



Investigation of the Effects of Different Levels of Hydrolyzed Hoof Meal on Growth Performance, Carcass Characteristics, and Jejunum Histology in Broiler Chickens During the Finisher Phase

Mohammad Ali Behroozlak^{1✉}, Seyed Adel Moftakharzadeh², Seyed Abdullah Hosseini³, Morteza Behroozlak⁴, Amir Hossein Alizadeh-Ghamsari⁵, Hosna Hajati⁶

1. Corresponding Author, Department of Animal Science, Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: Behrouz.lak@gmail.com
2. Department of Animal Science, Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: adelmofthakharzadeh@gmail.com
3. Department of Animal Science, Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: hosseini1355@gmail.com
4. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Payame Noor University of Tehran. Tehran, Iran. E-mail: morteza.behroozlak@gmail.com
5. Department of Animal Science, Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: amir3279@gmail.com
6. Department of Animal Science, Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: h.hajati@areeo.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	This study was conducted to study the effects of different levels of hydrolyzed hoof meal, as a dietary ingredient, on the performance, carcass characteristics, and jejunum histology of broiler chickens during the finisher phase with pelleted diets. Six hundred Ross 308 male broiler chicks, with equal average weight, were randomly assigned to four experimental groups in a completely randomized design, with five replicates per group and 30 birds per replicate, from 25 to 44 days of age. The experimental treatments included: (1) a control diet (without hoof meal), (2) a diet containing 2% hoof meal, (3) a diet containing 4% hoof meal, and (4) a diet containing 6% hoof meal. The results of performance showed that, compared to the control diet use of 2% and 6% of hoof meal reduced the cost of feed consumed per kilogram of live weight of chicks by improving the feed conversion ratio of the bird between 35 and 44 days of age. Relative carcass and thigh weight were increased by the dietary inclusion of 6% hydrolyzed hoof meal compared to the control ($P < 0.05$). Histological analysis revealed that jejunal crypt depth was significantly decreased in broilers fed 2% hydrolyzed hoof meal compared with the control diet ($P < 0.05$). This study demonstrated that feeding dietary hydrolyzed hoof meal during the finisher phase positively influenced broiler carcass traits and jejunum histology without negatively impacting performance.
Article history: Received: 15 March 2025 Received in revised form: 11 June 2025 Accepted: 16 June 2025 Published online: Winter 2025	
Keywords: Hoof meal, broiler chick, finisher phase, performance, jejunum histology.	

Cite this article: Behroozlak, M. A., Moftakharzadeh, S. A., Hosseini, S. A., Behroozlak, M., Alizadeh-Ghamsari, A. H. & Hajati, H. (2025). Investigation of the Effects of Different Levels of Hydrolyzed Hoof Meal on Growth Performance, Carcass Characteristics, and Jejunum Histology in Broiler Chickens During the Finisher Phase. *Iranian Journal of Animal Science*, 56 (4), 839-855. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.391796.654066>



Extended Abstract

Introduction

The global shortage of protein resources, alongside a heavy reliance on imports and the associated high costs, has driven research efforts toward identifying alternative protein sources for use in poultry diets, either as partial or complete replacements for conventional protein sources. Since the early 20th century, slaughterhouse by-products derived from livestock and poultry have been incorporated as feed ingredients in poultry diets across various regions worldwide. These by-products, sourced from the processing of domesticated animals, represent a significant reservoir of natural resources that, when appropriately processed, can be utilized effectively in animal nutrition. Additionally, their utilization contributes to reducing the organic carbon footprint associated with livestock production. Despite the recognized potential of slaughterhouse by-products, there is currently no documented research on the effects of incorporating hydrolyzed bovine hoof meal into broiler chicken diets, particularly regarding its impact on growth performance and jejunal histology. Consequently, this study aimed to evaluate the impact of different inclusion levels of hydrolyzed bovine hoof meal in pelleted diets during the finisher phase (25 to 44 days of age) on performance metrics, carcass characteristics, and jejunal histological indices in broiler chickens.

Materials and Methods

A total of 600 male broiler chickens (Ross 308) were utilized in a completely randomized design to evaluate the effects of hydrolyzed hoof meal on broiler performance, carcass traits, and jejunal morphology. The birds were distributed into 4 experimental treatments with 5 replicates per treatment and 30 birds per replicate, covering the finisher phase from 25 to 44 days of age. The experimental treatments were as follows: (1) a control diet without hydrolyzed hoof meal, (2) a diet containing 2% hydrolyzed hoof meal, (3) a diet containing 4% hydrolyzed hoof meal, and (4) a diet containing 6% hydrolyzed hoof meal. The preparation of hydrolyzed cattle hoof powder involved processing slaughterhouse-derived cattle hooves using steam hydrolysis at a pressure of 9 bar and a temperature of 150°C for one hour. The hydrolyzed material was then ground into a powder suitable for inclusion in poultry diets. To evaluate the performance of the broilers, average daily feed intake (ADFI) and average daily weight gain (ADWG) were recorded for each experimental unit during three periods: 25 to 34 days, 34 to 44 days, and 25 to 44 days of age. The feed conversion ratio (FCR) was calculated by adjusting for daily mortality and using the Hen-day method. On day 44, all chickens were individually weighed and slaughtered to assess carcass characteristics. The relative weights of the carcass, breast, thighs, liver, proventriculus, gizzard, spleen, bursa of Fabricius, heart, and pancreas were measured. Additionally, the weight and length of the gastrointestinal tract and small intestine, as well as abdominal fat weight, were recorded. For jejunal morphology analysis, sections of the jejunum were prepared, and villus height, villus width, crypt depth, and the villus height-to-crypt depth ratio were measured according to approved method. The data collected in this experiment were analyzed using the General Linear Model (GLM) procedure in SAS software. Treatment means were compared using Tukey's test, with statistical significance set at a probability level of 0.05 ($P < 0.05$).

Results and Discussion

The performance data demonstrated a statistically significant improvement in feed conversion ratio (FCR) and feed cost per kilogram of live weight in broiler chickens fed diets containing 2% and 6% hydrolyzed bovine hoof meal compared to the control group during the 35 to 44-day period ($P < 0.05$). However, no significant differences were observed in average daily feed intake (ADFI) or average daily weight gain (ADWG) between the experimental treatments ($P > 0.05$). The results suggest that hydrolyzed hoof meal, due to its effective chemical composition and high nutritional value, can be incorporated into poultry diets at higher inclusion levels without adversely affecting growth performance. This feed ingredient is competitive with conventional corn-soybean meal diets, offering a more balanced energy-to-protein ratio that is critical for maximizing poultry performance. Carcass characteristic analysis revealed that broilers fed a diet containing 6% hydrolyzed hoof meal exhibited a significant increase in carcass yield and thigh meat yield compared to those fed the control diet ($P < 0.05$). These findings align with previous research indicating that keratin-rich by-products from slaughterhouses, including feathers, hooves, and horns, when appropriately processed, are excellent sources of crude protein, with concentrations ranging from 69.5% to 88.6%, primarily in the form of keratin. The incorporation of hydrolyzed bovine hoof meal into poultry diets not only enhances carcass traits but also provides a sustainable alternative to conventional protein sources, contributing to the efficient utilization of slaughterhouse by-products in livestock nutrition. In addition to supporting muscle growth, slaughterhouse by-products can serve as significant energy sources for poultry. The inclusion of graded levels of hydrolyzed bovine hoof meal in broiler diets did not result in significant changes in the relative weights of internal organs or in the relative weight and length indices of specific gastrointestinal tract segments, including the duodenum, jejunum, ileum, and cecum ($P > 0.05$). While the relative weight of abdominal fat in broilers fed diets

containing hydrolyzed hoof meal was lower compared to the control group, this reduction was not statistically significant ($P > 0.05$). Previous research on keratin-based products has shown their potential to reduce fat accumulation in the body. For instance, keratin-derived compounds such as creatine-pyruvate have been found to enhance the activity and expression of CPT-I and PPAR- α genes, which are key regulators of fatty acid beta-oxidation, in both liver and adipose tissues. This upregulation promotes an increased rate of beta-oxidation and reduces fat storage in the body. Histomorphological analysis of the jejunum revealed that broilers fed a diet containing 2% hydrolyzed hoof meal exhibited a significant reduction in crypt depth compared to the control and 6% hoof meal diets ($P < 0.05$). These findings suggest that keratin-based compounds, which are rich in protein and essential amino acids such as methionine, arginine, and glycine, play a critical role in stimulating intestinal mucosa development and enhancing cell proliferation in the crypt-villus axis. This process ultimately increases both the number and size of villi, thereby improving the digestive and absorptive capacities of the intestinal tract in poultry.

Conclusions

The findings of this study indicate that the inclusion of hydrolyzed bovine hoof meal in the diets of broiler chickens during the finisher phase improved specific carcass traits without negatively impacting overall performance. Additionally, the diet containing 2% hydrolyzed hoof meal significantly enhanced the absorptive capacity of the jejunum compared to the control diet. These results highlight the potential of hydrolyzed hoof meal as a viable feed ingredient for broiler chickens. Further research is recommended to explore its broader applications and optimize its inclusion levels in poultry diets.

Data Availability Statement

This article contains all the data that were created or evaluated during the research.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge *Andisheh Sazan Sanat Feed Company* for providing the hydrolyzed hoof meal powder supplement, as well as the *Animal Science Research Institute* and the *Department of Nutrition Research* for providing the necessary facilities and husbandry resources required for the conduct of this research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.



اثرات سطوح مختلف پودر سم هیدرولیز شده در دوره پایانی پرورش بر عملکرد، خصوصیات لاشه و ریخت‌شناسی ژرژنوم جوجه‌های گوشتی

محمد علی بهروزی لک^۱ | سید عادل مفتخرزاده^۲ | سید عبدالله حسینی^۳ | مرتضی بهروز لک^۴ | امیرحسین عزیزاده قمصری^۵ | حسنا حاجاتی^۶

۱. نویسنده مسئول، عضو هیئت علمی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، کرج، ایران. رایانامه: Behrouz.lak@gmail.com
۲. عضو هیئت علمی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، کرج، ایران. رایانامه: adelmofakharzadeh@gmail.com
۳. عضو هیئت علمی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، کرج، ایران. رایانامه: hosseini1355@gmail.com
۴. عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه پیام نور تهران، تهران، ایران. morteza.behroozlak@gmail.com
۵. عضو هیئت علمی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، کرج، ایران. رایانامه: amir3279@gmail.com
۶. عضو هیئت علمی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، کرج، ایران. رایانامه: h.hajati@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۶ تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۴ کلیدواژه‌ها: ریخت‌شناسی ژرژنوم، پودر سم، جوجه گوشتی، دوره پایانی، عملکرد.	در این طرح اثرات سطوح مختلف پودر سم هیدرولیز شده در جیره بر عملکرد، خصوصیات لاشه و ریخت‌شناسی ژرژنوم در دوره پایانی پرورش جوجه‌های گوشتی در جیره‌های پلت شده مورد بررسی قرار گرفتند. ۶۰۰ قطعه جوجه گوشتی نر سویه راس ۳۰۸ با میانگین وزنی یکسان به ۴ گروه آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار و ۳۰ پرنده در هر تکرار از سن ۲۵ تا ۴۴ روزگی اختصاص یافتند. تیمارها شامل ۱- جیره شاهد بدون پودر سم ۲- جیره حاوی ۲ درصد پودر سم ۳- جیره حاوی ۴ درصد پودر سم ۴- جیره حاوی ۶ درصد پودر سم بودند. نتایج عملکرد نشان داد استفاده از ۲ و ۶ درصد پودر سم در مقایسه با جیره شاهد با بهبود ضریب تبدیل غذایی پرنده در بازه زمانی ۳۵ تا ۴۴ روزگی هزینه خوراک مصرفی به ازای هر کیلوگرم وزن زنده جوجه‌ها را کاهش داد ($P < 0.05$). نتایج خصوصیات لاشه نشان داد که وزن نسبی لاشه و وزن ران با مصرف جیره حاوی ۶ درصد پودر سم در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت ($P < 0.05$). همچنین نتایج مربوط به شاخص‌های ریخت‌شناسی ژرژنوم نشان داد که شاخص عمق کریپت در تیمار ۲ درصد پودر سم به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمار شاهد بود ($P < 0.05$). نتایج کلی این آزمایش نشان داد که استفاده از پودر سم هیدرولیز شده در دوره پایانی پرورش جوجه‌های گوشتی بدون ایجاد اثرات منفی بر صفات عملکرد، می‌تواند اثرات مفیدی بر خصوصیات لاشه و ریخت‌شناسی ژرژنوم داشته باشد.

استناد: بهروزی لک، محمدعلی؛ مفتخرزاده، سیدعادل؛ حسینی، سیدعبدالله؛ بهروز لک، مرتضی؛ عزیزاده قمصری، امیرحسین و حاجاتی، حسنا (۱۴۰۴). اثرات سطوح مختلف پودر سم هیدرولیز شده در دوره پایانی پرورش بر عملکرد، خصوصیات لاشه و ریخت‌شناسی ژرژنوم جوجه‌های گوشتی. *نشریه علوم دامی ایران*، ۵۶ (۴)، ۸۳۹-۸۵۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.391796.654066>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.391796.654066>

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

با توجه به کمبود منابع پروتئینی و وابستگی آن به واردات و هزینه‌های بالای مرتبط با آن، توجه محققین به یافتن منابع جایگزین پروتئینی قابل استفاده در جیره طیور به عنوان جایگزین کل یا بخشی از منابع پروتئین جیره افزایش یافته است. کنجاله سویا و ذرت بخش عمده‌ای از جیره طیور را تشکیل داده و به ترتیب رایج‌ترین مواد تأمین‌کننده پروتئین و انرژی در جیره غذایی طیور در سطح جهان هستند. از اوایل قرن بیستم در بیشتر نقاط دنیا بقایای کشتارگاهی دام و طیور به عنوان خوراک در جیره غذایی طیور استفاده شده است. سال‌های اول دهه ۱۹۰۰ پودر ضایعات کشتارگاهی در جیره مرغ استفاده شد و صنعت خوراک دام و طیور وارد عصر جدیدی شد، به نحوی که در کشورهایی نظیر آمریکا، بیش از ۱۰ درصد مکمل‌های پروتئینی مصرفی در تغذیه دام و طیور از ضایعات کشتارگاهی تأمین می‌شد. بر اساس یافته‌های اخیر مشخص شده است که ضایعات کشتارگاهی از جمله ضایعات کشتارگاهی کراتینی دام و پودر ضایعات کشتارگاهی طیور در محدوده ۴ تا ۱۵ درصد به عنوان جایگزین بخش عمده خوراک (کنجاله سویا-ذرت) در جیره طیور گوشتی استفاده شده‌اند (Hassanabadi et al., 2008, Xu et al., 2022). پروتئین‌های حیوانی به دلیل ترکیب آمینواسیدی بهتر، ساختار ساده‌تر و اثربخشی بهتر آنزیم‌های گوارشی بر آن‌ها، از قابلیت هضم بالاتری نسبت به منابع پروتئین گیاهی برخوردارند. این ویژگی باعث می‌شود جوجه‌ها بتوانند بهتر مواد مغذی را بهتر جذب کرده و راندمان جیره غذایی افزایش یابد. پسماندها و ضایعات کشتارگاهی حاصل از حیوانات اهلی، منابع عظیمی از ثروت‌های طبیعی هستند که وقتی فرآوری شوند، می‌توانند در تغذیه دام مورد استفاده قرار گیرند و از همه مهم‌تر کربن آلی کمتری از خود بر جای گذارند. با استفاده از صنعت بازیافت و فرآوری، این محصولات فرعی کشاورزی (پسماندها) به مواد خوراکی غنی از پروتئین تبدیل می‌شوند که در همه نقاط دنیا در دسترس هستند. بنابراین، با استفاده از چنین منابع غنی، نه تنها بخشی از پروتئین مورد نیاز دام و طیور تأمین می‌گردد، بلکه از نظر کیفی نیز دسترسی به تعادل اسیدهای آمینه ضروری در جیره غذایی ممکن می‌شود (Fazaeli, 2019). بنابراین هدف از تحقیق حاضر استفاده پودر سم هیدرولیز شده حاصل از ضایعات کشتارگاهی در جیره جوجه‌های گوشتی بود

پیشینه پژوهش

از لحاظ تغذیه‌ای، سم‌ها و شاخ‌ها بخش غیرخوراکی پسماندهای کشتارگاهی دام محسوب می‌شوند که عملاً دور ریخته می‌شوند، در حالی که بهره‌برداری و استفاده از آن‌ها به عنوان مواد افزودنی در جیره غذایی دام و طیور کمتر مورد توجه قرار گرفته است. پروتئین‌های کراتینه در شرایط طبیعی برای مصرف دام و طیور کاملاً غیرقابل هضم محسوب می‌شوند، باین حال، گزارش‌هایی در مورد قابل استفاده بودن آن‌ها پس از اعمال عملیات فرآوری روی این مواد از جمله آسیاب ریز وجود دارد که ممکن است باعث شود این مواد از لحاظ تغذیه‌ای برای مصرف در جیره طیور مفید و با ارزش باشند (Limeneh et al., 2022). استفاده از پسماندهای کشتارگاهی در خوراک دام و طیور نه تنها می‌تواند موجب کاهش آلودگی‌های زیست محیطی شوند بلکه به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کنند (Mozhiarasi & Natarajan, 2022). روش مناسب برای قابل استفاده نمودن پسماندهای کراتینه کشتارگاهی تجزیه آن‌ها از طریق آبکافت یا هیدرولیز است؛ به طوری که این مواد می‌توانند در تغذیه دام و طیور مصرف شوند. روش‌های هیدرولیز ترکیبات کراتینه شامل فرآیند هیدرولیز گرم است که معمولاً از فشار بخار بالا (۱۰ تا ۱۵ پوند بر اینچ) و یا دمای بالا (۸۰ تا ۱۴۰ درجه سلسیوس) در حضور اسیدها (اسید کلریدریک و اسید سولفوریک و ..) و مواد قلیایی (سود، پتاس، کربنات سدیم و پتاسیم و ..) استفاده می‌شود (Karthikeyan et al., 2007). در دهه‌ها و سال‌های اخیر استفاده‌های زیادی از مواد کراتینه به‌ویژه پودر پر هیدرولیز شده، پودر ضایعات کشتارگاهی طیور و پودر سم و شاخ در جیره غذایی آبزیان به عنوان مکمل و یا جایگزین بخشی از منبع پروتئینی جیره (کنجاله سویا یا کنجاله پنبه‌دانه) شده است و نتایج مطلوبی را نیز بر عملکرد و پاسخ ایمنی آن‌ها در پی داشته است (Jumini, 2017, Gachango et al., 2017). با توجه به اینکه پودر سم گاو فرآوری شده سرشار از پروتئین (۷۰ تا ۸۰ درصد پروتئین خام) و اسیدهای آمینه است برای رشد عضلانی جوجه‌ها ضروری بوده و به بهبود رشد سریع و تقویت عضلات جوجه‌های گوشتی کمک خواهد کرد (Falay & Sule, 2020). همچنین

این فرآورده‌های فرعی کشتارگاهی حاوی مواد معدنی پرنیاز از جمله کلسیم و فسفر هستند که برای تقویت استخوان‌ها و بهبود سلامت عمومی جوجه‌ها ضروری است (Jayathilakan *et al.*, 2012).

باوجود اطلاعات اندک موجود در مورد مواد کراتینه و استفاده آن‌ها در جیره حیوانات اهلی و آبزیان تاکنون گزارش‌های قابل استنادی در مورد استفاده از پودر سم هیدرولیز شده حاصل از پسماندهای کشتارگاهی بر عملکرد و ریخت‌شناسی ژژنوم جوجه‌های گوشتی وجود ندارد. از طرفی، یکی از محدودیت‌های استفاده از مواد کراتینه حاصل از پسماندهای کشتارگاهی، از جمله پودر پر، پودر سم و شاخ این است که غالباً این مواد در تغذیه دام و طیور در دسته خوراک‌های با قابلیت هضم پایین قرار می‌گیرند و کمتر می‌توان از آن‌ها برای تغذیه پرند در سنین پایین استفاده کرد (Chen *et al.*, 2022; Grazziotin *et al.*, 2006). بنابراین با فرایند پلت کردن خوراک که در عمل خود دارای مزایای زیادی است می‌توان قابلیت هضم این مواد کراتینه را در جیره افزایش داد و از عوامل بازدارنده مصرف آن‌ها در جیره غذایی طیور کاست. بنابراین هدف از انجام این آزمایش بررسی اثرات سطوح مختلف پودر سم هیدرولیز شده گاوی در جیره‌های پلت شده در دوره پایانی پرورش (۲۵ الی ۴۴ روزگی) بر عملکرد، خصوصیات لاشه و شاخص‌های ریخت‌شناسی ژژنوم جوجه‌های گوشتی بود.

روش‌شناسی پژوهش

محل انجام آزمایش و تیمارهای آزمایشی

این آزمایش در ایستگاه تحقیقات طیور موسسه تحقیقات علوم دامی کشور انجام شد. تعداد ۶۰۰ قطعه جوجه گوشتی نر سویه راس ۳۰۸ در ۴ گروه آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار و ۳۰ پرند در هر تکرار از سن ۲۵ تا ۴۴ روزگی استفاده شدند. تیمارهای آزمایش شامل ۱- جیره شاهد (بدون پودر سم بر پایه ذرت و کنجاله سویا) ۲- جیره حاوی ۲ درصد پودر سم ۳- جیره حاوی ۴ درصد پودر سم ۴- جیره حاوی ۶ درصد پودر سم بودند که در دوره پایانی پرورش از ۲۵ تا ۴۴ روزگی در قالب جیره پلت استفاده شدند. جیره غذایی مورد استفاده در آزمایش با توجه به ترکیبات مواد مغذی موجود در اقلام خوراکی موجود و برای تأمین احتیاجات مواد مغذی توصیه راس ۳۰۸، با استفاده از نرم‌افزار WUFFDA تنظیم شد (جدول ۱). در طول دوره آزمایشی شرایط محیطی برای همه‌ی گروه‌های آزمایشی یکسان بود. برنامه‌ی نوری شامل ۲۴ ساعت روشنایی در ۳ روز اول و ۲۳ ساعت روشنایی و ۱ ساعت تاریکی از روز چهارم تا پایان آزمایش بود. درجه حرارت محیط کنترل شده بود و تمام جوجه‌های گوشتی در بستر در داخل پن‌هایی با ابعاد ۱/۵×۲ متر با دسترسی آزاد به خوراک و آب آشامیدنی پرورش یافتند.

روش آماده‌سازی و تجزیه شیمیایی پودر سم هیدرولیز شده

روش آماده‌سازی پودر سم بدین صورت است که ماده خام (سم‌های گاو و گوساله) حاصل از بقایای کشتارگاهی با استفاده از فشار بخار آب ۹ بار در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت تحت هیدرولیز قرار گرفت تا به صورت پودر در جیره قابل مصرف گردند (Karthikeyan *et al.*, 2007). مقادیر ماده خشک، پروتئین خام، خاکستر و چربی نمونه‌ها طبق روش‌های توصیه شده AOAC (2019) انجام شد. مقدار انرژی خام نمونه‌ها نیز با استفاده از بمب کالری متر آدیباتیک (C7000, IKA, Staufen, Germany) اندازه‌گیری شد. پروفیل اسیدهای آمینه نیز با روش کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا (HPLC) در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. کلسیم و فسفر به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند. اطلاعات مربوط به آنالیز تقریبی مواد مغذی موجود در پودر سم فرآوری شده در این آزمایش در جدول ۲ آورده شده است.

ارزیابی صفات اندازه‌گیری شده (عملکرد، خصوصیات لاشه، وزن اندام‌های داخلی و ریخت‌شناسی ژژنوم)

¹ High Performance Liquid Chromatography

برای ارزیابی شاخص‌های عملکرد پرنده، میزان متوسط مصرف خوراک روزانه و متوسط افزایش وزن روزانه مربوط به هر واحد آزمایشی به ترتیب در سنین ۲۵ تا ۳۴ روزگی، ۳۵ تا ۴۴ روزگی و ۲۵ تا ۴۴ روزگی اندازه‌گیری شد و ضریب تبدیل خوراک با در نظر گرفتن تلفات روزانه و با استفاده از روز مرغ محاسبه گردید.

برای ارزیابی خصوصیات لاشه در پایان دوره آزمایش از هر تکرار دو قطعه جوجه نر که وزن آن‌ها به متوسط وزن جوجه‌های هر واحد آزمایشی نزدیک‌تر بود انتخاب و بعد از اعمال ۸ ساعت گرسنگی به آن‌ها وزن‌کشی شده و ذبح شدند. مقادیر وزن سینه، ران‌ها، بال‌ها، پشت (گردن تا دم)، کبد، پیش‌مده، سنگدان، طحال، بورس فابریسیوس، قلب، پانکراس، وزن و طول کل دستگاه گوارش و روده کوچک و وزن چربی محوطه شکمی با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شدند. سپس با تقسیم وزن اندام‌های داخلی بر وزن زنده، وزن نسبی آن‌ها محاسبه گردید. همچنین وزن لاشه بعد از کشتار جوجه و جداسازی سر، پاها، برداشتن پوست و خالی کردن امعاء و احشاء از بدن به‌عنوان وزن لاشه در نظر گرفته شد، سپس با تقسیم اندام‌های مربوط به لاشه به وزن زنده، وزن نسبی آن‌ها به دست آمد (Zhao et al., 2009).

به‌منظور بررسی شاخص‌های ریخت‌شناسی روده باریک، در روز ۴۴ آزمایش حدود یک سانتی‌متر از قسمت میانی بافت ژژنوم جدا شد. مطالعات ریخت‌شناسی بافت ژژنوم بر اساس روش Iji et al. (2001) انجام شد. در این روش نمونه‌های جدا شده با محلول بافر استریل ۰/۹ درصد شستشو داده می‌شود. جهت تثبیت، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محلول فرمالین ۱۰ درصد قرار داده شد و پس از آن به‌منظور ماندگاری طولانی مدت نمونه‌ها تا زمان مراحل رنگ‌آمیزی و تهیه برش‌های بافتی از نمونه، محلول فرمالین آن تعویض شد. پس از قالب‌گیری با پارافین برش‌هایی با ضخامت پنج میکرومتر با میکروتوم چرخان تهیه گردید و رنگ‌آمیزی بافت‌ها به کمک هماتوکسیلین و اتوژین انجام شد. شاخص‌های مورداندازه‌گیری شامل ارتفاع ویلی (از نوک ویلی تا محل اتصال کریپت)، عرض ویلی، عمق کریپت (از لابه‌لای ویلی‌ها تا ابتدای بخش لایه ماهیچه‌ای) و نسبت ارتفاع ویلی به عمق کریپت بودند (Iji et al., 2001) و میانگین تعداد ده ویلی سالم برای هر نمونه محاسبه و بر اساس میکروتوم گزارش گردید (Garcia et al., 2007).

آنالیز آماری آزمایش

تجزیه و تحلیل کلیه داده‌های حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و رویه GLM انجام شد. همچنین میانگین تیمارها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد ($P < 0.05$) مقایسه شدند (SAS, 2009).

جدول ۱. اجزا و ترکیب شیمیایی جیره غذایی جوجه‌های گوشتی در دوره پایانی (۲۵-۴۴ روزگی)

اجزای خوراک	جیره پایه (شاهد)	جیره حاوی ۲ درصد پودر سم	جیره حاوی ۴ درصد پودر سم	جیره حاوی ۶ درصد پودر سم
ذرت	۷۳/۶۸	۷۱/۵۱	۶۹/۳۴	۶۷/۱۸
کنجاله سویا	۲۰/۶۸	۲۰/۸۳	۲۰/۹۸	۲۱/۱۳
پودر سم	-	۲/۰۰	۴/۰۰	۶/۰۰
روغن گیاهی	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰
کرینات کلسیم	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
دی کلسیم فسفات	۱/۰۰	۱/۰۱	۱/۰۲	۱/۰۲
بیکربنات سدیم	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵
نمک	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰
مکمل Vit-Min	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰
دی ال متیونین	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۴
ال لیزین هیدروکلراید	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۳۶
ترئونین	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۲
فیتاز	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
مجموع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

مواد مغذی (محاسبه شده)			
انرژی قابل متابولیسم (Kcal/Kg)	۳۰۱۵	۳۰۱۵	۳۰۱۵
پروتئین خام (درصد)	۱۸/۸۴	۱۸/۸۴	۱۸/۸۴
کلسیم (درصد)	۰/۸۳	۰/۸۶	۰/۸۷
فسفر قابل دسترس (درصد)	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۴۰
سدیم (درصد)	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
تعادل آنیون-کاتیون	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰
لیزین (درصد)	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۹
متیونین-سیستین (درصد)	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵
ترئونین (درصد)	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۵۹
آرژنین (درصد)	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳

^۱ مکمل ویتامینه در هر کیلوگرم جیره تأمین کننده: ویتامین A ۹۰۰۰ واحد بین المللی، ویتامین D (کوله کلسیفرول) ۲۰۰۰ واحد بین المللی، ویتامین E ۱۸ واحد بین المللی، ویتامین K3 ۲ میلی گرم، ریبوفلاوین ۶/۶ میلی گرم، اسید پانتوتیک ۱۰ میلی گرم، پیریدوکسین ۳ میلی گرم، اسید فولیک ۱ میلی گرم، تیامین ۱/۸ میلی گرم، سیانوکوبالامین ۱۵ میکروگرم، بیوتین ۰/۱ میلی گرم، کولین کلراید ۵۰۰ میلی گرم و اتوکسی کوئین ۰/۱ میلی گرم.

^۲ مکمل معدنی در هر کیلوگرم جیره تأمین کننده: سلنیم ۰/۲ میلی گرم، ید ۱ میلی گرم، مس ۱۰ میلی گرم، آهن ۵۰ میلی گرم، روی ۸۵ میلی گرم و منگنز ۱۰۰ میلی گرم

جدول ۲. آنالیز تقریبی مواد مغذی موجود در پودر سم هیدرولیز شده

شاخص های اندازه گیری شده	درصد
ماده خشک	۹۳
انرژی خام (کیلوکالری بر کیلوگرم)	۲۹۰۰
چربی خام	۱/۶۰
پروتئین خام	۷۲/۴۰
متیونین	۰/۶۴
لازین	۱/۸۸
آرژنین	۵/۹۹
ترئونین	۲/۱۴
تریپتوفان	۰/۲۹
لوسین	۱/۹۲
والین	۴/۷۶
ایزولوسین	۱/۱۸
گلیسین	۳/۹۴
خاکستر	۷/۲۱
کلسیم	۰/۶۲
فسفر	۰/۲۷

یافته های پژوهش

عملکرد

نتایج صفات عملکرد در دوره پایانی پرورش در دوره های ۲۵ تا ۳۴، ۳۵ تا ۴۴ و ۴۵ تا ۴۴ روزگی در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد اگرچه جایگزینی پودر سم در جیره در سطوح ۲، ۴ و ۶ درصد جیره جوجه های گوشتی تأثیر معنی داری بر میانگین مصرف خوراک روزانه و میانگین افزایش وزن روزانه پرندگان نداشت ($P > 0.05$) ولی ضریب تبدیل خوراک در بازه زمانی ۳۵ تا ۴۴ روزگی

تحت تأثیر قرارداد ($P < 0.05$)؛ بطوریکه ضریب تبدیل خوراک در جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با سطوح ۲ و ۶ درصد پودر سم در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری بهبود یافت.

جدول ۳. اثرات استفاده از پودر سم هیدرولیز شده بر صفات عملکرد جوجه‌های گوشتی از سن ۲۵ تا ۴۴ روزگی

شاخص‌ها	متوسط افزایش وزن روزانه (گرم/پرنده/روز)	متوسط مصرف خوراک روزانه (گرم/پرنده/روز)	ضریب تبدیل خوراک (گرم/گرم)	تیمارها
	۲۵-۴۴	۲۵-۴۴	۲۵-۴۴	روزگی
شاهد	۶۷	۱۱۹	۱/۶۰	روزگی
جیره ۲٪ پودر سم	۷۰	۱۰۲	۱/۵۵	روزگی
جیره ۴٪ پودر سم	۶۶	۱۰۱	۱/۵۸	روزگی
جیره ۶٪ پودر سم	۷۱	۱۱۹	۱/۵۶	روزگی
SEM ^۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۳۵	روزگی
P-value	۰/۹۴	۰/۲۳	۰/۰۰۱	روزگی

^{a-c} میانگین‌ها در هر ردیف با حروف متفاوت معنی‌دار هستند ($P < 0.05$)

^۱ SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها

هزینه خوراک مصرفی به ازای هر کیلوگرم وزن زنده

جدول ۴ اثرات تیمارهای آزمایشی بر هزینه خوراک مصرفی به ازای هر کیلوگرم وزن زنده از سن ۲۵ تا ۴۴ روزگی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج مشاهده‌شده، استفاده از جیره پودر سم بر هزینه خوراک مصرفی به ازای هر کیلوگرم وزن زنده در بازه زمانی ۳۵ تا ۴۴ روزگی اختلاف معنی‌دار را نشان داد ($P < 0.05$)، به‌طوری‌که استفاده از ۲ و ۶ درصد پودر سم در مقایسه با جیره شاهد با بهبود عملکرد پرنده هزینه خوراک مصرفی به ازای هر کیلوگرم وزن زنده جوجه‌ها را کاهش داد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از جیره حاوی پودر سم با بهبود افزایش وزن پرندگان تغذیه‌شده با این منبع جایگزین کنجاله سویا - ذرت و در نهایت بهبود ضریب تبدیل غذایی می‌تواند هزینه خوراک مصرفی به ازای هر کیلوگرم وزن زنده پرندگان را کاهش دهد و سود اقتصادی خوبی برای بهره‌برداران به همراه داشته باشد. اگرچه استفاده از پودر سم بر هزینه خوراک مصرفی به ازای هر کیلوگرم وزن زنده در بازه زمانی ۲۵ تا ۳۴ روزگی هزینه جیره را به‌طور قابل‌توجهی کاهش داد ولی این کاهش هزینه از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). همچنین استفاده از پودر سم در بازه زمانی کلی ۲۵ تا ۴۴ روزگی تأثیر معنی‌داری بر شاخص اقتصادی هزینه خوراک مصرفی به ازای هر کیلوگرم وزن زنده نداشت ($P > 0.05$).

جدول ۴. اثرات استفاده از پودر سم هیدرولیز شده بر هزینه خوراک مصرفی به ازای هر کیلوگرم وزن زنده جوجه‌های گوشتی (ریال)

شاخص‌های اندازه‌گیری شده	قیمت هر واحد خوراک	۲۵-۳۴ روزگی	۳۵-۴۴ روزگی	۴۴-۵۵ روزگی
شاهد	۱۶۱۴۰ ^a	۲۱۸۶۳۷	۳۰۱۶۶۴ ^a	۲۵۷۶۳۱
جیره ۲٪ پودر سم	۱۶۳۰۲۰ ^b	۲۳۷۹۶۹	۲۶۸۵۰۱ ^c	۲۵۲۴۸۳
جیره ۴٪ پودر سم	۱۶۴۶۴۰ ^c	۲۲۹۰۱۳	۲۹۶۸۱۸ ^{ab}	۲۶۰۸۸۳
جیره ۶٪ پودر سم	۱۶۶۲۵۰ ^d	۲۴۰۵۰۲	۲۷۸۴۹۲ ^{bc}	۲۵۹۵۷۹
SEM ^۲	۳۱/۳۹	۵۶۷۰/۷۵	۵۷۲۶/۳۳	۴۴۵۳/۱۱
P-value	۰/۰۰۰۱	۰/۰۶	۰/۰۰۳	۰/۵۷

^{a-d} میانگین‌ها در هر ردیف با حروف متفاوت معنی‌دار هستند ($P < 0.05$)

^۲ SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها

خصوصیات لاشه

اثرات جیره‌های آزمایشی بر وزن زنده، راندمان لاشه، وزن نسبی ماهیچه سینه، ماهیچه ران و وزن پشت جوجه‌های تحت آزمایش در سن ۴۴ روزگی در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج استفاده از جیره پودر سم بر خصوصیات لاشه جوجه‌های گوشتی نشان داد که استفاده از جیره ۶ درصد پودر سم راندمان لاشه و راندمان گوشت ران را در مقایسه با جیره شاهد افزایش داد ($P < 0.05$).

جدول ۵. اثرات استفاده از پودر سم هیدرولیز شده بر خصوصیات لاشه جوجه‌های گوشتی در سن ۴۴ روزگی (درصدی از وزن زنده)

شاخص‌های اندازه‌گیری شده	وزن زنده	وزن لاشه	وزن سینه	وزن ران	وزن پشت
شاهد	۳۰۹۰	۶۳/۴۳ ^b	۲۴/۰۰	۱۷/۴۲ ^b	۲۰/۷۳
جیره ۲٪ پودر سم	۲۷۷۸	۶۵/۱۱ ^{ab}	۲۵/۸۸	۱۷/۷۱ ^{ab}	۲۱/۸۹
جیره ۴٪ پودر سم	۲۸۵۲	۶۵/۰۱ ^{ab}	۲۴/۷۷	۱۸/۶۰ ^{ab}	۲۱/۷۱
جیره ۶٪ پودر سم	۲۸۶۸	۶۶/۸۹ ^a	۲۵/۸۵	۱۹/۸۷ ^a	۲۱/۹۱
SEM ^۱	۱۲۶/۹۰	۰/۶۸	۱/۰۲	۰/۴۹	۰/۶۳
P-value	۰/۳۷	۰/۰۴	۰/۵۱	۰/۰۱	۰/۵۲

^{a-b} میانگین‌ها در هر ردیف با حروف متفاوت معنی‌دار هستند ($P < 0.05$)

^۱ SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها

وزن و طول نسبی اندام‌های داخلی بدن

نتایج مربوط به اثرات جیره‌های آزمایشی بر وزن نسبی اندام‌های داخلی بدن و همچنین وزن نسبی و طول نسبی بخش‌های مختلف دستگاه گوارش در سن ۴۴ روزگی به ترتیب در جداول ۶ و ۷ نشان داده شده است. این نتایج نشان داد که مکمل سازی جیره با سطوح مختلف پودر سم بر وزن نسبی اندام‌های داخلی بدن شامل وزن کبد، قلب، پانکراس، سنگدان، پیش معده، بورس فابریسیوس و طحال تأثیر معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$). همچنین شاخص‌های وزن نسبی و طول نسبی قسمت‌های مختلف دستگاه گوارش در سن ۴۴ روزگی شامل دئودنوم، ژوژنوم، ایلئوم و سکوم در جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با سطوح مختلف پودر سم هیدرولیز شده از لحاظ آماری تحت تأثیر قرار نگرفت ($P > 0.05$).

جدول ۶. اثرات استفاده از پودر سم هیدرولیز شده بر وزن نسبی اندام‌های داخلی لاشه جوجه‌های گوشتی در سن ۴۴ روزگی (درصدی از وزن زنده)

شاخص‌های اندازه‌گیری شده	کبد	قلب	پانکراس	سنگدان	پیش معده	بورس	طحال	چربی محوطه شکمی
شاهد	۲/۰۳	۰/۵۷	۰/۱۶	۱/۷۹	۰/۴۰	۰/۰۹۰	۰/۰۸۴	۱/۰۳
جیره ۲٪ پودر سم	۱/۸۹	۰/۴۲	۰/۱۸	۱/۸۱	۰/۳۶	۰/۰۹۲	۰/۰۷۰	۰/۷۶
جیره ۴٪ پودر سم	۱/۹۵	۰/۶۱	۰/۱۵	۱/۸۹	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۱۰	۰/۶۳
جیره ۶٪ پودر سم	۲/۰۱	۰/۴۹	۰/۱۷	۱/۵۰	۰/۳۴	۰/۱۲	۰/۰۸۲	۰/۷۰
SEM ^۱	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۳۰	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۱۰
P-value	۰/۹۱	۰/۱۵	۰/۷۵	۰/۸۱	۰/۷۸	۰/۳۷	۰/۷۳	۰/۰۶

^۱ SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها

جدول ۷. اثرات استفاده از پودر سم هیدرولیز شده بر وزن و طول دستگاه گوارش جوجه‌های گوشتی در سن ۴۴ روزگی

شاخص‌ها	وزن نسبی (گرم به ازای هر ۱۰۰ گرم وزن زنده)	طول نسبی (سانتی‌متر به ازای هر ۱۰۰ گرم وزن زنده)
---------	--	--

تیمارها	دئودنوم	ژوزنوم	ایلنوم	سکوم	دئودنوم	ژوزنوم	ایلنوم	سکوم
شاهد	۰/۶۱	۱/۲۸	۱/۱۳	۰/۲۳	۱/۳۰	۳/۹۸	۴/۱۲	۰/۸۹
جیره ۲٪ پودر سم	۰/۵۷	۱/۳۳	۱/۰۵	۰/۲۷	۱/۲۴	۴/۰۱	۳/۷۹	۰/۹۱
جیره ۴٪ پودر سم	۰/۶۰	۱/۳۴	۱/۱۰	۰/۲۵	۱/۲۱	۳/۹۳	۳/۹۳	۰/۹۳
جیره ۶٪ پودر سم	۰/۶۳	۱/۳۶	۱/۱۸	۰/۲۲	۱/۲۳	۴/۰۸	۴/۲۵	۰/۹۳
^۱ SEM	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۳۳	۰/۰۸
P-value	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۲۰

^۱ SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها

ریخت‌شناسی ژژنوم

نتایج حاصل از آزمایش ریخت‌شناسی ژژنوم جوجه‌های گوشتی در سن ۴۴ روزگی در جدول ۸ ارائه شده است. در این مطالعه ۴ شاخص ارتفاع ویلی (از نوک تا دهانه کریپت)، عمق کریپت (از دهانه کریپت تا پایه)، عرض ویلی و نسبت ارتفاع ویلی به عمق کریپت اندازه‌گیری شدند. نتایج مربوط به این شاخص‌ها نشان داد که تنها شاخص عمق کریپت با افزودن مکمل پودر سم به جیره دارای اختلاف معنی‌داری بود ($P < 0.05$) ولی سایر شاخص‌های ریخت‌شناسی ژژنوم شامل ارتفاع ویلی، عرض ویلی و نسبت ارتفاع ویلی به عمق کریپت تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفتند. نتایج آزمایش نشان داد که استفاده از جیره ۲ درصد پودر سم باعث کاهش معنی‌دار عمق کریپت در مقایسه با تیمار شاهد و تیمار ۶ درصد پودر سم گردید.

جدول ۸. اثرات استفاده از پودر سم هیدرولیز شده بر شاخص‌های ریخت‌شناسی جوجه‌های گوشتی در سن ۴۴ روزگی (برحسب میکرومتر)

شاخص‌های اندازه‌گیری شده	ارتفاع ویلی	عمق کریپت	عرض ویلی	نسبت ارتفاع به عمق
شاهد	۱۲۳۰/۳۶	^a ۱۳۱/۴۳	۱۸۰/۳۶	۹/۳۵
جیره ۲٪ پودر سم	۱۲۸۴/۸۴	^b ۱۲۱/۷۵	۱۷۷/۶۸	۱۰/۵۵
جیره ۴٪ پودر سم	۱۲۱۳/۳۹	^{ab} ۱۲۶/۰۷	۱۷۹/۴۶	۹/۶۲
جیره ۶٪ پودر سم	۱۲۴۷/۳۲	^a ۱۲۸/۹۳	۱۷۵/۰۰	۹/۶۹
^۲ SEM	۵۶/۰۳	۱/۷۳	۴/۹۳	۰/۴۱
P-value	۰/۸۳	۰/۰۰۷	۰/۸۷	۰/۲۴

^{a-b ۱} میانگین‌ها در هر ردیف با حروف متفاوت معنی‌دار هستند ($P < 0.05$)^۲ SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها

بحث

عملکرد

همسو با نتایج کلی عملکرد آزمایش حاضر، Khosravinia et al. (2015) گزارش کردند که استفاده از پودر ضایعات کشتارگاهی طیور از سطوح ۱/۲۵ تا ۵ درصد جیره پایانی جوجه‌های گوشتی به عنوان منبع پروتئینی جایگزین جیره، تأثیری بر عملکرد جوجه‌ها نداشت. همچنین Swe et al. (2022) گزارش کردند که استفاده از ۵ درصد پودر گوشت و استخوان و ۵ درصد پودر پر در مقایسه با ۵ درصد پودر ماهی در جیره‌های بر پایه ذرت - کنجاله سویا اثرات نامطلوبی بر صفات عملکرد جوجه‌های گوشتی داشتند. در مطالعه حاضر چنین استنباط شد که استفاده از سطوح مختلف پودر سم باوجود داشتن اختلاف وزن زنده نسبت به تیمار شاهد منجر به اثرات منفی معنی‌دار بر عملکرد پرند نشد و حتی در برخی صفات عملکرد پرند نتایج مشابه تیمار شاهد بود. بنابراین با توجه به ترکیبات شیمیایی مؤثر موجود در پودر سم هیدرولیز شده ارزش غذایی بالای این افزودنی خوراکی (جدول ۲) می‌توان آن را در سطوح بالا بدون تأثیر منفی بر عملکرد پرند استفاده کرد و قابل‌رقابت با جیره مرسوم ذرت-کنجاله سویا است که از لحاظ انرژی و پروتئین جیره

متعادل تری برای عملکرد طیور محسوب می‌شود (Odetallah *et al.*, 2003). کراتین ها غنی از باقیمانده‌های سیستئینی است که با پیوندهای دی سولفیدی، زنجیرهای پلی پپتیدی فوق پیچ خورده مجاور را به هم متصل می‌کند. در شاخ‌ها، سم‌ها و مو کراتین به شکل آلفا-کراتین است درحالی‌که در پرها کراتین به شکل بتا-کراتین می‌باشد (Chen *et al.*, 2022). یافته‌های مرتبط با ضایعات کشتارگاهی طیور از جمله پودر پر هیدرولیز شده، پودر خون و پودر ضایعات طیور نشان داده‌اند که این فرآورده‌های فرعی خوراکی می‌توانند منبع خوبی از پروتئین برای جوجه‌های گوشتی باشند؛ به‌طوری‌که پودر پر می‌تواند تا ۱۵ درصد پروتئین خام جیره را تأمین کند (Hassanabadi *et al.*, 2008). همچنین، Xu *et al.* (2022) گزارش کردند که در جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره حاوی پودر پر همراه با آنزیم کراتیناز وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک در مقایسه با تیمار شاهد بهبود یافت. باوجود اطلاعات اندک در مورد مواد کراتینه و استفاده از آن‌ها در جیره حیوانات اهلی و آبزیان تاکنون گزارش‌های قابل استنادی در مورد استفاده از پودر سم هیدرولیز شده گاو در تغذیه جوجه‌های گوشتی بر فراسنجه‌های عملکردی آن‌ها وجود ندارد.

خصوصیات لاشه

مشابه یافته‌های این آزمایش در زمینه خصوصیات لاشه، Nabati *et al.* (2021) گزارش کردند که افزودن مکمل کراتین منوهیدرات به جیره جوجه‌های گوشتی بازده لاشه و وزن نسبی ماهیچه سینه و ران را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. فرآورده‌های کراتینه استفاده‌شده در خوراک دام و طیور در صورتی‌که به‌صورت هیدرولیز شده مصرف شوند می‌توانند منابع غنی از پروتئین و اسید آمینه برای حیوانات باشند. در مورد ترکیب شیمیایی پودر سم و شاخ یافته‌های محققین نشان می‌دهد که این مواد دارای پروتئین خام بالا (۶۹/۵ تا ۸۸/۶ درصد) عمدتاً از نوع کراتین هستند که علاوه بر بهبود رشد ماهیچه نقش کلیدی در تأمین انرژی برای پرند فراهم می‌کنند (Limeneh *et al.*, 2022). برخلاف یافته‌های این آزمایش Xu *et al.* (2022) و Carvalho *et al.* (2013) گزارش کردند که به ترتیب جیره حاوی پودر پر و پودر گوشت و استخوان تأثیر معنی‌داری بر راندمان لاشه جوجه‌های گوشتی نداشت. متیونین اولین اسید آمینه محدودکننده در جیره‌های طیور بر پایه ذرت-کنجاله سویا، می‌باشد، بنابراین به نظر می‌رسد که در صورت افزودن منابع کراتینه به جیره علاوه بر تأمین اسیدهای آمینه آرژنین، گلايسین و متیونین و صرفه‌جویی در مصرف آن‌ها، بسیاری از واکنش‌های بیوشیمیایی مرتبط با فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی و بیوانرژتیک که ارتباط مستقیمی با رشد پرند دارد به سهولت انجام خواهد شد (Wu, 2010; Wu, 2020). بطور کلی، کراتین موجود در جیره غذایی که فقط حاوی مواد خوراکی گیاهی هستند ممکن است کراتین کمتری را برای جوجه‌های گوشتی در حال رشد از طریق جیره تأمین کنند، در نتیجه فشار بیشتری بر سنتز *de-novo* کراتین (تولید کراتین در بدن از پیش سازهای ساده آن) وارد می‌شود که احتمالاً منجر به کمبود مواد مغذی ضروری مورد نیاز برای سنتز کراتین می‌گردد (Boney *et al.*, 2020). در مقابل فرآورده‌های فرعی کشتارگاهی از جمله پودر گوشت و استخوان و شاخ و سم و پودر پر که به‌صورت مکمل کراتین حیوانی (آلفا و بتا کراتین) محسوب می‌شوند قابلیت استفاده بیولوژیکی بسیار بالایی دارند و هنگام عبور از دستگاه گوارش به‌صورت کامل و دست‌نخورده و مستقیم از غشای اپیکال ژژنوم از طریق پمپ سدیم-پتاسیم ATP-ase وارد جریان خون می‌شوند. کراتین حاصل وارد خون شده و در تمام بدن به‌ویژه در بافته‌ای ماهیچه‌ای گسترش می‌یابد زیرا بافته‌ای ماهیچه‌ای بیشترین مصرف‌کننده کراتین هستند (Wu, 2020; Volek *et al.*, 2008). در جوجه‌های با سرعت رشد بالا برای رشد سریع ماهیچه‌ها باید کراتین از منابع درون زادی از طریق سنتز *de-novo* در کبد یا از منابع برون زادی تأمین شود (Brosnan *et al.*, 2009). یکی از دلایلی که ممکن است کراتین عملکرد و سنتز پروتئین را بهبود دهد این است که مقدار انرژی ذخیره‌شده در ماهیچه را به‌صورت کراتین و فسفو کراتین افزایش می‌دهد (Casey *et al.*, 1996; Wyss and Kaddurah-Daouk, 2000). این نتایج به‌طور واضح نشان می‌دهد که منابع کراتینی در آزمایش حاضر منابع کراتینه نقش مهمی در رشد بهینه بازده لاشه، عضله ران و همچنین مصرف مواد مغذی در جوجه‌های گوشتی سریع‌الرشد بازی می‌کنند و سنتز *de-novo* کراتین توسط کلیه و کبد برای رشد بهینه حیوان کافی نیست (Boney *et al.*, 2020). کراتین با پذیرش گروه‌های فسفات بالانرژی بالا از آدنوزین تری فسفات (ATP) به فسفو کراتین به حفظ تعادل انرژی در سلول‌ها و بافت‌ها کمک می‌کند و سپس گروه فسفات پرانرژی را برای تشکیل ATP در زمانی که تقاضای انرژی زیاد است، آزاد می‌کند. بنابراین مکمل

سازی کراتین در جیره مساوی با مصرف انرژی به منظور افزایش ذخیره سازی فسفوکراتین در بدن می باشد و این نتیجه بیانگر این مسئله است که زمانی که مصرف انرژی افزایش می یابد هم زمان رشد پیوسته پروتئین نیز تا زمانی که به حد بالایی برسد به طور خطی افزایش می یابد (Michiels et al., 2012; Ibrahim et al., 2015).

وزن و طول نسبی اندام های داخلی بدن

مشابه با نتایج این آزمایش در خصوص وزن اندام های داخلی بدن، Nabati et al. (2021) گزارش کردند مکمل سازی جیره با کراتین منویدرات اثر معنی داری بر وزن نسبی قلب، کبد و دستگاه گوارش نداشت. نیاز حیوانات به کراتین می تواند از طریق ساخت اندوژنوسی یا از طریق منبع پروتئین حیوانی در جیره تأمین شود. کبد، کلیه ها و پانکراس به طور ذاتی حدود ۱ تا ۲ گرم کراتین روزانه تولید می کنند و ۱ تا ۲ گرم کراتین نیز از طریق مواد غذایی تأمین می شود. بنابراین، حیوانات مزرعه ای و به ویژه جوجه های سریع رشد که در جیره شان دارای پروتئین حیوانی کم یا فاقد پروتئین حیوانی هستند ممکن است دارای کمبود کراتین باشند و برای تأمین انرژی روزانه و تولید ATP از طریق سیستم کراتین و فسفوکراتین برای انقباضات ماهیچه ای نیازمند منابع کراتینه باشند (Brosnan et al., 2009). اگرچه وزن نسبی چربی محوطه بطنی در جوجه های تغذیه شده با سطوح مختلف پودر سم در مقایسه با تیمار شاهد کمتر بود، ولی این تأثیر از لحاظ آماری معنی دار نبود. مشابه با نتایج این آزمایش (Chen et al., 2011) گزارش کردند که افزودن ۵ و ۱۰ درصد کراتین پیرووات به جیره جوجه های گوشتی مقدار چربی محوطه شکمی جوجه ها را در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داد. همچنین Ibrahim et al. (2015) نشان دادند که افزودن کراتین منویدرات به جیره جوجه های گوشتی وزن نسبی چربی محوطه بطنی را در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داد. یافته های قبلی در خصوص تأثیر فرآورده های کراتینه بر کاهش ذخیره چربی بدن نشان داده اند که فرآورده های کراتینی از جمله کراتین-پیرووات با افزایش فعالیت و بیان ژن های کارنتین پالمیتیل ترانسفراز-۱ (CPT-1) و گیرنده آلفا فعال شونده با تکثیر کننده پراکسیزوم $PPAR-\alpha$ (ژن های دخیل در بتا اکسیداسیون اسیدهای چرب) در کبد و بافت چربی منجر به افزایش نرخ بتا اکسیداسیون و کاهش ذخیره چربی بدن شوند (Chen et al., 2011). فعال سازی $PPAR-\alpha$ باعث افزایش رونویسی پروتئین های انتقال اسید چرب می شود که ورود اسیدهای چرب به سلول ها و فعالیت آنزیم های دخیل در بتا اکسیداسیون اسیدهای چرب را تسهیل می کند و منجر به کاهش سنتز اسیدهای چرب و کاهش ذخیره چربی در بدن می شود (Pawlak et al., 2015).

ریخت شناسی ژژنوم

Swatson et al., (2002) معتقد است که راندمان استفاده از مواد غذایی جیره تا حدودی به توسعه دستگاه گوارش وابسته است. چنین توسعه ای می تواند با اندازه گیری ارتفاع ویلی و عمق کریپت ها تعیین شود. اعتقاد بر این است که افزایش ارتفاع ویلی های روده کوچک باعث افزایش سطح تماس و به دنبال آن افزایش سطح جذب مواد مغذی می گردد و همچنین کاهش عمق کریپت (که در تحقیق حاضر اختلاف معنی داری داشت) باعث افزایش سرعت جذب و سطح جذب مواد مغذی می گردد (Laudadio et al., 2012). ثابت شده است که کریپت های روده ای به عنوان کارخانه محل ساخت ویلی ها می باشند که در آن ها سلول های در حال تمایز جذبی، سلول های گابلت، پانت، انترواندوکرین و سلول های بنیادی وجود داشته که توانایی تمایز به سلول های دیگر را دارند؛ بنابراین افزایش عمق کریپت نشان دهنده ترن آور سریع بافتی (دگر ساخت بافتی) و نیاز بیشتر به سنتز بافت جدید است (Maiorka et al., 2003). از آنجائی که عمق کمتر کریپت باعث سوخت و ساز کمتر در سلول های لایه مخاطی روده می شود بنابراین میزان ریزش این سلول ها به درون لومن روده کاهش یافته که این امر موجب صرفه جویی در سوخت و ساز سلولی شده و در نهایت باعث کاهش انرژی نگهداری اپیتلیوم روده و در نتیجه بهبود بازده خوراک می شود (Nooreh et al., 2022). Afshar et al. (2024) گزارش کردند که استفاده از پودر پر آبکافت قلیایی در سطوح ۲، ۴ و ۵ درصد به عنوان مکمل کراتینه در جیره جوجه های گوشتی ارتفاع ویلی بافت ژژنوم را کاهش داد، ولی سطح ۴ درصد آن در مقایسه با سطح ۲ درصد عمق کریپت ها را کاهش داد. همچنین محققین اخیراً گزارش کردند که تراکم

¹ Carnitine palmitoyltransferase 1

² Peroxisome proliferator-activated receptor alpha

سلول‌های جامی (گابلت سل‌ها) ژوژنوم در سطح ۵ درصد پودر پر در مقایسه با سطح ۴ درصد افزایش یافت. گزارش شده است که اسیدهای آمینه متیونین و آرژنین که در مواد کراتینه حضور دارند در سنتز پلی آمین‌هایی نظیر پوترسین، اسپرمین و اسپرمیدین نقش دارند، بطوریکه این پلی آمین‌ها باعث تکثیر و تمایز سلولی، سنتز پروتئین و رشد بافته‌ای مخاطی روده در ارتباط هستند (Yao et al., 2011). بنابراین ترکیبات کراتینه غنی از پروتئین و اسیدهای آمینه ضروری (متیونین، آرژنین و گلیسین) می‌توانند موجب تحریک توسعه مخاط روده و همچنین تسریع تقسیم سلولی در منطقه کریپت پرزها شده و تعداد و ویلی‌ها را افزایش داده و در نهایت منجر به بهبود فعالیت هضمی و جذبی پرند شوند (Teshfam et al., 2005). با توجه به کمبود گزارش‌های در خصوص استفاده از ضایعات و پسماندهای کشتارگاهی کراتینه هیدرولیز شده دام از جمله سم، شاخ و پوست و موی گاو، گوسفند و سایر دام‌ها بر شاخص‌های ریخت‌شناسی دستگاه گوارش جوجه‌های گوشتی انجام تحقیقات بیشتری در این زمینه باید موردتوجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق چنین استنباط می‌شود که تغذیه جوجه‌های گوشتی در دوره پایانی پرورش با جیره‌های پلت شده حاوی پودر سم هیدرولیز شده بدون اثرات منفی بر عملکرد پرند باعث بهبود برخی خصوصیات لاشه گردید. استفاده از سطوح ۲ و ۶ درصد پودر سم هیدرولیز شده در مقایسه با جیره شاهد با بهبود ضریب تبدیل غذایی پرند هزینه خوراک مصرفی به ازای هر کیلوگرم وزن زنده جوجه‌ها را در طول دوره آزمایش کاهش داد. همچنین استفاده از ۲ درصد پودر سم هیدرولیز شده توانست عملکرد جذبی پرند را در مقایسه با جیره شاهد بهبود بخشد. بنابراین، تحقیقات بیشتری در زمینه استفاده از پودر سم هیدرولیز شده در جیره جوجه‌های گوشتی پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از شرکت اندیشه‌سازان صنعت خوراک دام جهت تأمین مکمل پودر سم هیدرولیز شده و همچنین از موسسه تحقیقات علوم دامی و دپارتمان تحقیقات تغذیه برای فراهم کردن تجهیزات و امکانات لازم پرورشی جهت انجام این پروژه قدردانی می‌نمایند.

منابع

فضائلی، حسن (۱۳۹۷). پسماندهای کشاورزی، عمل‌آوری و مصرف در تغذیه دام. انتشارات موسسه تحقیقات علوم دامی کشور.
نباتی ارسلان؛ شریفی، سید داود؛ غضنفری، شکوفه و محمدی، وحید (۱۴۰۰). تأثیر مکمل کراتین منوهیدرات در جیره‌های با سطوح مختلف پروتئین بر عملکرد، خصوصیات لاشه و برخی از فراستجه‌های خونی جوجه‌های گوشتی. نشریه علوم دامی، پژوهش و سازندگی. ۱۳۱: ۸۹-۱۰۴.

نوره، زهرا؛ طاهرپور، کامران؛ اکبری محمد؛ قاسمی، حسینعلی و شیرزادی، حسن (۱۴۰۱). اثرات عصاره گیاه چویر بر پاسخ‌های رشد، پاسخ ایمنی و مورفولوژی روده باریک جوجه‌های گوشتی در شرایط چالش با آفلاتوکسین. نشریه پژوهش‌های علوم دامی دانشگاه تبریز. ۳۲ (۲): ۶۲-۴۷.

REFERENCES

- Afshar, R., Karimi Torshizi, M.A., Shariatmadari, F., & Eivakpour, A. (2024). Effect of alkaline hydrolyzed feather meal on performance, intestinal morphology, and meat oxidation of Arian broiler chickens. *Iranian Journal of Animal Science*, 55 (2), 225-243.
- AOAC. (2019). Official Methods of Analysis. 21st ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD.
- Boney, J. W., Patterson, P. H., & Solis, F. (2020). The effect of dietary inclusions of guanidinoacetic acid on D1-42 broiler performance and processing yields. *Journal of Applied Poultry Research*, 29 (1), 220–228.
- Brosnan, J.T., Wijekoon, E.P., Warford-Woolgar, L., Trottier, N.L., Brosnan, M.E., Brunton, J.A. & Bertolo, R.F.P. (2009). Creatine synthesis is a major metabolic process in neonatal piglets and has important implications for amino acid metabolism and methyl balance. *Journal of Nutrition*, 139, 1292-1297.
- Carvalho, C.M.C., Fernandes, E.A., De Carvalho, A.P., Maciel, M.P., Caires, R.M. & Fagundes, N.S. (2013). Effect of creatine addition in feeds containing animal meals on the performance and carcass yield of broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 15(3), 169–286.
- Casey, A., Constanin-Teodosiu, D., Howell, S., Hultman, E. & Greenhaff, P.L. (1996). Creatine ingestion favorably affects performance and muscle metabolism during maximal exercise in humans. *American Journal of Physiology*, 271, E31–E37.
- Chen, H., Gao, Sh., Li, Y., Xu, H., Li, W., Wang, J. & Zhang, Y. (2022). Valorization of livestock keratin waste: Application in agricultural fields. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 6681.
- Chen, J., Ma, H., Wang, M., Kong, Y. & Zou, S. (2011). Creatine pyruvate enhances lipolysis and protein synthesis in broiler chickens. *Agricultural Sciences in China*, 10(12), 1977–1985.
- Falay, A.E. & Sule, S.O. (2020). Chemical composition of differently processed Cattle Hoof meal Waste as Feedstuff Ingredient. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 3(1), 47-51.
- Fazaeli, H. (2019). Agricultural Residues, Processing, And Utilization in Animal Nutrition: *Animal Science Research Institute of Iran*. (2019, 339-384). (in Persian)
- Gachango, F.G., Ekmann, K.S., Frørup, J. & Pedersen, S.M. (2017). Use of pig by-products (bristles and hooves) as alternative protein raw material in fish feed: A feasibility study. *Aquaculture*, 479, 265-272.
- Garcia, V., Catala-Gregori, P., Hernandez, F., Megias, M.D. & Madrid, J. (2007). Effect of formic acid and plant extracts on growth, nutrient digestibility, intestine mucosa morphology, and meat yield of broilers. *Poultry Science*, 16, 555–562.
- Grazziotin, A., Pimentel, F.A., de Jong, E.V. & Brandelli, A. (2006). Nutritional Improvement of Feather Protein by Treatment with Microbial Keratinase. *Animal Feed Science and Technology*, 126, 135-144.
- Hassanabadi, A., Amanloo, H. & Zamanian, M. (2008). Effects of substitution of soybean meal with poultry by- product meal on broiler chickens performance. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 7(3), 303-307.
- Ibrahim, D., Metwally, A.E. & Khater, S.I. (2015). Supplementation of whey protein concentrates and creatine monohydrate to broiler diet: Effects on performance, molecular regulation of muscle building, carcass characteristics, and oxidative status. *Global Veterinaria*, 15, 423-432.
- Iji, P.A., Hughes, R.J., Choct, M. & Tivey, D.R. (2001). Intestinal structure and function of broiler chickens on wheat-based diets supplemented with a microbial enzyme. *Animal Science*, 14, 54-60.
- Jayathilakan, K., Sultana, K., Radhakrishna, K. & Bawa, A. S. (2012). Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49, 278–293.
- Jumini, S. (2017). Alternative fish feed production from waste chicken feathers. *International Journal of Science and Applied Science: Conference Series*, 1, 144-152.
- Karthikeyan, R., Balaji, S. & Sehgal, P.K. (2007). Industrial applications of keratins: A review. *Journal of*

- Scientific and Industrial Research*, 66, 710–715.
- Khosravinia, H., Azarfar, A., & Sokhtehzary, A. (2015). Effects of substituting fish meal with poultry by-product meal in broiler diets on blood urea and uric acid concentrations and nitrogen content of litter. *Journal of Applied Poultry Research*, 43 (2), 191-195.
- Laudadio, V., Passantino, L., Perillo, A., Lopresti, G., Khan, R. & Tufarelli, V. (2012). Productive performance and histological features of intestinal mucosa of broiler chickens fed different dietary protein levels. *Poultry Science*, 91, 265–270.
- Limeneh, D. Y., Tesfaye, T., Ayele, M., Husien, N. M., Ferede, E., Haile, A., et al. (2022). A comprehensive review on utilization of slaughterhouse by-product: current status and prospect. *Sustainability*, 14, 6469.
- Maiorka, A., Santin, E., Dahlke, F., Boleli, I.C., Furlan, R.L. & Macari, M. (2003). Post hatching water and feed deprivation affect the gastrointestinal tract and intestinal mucosa development of broiler chicks. *Journal of Applied Poultry Research*, 12, 483-492.
- Michiels, J., Maertens, L., Buyse, J., Lemme, A., Rademacher, M., Dierick, N.A. & De Smet, S. (2012). Supplementation of guanidinoacetic acid to broiler diets: Effects on performance, carcass characteristics, meat quality, and energy metabolism. *Poultry Science*, 91, 402-412.
- Mozhiarasi, V., & Natarajan, T. S. (2022). Slaughterhouse and poultry wastes: Management practices, feedstocks for renewable energy production, and recovery of value added products. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 10, 1-24.
- Nabati, Arsalan., Sharifi, S.D., Ghazanfari, S. & Mohammadi, V. (2021). Effect of creatine monohydrate supplementation in diets containing different protein levels on the carcass characteristics and hematological parameters of the broiler chickens. *Animal Science Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 131, 89-104. (in Persian).
- Nooreh, Z., Taherpour, K., Akbari Gharaei, M., Ghasemi, H.A. & Shirzadi, H. (2022). Effects of Ferulago angulate extract on growth response, immune response and small intestine morphology of broiler chickens exposed to aflatoxin challenge. *Journal of Animal Science*, 32 (2), 47-62. (in Persian).
- Odetallah, N.H., Wang, J.J., Garlich, J.D. & Shih, J.C.H. (2003). Keratinase in starter diets improves growth of broiler chicks. *Poultry Science*, 82, 664–670.
- Pawlak, M., Lefebvre, P. & Staels, B. (2015). Molecular mechanism of PPAR α action and its impact on lipid metabolism, inflammation and fibrosis in non-alcoholic fatty liver disease. *Journal of Hepatology*, 62, 720-733.
- SAS. (2009). SAS Statistics User's Guide, Statistical Analysis System, 9.2 version. SAS Institute Inc, Cary, NC.
- Swe, K. H., Lay, K. K., Aung, Y. L., Aung, Y., Thiri, T., Oo, H. L., et al. (2022). Effect of animal by-products on the growth performance of broiler chickens. *Journal of Livestock Science*, 13, 58-66.
- Swatson, H.K., Gous, R., Iji, P.A. & Zarrinkalam, R. (2002). Effect of dietary protein level, amino acid balance, and feeding level on growth, gastrointestinal tract, and mucosal structure of the small intestine in broiler chickens. *Animal Research*, 51, 501–515.
- Teshfam, M., Nodeh, H. & Hassanzadeh, M. (2005). Alterations in the intestinal mucosal structure following oral administration of triiodothyronine (T3) in broiler chickens. *Journal of Applied Animal Research*, 27(2), 105-108.
- Volek, J., Kevin, D., Ballard, M. S., Cassandra, E. & Forsythe, M. S. (2008). Overview of Creatine Metabolism. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 10, 144-167.
- Wyss, M. and Kaddurah-Daouk, R. (2000). Creatine and creatinine metabolism. *Physiological Reviews*, 80, 1107–1213.
- Wu, G. (2010). Functional amino acids in growth, reproduction and health. *Advances in Nutrition*, 1, 31–37.
- Wu, G. (2020). Important roles of dietary taurine, creatine, carnosine, anserine and hydroxyproline in human nutrition and health. *Amino Acids*, 52, 329–360.
- Xu, K.L., Gong Liu, G.X., Yang, M.L., Xu, Z.J., Gao, S., Xiao, M.Y., Ren, T., Zhao, B.J., Khalil, M.M., Zhao, L. & Sun, L.H. (2022). Keratinase improves the growth performance, meat quality, and redox

- status of broiler chickens fed a diet containing feather meal. *Poultry Science*, 101, 101913.
- Yao, K., Guan, S., Li, T., Huang, R., Wu, G., Ruan, Z. & Yin, Y. (2011). Dietary Larginine supplementation enhances intestinal development and expression of vascular endothelial growth factor in weanling piglets. *British Journal of Nutrition*, 105, 703-709.
- Zhao, J.P., Chen, J.L., Zhao, G.P., Zheng, M.Q., Jiang, R.R. & Wen, J. (2009). Live performance, carcass composition, and blood metabolite responses to dietary nutrient density in two distinct broiler breeds of male chickens. *Poultry Science*, 88, 2575–2584.