519-1529. <https://doi.org/10.1093/ps/82.10.1519>
- Cherian, G. (2012). Camelina sativa in poultry diets: opportunities and challenges. *Biofuel co-products as livestock feed: opportunities and challenges*. Rome: FAO, 303-310.
- Cowieson, A., & Ravindran, V. (2008). Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broilers: growth performance and digestibility of energy, minerals and amino acids. *British poultry science*, 49(1), 37-44.
- Dalile, B., Van Oudenhove, L., Vervliet, B., & Verbeke, K. (2019). The role of short-chain fatty acids in microbiota-gut-brain communication. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 16(8), 461-478.
- Ebrahimi, E., Sobhanirad, S., & Zarghi, H. (2017). Effect of triticale level and exogenous enzyme in the grower diet on performance, gastrointestinal tract relative weight, jejunal morphology and blood lipids of Japanese quail (*Coturnix coturnix Japonica*).
- FrAnKIČ, T., Voljč, M., Salobir, J., & Rezar, V. (2009). Use of herbs and spices and their extracts in animal nutrition. *Acta agriculturae slovenica*, 94(2), 95-102. <https://doi.org/10.14720/aas.2009.94.2.14834>
- Hempe, J., Lauxen, R., & Savage, J. (1988). Rapid determination of egg weight and specific gravity using a computerized data collection system. *Poultry science*, 67(6), 902-907. <https://doi.org/10.3382/ps.0670902>
- Jabari, R., Janmohammadi, H., Mirghelenj, S., & Kianfar, R. (2018). Determination of chemical composition and protein quality of different commercial samples of soybean meals and corn gluten meal using biological and chemical assays. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 10(3), 381-391 (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijasr.v10i3.63177>
- Juodka, R., Nainienė, R., Juškienė, V., Juška, R., Leikus, R., Kadžienė, G., & Stankevičienė, 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(3), 295. <https://doi.org/10.3390/ani12030295>
- Khorshidi, F., Karimi Torshizi, M., Ahmadi, H., Arak, H., & Mojgani, N. (2021). The Efficiency of Probiotic and Toxin Binders (Organic and Inorganic) in Amelioration of Aflatoxin Impact on Performance, Serum Biochemistry, and Tibia Characteristics in Broiler Chickens 75(4), 431-441 (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jvr.2019.273836.2888>
- Kolakshyapati, M., Flavel, R., Sibanda, T., Schneider, D., Welch, M., & Ruhnke, I. (2019). Various bone parameters are positively correlated with hen body weight while range access has no beneficial

- effect on tibia health of free-range layers. *Poultry science*, 98(12), 6241-6250.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3382/ps/pez487>
- Luise, D., Correa, F., Cestonaro, G., Sattin, E., Conte, G., Mele, M.,...Galasso, I. (2024). Effect of different doses of camelina cake inclusion as a substitute of dietary soyabean meal on growth performance and gut health of weaned pigs. *British Journal of Nutrition*, 131(12), 1962-1974.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S0007114524000722>
- Matthäus, B., & Angelini, L. G. (2005). Anti-nutritive constituents in oilseed crops from Italy. *Industrial crops and products*, 21(1), 89-99. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2003.12.021>
- Matthäus, B., & Zubr, J. (2000). Variability of specific components in Camelina sativa oilseed cakes. *Industrial crops and products*, 12(1), 9-18. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(99\)00040-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0926-6690(99)00040-0)
- Montagne, L., Pluske, J., & Hampson, D. (2003). A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Animal Feed Science and Technology*, 108(1-4), 95-117.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00117-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00117-3)
- Moser, B. R., & Vaughn, S. F. (2010). Evaluation of alkyl esters from Camelina sativa oil as biodiesel and as blend components in ultra low-sulfur diesel fuel. *Bioresource technology*, 101(2), 646-653.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.054>
- Murphy, E. J. (2016). Camelina (Camelina sativa). In *Industrial oil crops* (pp. 207-230). Elsevier.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-98-1.00008-7>
- Niu, Y. (2023). The prebiotic effect of enzymatically-released bioactive components of canola meal fibre on gut health and growth performance of monogastric animals .
- Orczewska-Dudek, S., & Pietras, M. (2019). The effect of dietary Camelina sativa oil or cake in the diets of broiler chickens on growth performance, fatty acid profile, and sensory quality of meat. *Animals*, 9(10), 734. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ani9100734>
- Oryschak, M. A., Christianson, C. B., & Beltranena, E. (2020). Camelina sativa cake for broiler chickens: effects of increasing dietary inclusion on clinical signs of toxicity, feed disappearance, and nutrient digestibility. *Translational Animal Science*, 4(2), 1263-1277.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1093/tas/txaa029>
- Pekel, A., Horn, N., & Adeola, O. (2017). The efficacy of dietary xylanase and phytase in broiler chickens fed expeller-extracted camelina meal. *Poultry science*, 96(1), 98-107.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3382/ps/pew183>
- Pekel, A., Patterson, P., Hulet, R., Acar, N., Cravener, T., Dowler, D., & Hunter, J. (2009). Dietary camelina meal versus flaxseed with and without supplemental copper for broiler chickens: Live performance and processing yield. *Poultry science*, 88(11), 2392-2398.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3382/ps.2009-00051>
- Pell, J., Gee, J., Wortley, G & ,Johnson, I. (1992). Dietary corn oil and guar gum stimulate intestinal crypt cell proliferation in rats by independent but potentially synergistic mechanisms. *The Journal of nutrition*, 122(12), 2447-2456. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jn/122.12.2447>
- Perera, S. P., McIntosh, T., Coutu, C., Tyler, R. T., Hegedus, D. D., & Wanasundara, J. P. (2022). Profiling and characterization of Camelina sativa (L.) Crantz meal proteins. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 99(10), 873-889. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/aocs.12634>
- Rashid, F., & Razzaq, H. (2023). Challenges in Improving Nutritional Traits of Camelina sativa: A Review. *International Journal of Research and Advances in Agricultural Sciences (ISSN: 2959-9857)*, 2(2), 56-65 .
- Russo, R., & Reggiani, R. (2017). Glucosinolates and Sinapine in camelina meal. *Food and Nutrition Sciences*, 8(12), 1063-1073. <https://doi.org/https://doi.org/10.4236/fns.2017.812078>
- Sahaf, S., Zarghi, H., & Golian, A. (2018). Effect of raw or autoclaved grass pea seeds in diet on performance and egg quality of laying hens. *Journal of Animal Production*, 20(1), 131-143 (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jap.2018.245080.623237>

- SAS. (2014). SAS User's Guide: Statistics. Version 9.4. *SAS Inst, Inc* .
- Schuster, A., & Friedt, W. (1998). Glucosinolate content and composition as parameters of quality of Camelina seed. *Industrial crops and products*, 7(2-3), 297-302. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(97\)00061-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0926-6690(97)00061-7)
- Singh, P. (2008). Significance of phytic acid and supplemental phytase in chicken nutrition: a review. *World's Poultry Science Journal*, 64(4), 553-580. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S0043933908000202>
- Singh, Y., Cullere, M., Tůmová, E., & Dalle Zotte, A. (2023). Camelina sativa as a sustainable and feasible feedstuff for broiler poultry species: A review. *Czech Journal of Animal Science*, 68(7), 277-295. <https://doi.org/https://doi.org/10.17221/29/2023-CJAS>
- Slominski, B. A. (2011). Recent advances in research on enzymes for poultry diets. *Poultry science*, 90(9), 2013-2023. <https://doi.org/https://doi.org/10.3382/ps.2011-01372>
- Sturkie, P. D. (2012). *Avian physiology*. Springer Science & Business Media .
- Thacker, P., & Widyaratne, G. (2012). Effects of expeller pressed camelina meal and/or canola meal on digestibility, performance and fatty acid composition of broiler chickens fed wheat-soybean meal-based diets. *Archives of animal nutrition*, 66(5), 402-415. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/1745039X.2012.710082>
- Valkonen ,E., Venäläinen, E., Tupasela, T., Hiidenhovi, J., Valaja, J., & Association, W. s. P. S. (2008). Camelina sativa cake in poultry diets .
- Watkins, B. A., Li, Y., Lippman, H. E., & Seifert, M. F. (2001). Omega-3 polyunsaturated fatty acids and skeletal health1. *Experimental Biology and Medicine*, 226(6), 485-497. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/153537020122600601>
- Woyengo, T., Patterson, R., Slominski, B., Beltranena, E., & Zijlstra, R. (2016). Nutritive value of cold-pressed camelina cake with or without supplementation of multi-enzyme in broiler chickens. *Poultry science*, 95(10), 2314-2321. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3382/ps/pew098>
- Xavier, R. P. d. S., Freitas, E. R., Braz, N. M., Farias, N. N. P., Lima, R. C., Watanabe, P. H.,...Peixoto ,M. S. M. (2015). Limestone particle sizes and lighting regimens on egg and bone quality of laying hens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(08), 718-725. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000800010>
- Zarghi, H., Golian, A., Hassanabadi, A., & Khaligh, F. (2022). Effect of zinc and phytase supplementation on performance, immune response, digestibility and intestinal features in broilers fed a wheat-soybean meal diet. *Italian Journal of Animal Science*, 21(1), 430-444. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/1828051X.2022.2034061>
- Zarghi, H., Golian, A., & Kermanshahi, H. (2016). The effect of triticale and enzyme cocktail (xylanase & β -glucanase) replacement in grower diet on performance, digestive organ relative weight, gut viscosity and gut morphology of broiler chickens. . *Iranian Journal of Animal Science Research*, 8, 298-312 (In Persian) .
- Zduńczyk, Z., Jankowski, J., Juśkiewicz, J., Mikulski, D., & Slominski, B. A. (2013). Effect of different dietary levels of low-glucosinolate rapeseed (canola) meal and non-starch polysaccharide-degrading enzymes on growth performance and gut physiology of growing turkeys. *Canadian Journal of Animal Science*, 93(3), 353-362. <https://doi.org/https://doi.org/10.4141/cjas2012-085>