



The effects of alpha lipoic acid and different sources of selenium on growth performance, carcass characteristics, intestinal morphology and microbial population of broiler chickens

Mohammad Vali Mansour Kiaei ¹ , Vahid Rezaeipour ²  , Sakineh Asadzadeh ³ ,
Rohullah Abdollahpour ⁴  and Mehdi Chobchian ⁵ 

1. Department of Animal Science, QaS.C., Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran. E-mail: Keyhanmansourkia@gmail.com
2. Corresponding author, Department of Animal Science, QaS.C., Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran. E-mail: Vrezaeipour@iau.ac.ir
3. Department of Animal Science, QaS.C., Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran. E-mail: S.asadzadehvosta@iau.ac.ir
4. Department of Animal Science, QaS.C., Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran. E-mail: Rohullah.abdollahpour@iau.ac.ir
5. Department of Animal Science, QaS.C., Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran. E-mail: Mahdichoobchian@iau.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	This study was conducted to evaluate the effects of different selenium sources (inorganic, organic, and nano) and levels of alpha-lipoic acid on growth performance, carcass characteristics, jejunum morphology, and intestinal microbial population of broiler chickens. Four hundred and fifty Ross 308-male broiler chicks were used in 6 treatments with 5 replicates each. The experimental diets were arranged in a completely randomized design with a 2×3 factorial arrangement, including two levels of alpha-lipoic acid in the diet (0 and 300 mg/kg) and three selenium sources: inorganic (sodium selenite), organic (selenomethionine), and nano (nano-selenium). Results showed that chicks fed organic and nano selenium had better feed conversion ratios compared to those fed inorganic selenium (p<0.05). Additionally, supplementation with 300 mg/kg alpha-lipoic acid significantly increased body weight and improved feed conversion ratio in broilers (p<0.05). Addition of nano selenium increased the relative weights of carcass, thigh, bursa and spleen compared with inorganic selenium (P<0.05). Furthermore, the highest weight of spleen was observed in group with combination of nano selenium and alpha-lipoic acid (p<0.05). Morphology of jejunum, consumption of alpha-lipoic acid and nano selenium significantly increased the length and surface area of jejunal villi (p<0.05). The results of microbial population indicated that adding alpha-lipoic acid to the diet increased <i>Lactobacillus</i> population in cecum (p<0.05). Therefore, it is concluded that the use of organic or nano selenium along with alpha-lipoic acid can improve growth performance and gut health in broiler chickens.
Article history: Received: 14 October 2025 Received in revised form: 4 December 2025 Accepted: 27 December 2025 Published online: Summer 2026	
Keywords: <i>alpha-lipoic acid,</i> <i>broiler chickens,</i> <i>carcass,</i> <i>growth,</i> <i>selenium.</i>	

Cite this article: Mansour Kiaei, M. V., Rezaeipour, V., Asadzadeh, S., Abdollahpour, R. & Chobchian, M. (2026). The effects of alpha lipoic acid and different sources of selenium on growth performance, carcass characteristics, intestinal morphology and microbial population of broiler chickens. *Iranian Journal of Animal Science*, 57 (2), 315-331. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.404275.654100>



Extended Abstract

Introduction

In the poultry industry, broiler chickens are exposed to various stress factors due to their rapid growth and high metabolic pressures, which can lead to reduced growth performance. Therefore, the use of antioxidant compounds in the diet of broiler chickens can be an effective strategy to improve health status, reduce the effects of stress, and enhance their growth performance. Selenium is an essential mineral for normal growth, health, and the mitigation of oxidative stress effects in broiler chickens. This mineral is an important component of the glutathione peroxidase enzyme, which protects cells and cell membranes from oxidation. On the other hand, alpha-lipoic acid is a sulfur-containing coenzyme with strong antioxidant properties involved in cellular metabolism and energy production. This molecule acts in the mitochondria as a cofactor for key enzymes in the citric acid cycle and has a unique ability to regenerate various antioxidants such as glutathione, vitamin C, and vitamin E.

Materials and methods

For this experiment, 450 male broiler chicks with an average weight of 42 ± 1 grams were used in a completely randomized design in a 2×3 factorial arrangement, including 6 treatments and 5 replicates, with each experimental unit consisting of 15 chicks. The experimental treatments included the combined effects of two factors: three types of selenium sources (inorganic, organic, and nano) and two levels of alpha-lipoic acid inclusion (with and without) in the diet. The alpha-lipoic acid was included in the diets at levels of 0 and 300 mg/kg. The experimental diets were formulated based on the nutritional requirements tables outlined in the Ross 308 Broiler Management Guide (2019).

Results

The results showed that broilers fed diet containing of organic and nano selenium had better feed conversion ratios compared to those fed with selenium. Additionally, supplementation with 300 mg/kg alpha-lipoic acid increased growth performance in the chicks. Selenium sources had a significant effect on the percentage of carcass, thigh, bursa of Fabricius, and spleen. Furthermore, adding alpha-lipoic acid to the diet significantly increased the relative weight of the bursa of Fabricius in broilers. In jejunal morphology, the consumption of alpha-lipoic acid and nano selenium increased the length and surface area of jejunal villi. Microbial population results indicated that adding alpha-lipoic acid to the diet increased the population of *Lactobacillus* in the cecum of broiler chickens.

Conclusions

The overall findings of the present study demonstrated that addition of selenium sources as organic and nano forms improved growth performance of broiler chickens. Additionally, adding alpha-lipoic acid supplement to diets was effective in improving feed efficiency, and microbial population of broiler chickens.

Author Contributions

Vahid Rezaeipour: Conceptualization, Validation, Supervision, Writing, Project administration

Mohammad Vali Mansour Kiaei: Methodology, Formal analysis, Investigation, Original Draft

Sakineh Asadzadeh: Conceptualization, Validation, Supervision

Rohullah Abdullahpour: Methodology, Data analysis, Validation, Software

Mehdi Chobchian: Data analysis, Project administration

Data Availability Statement

All data obtained and analyzed during this experiment are included in this article.

Ethical considerations

Animal handling and experimental procedures were performed according to the guidelines of EU Directive 2010/63/EU for animal experiments and animal care protocol was approved by the Department of Animal Science, QaS.C, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.

Conflict of interests

The authors clarify that they have no conflict of interest in this research.

تأثیر آلفا لیپوئیک اسید و منابع مختلف سلنیوم بر عملکرد رشد، ویژگی‌های لاشه، ریخت شناسی روده و جمعیت میکروبی جوجه‌های گوشتی

محمد ولی منصور کیایی^۱ و وحید رضایی پور^۲ | سکینه اسدزاده^۳ | روح الله عبدالله پور^۴ | مهدی چوپچیان^۵

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم دامی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر، قائم‌شهر، ایران. رایانامه: Keyhanmansourkia@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر، قائم‌شهر، ایران. رایانامه: Vrezaeipour@iau.ac.ir

۳. گروه علوم دامی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر، قائم‌شهر، ایران. رایانامه: S.asadzadehvosta@iau.ac.ir

۴. گروه علوم دامی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر، قائم‌شهر، ایران. رایانامه: Rohullah.abdollahpour@iau.ac.ir

۵. گروه علوم دامی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر، قائم‌شهر، ایران. رایانامه: Mahdichoobchian@iau.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

این تحقیق به منظور تأثیر منابع مختلف سلنیوم (معدنی، آلی و نانو) و سطوح آلفا لیپوئیک اسید بر عملکرد رشد، ویژگی‌های لاشه، ریخت‌شناسی ژژنوم و جمعیت میکروبی روده جوجه‌های گوشتی انجام شد. در این آزمایش، تعداد ۴۵۰ قطعه جوجه گوشتی نر سویه راس ۳۰۸ در ۶ تیمار و ۵ تکرار استفاده شد. جیره‌های آزمایشی در قالب یک طرح کاملاً تصادفی و با آرایش فاکتوریل ۳×۲ شامل استفاده از دو سطح آلفالیپوئیک اسید در جیره (صفر و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و سه نوع منبع سلنیوم جیره شامل منبع معدنی (سلنیت سدیم)، منبع آلی (سلنومیتونین) و منبع نانو (نانو سلنیوم) بودند. نتایج نشان داد که جوجه‌های تغذیه شده با سلنیوم آلی و نانو ضریب تبدیل غذایی بهتری نسبت به سلنیوم معدنی داشتند ($P < 0.05$). همچنین، مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم آلفا لیپوئیک اسید موجب افزایش معنی‌دار وزن و بهبود ضریب تبدیل غذایی در جوجه‌ها شد ($P < 0.05$). استفاده از نانو سلنیوم در مقایسه با سلنیوم معدنی سبب افزایش درصد لاشه، ران، بورس و طحال شد ($P < 0.05$). از طرفی، بیشترین وزن نسبی طحال در گروه ترکیبی نانو سلنیوم به همراه آلفا لیپوئیک اسید مشاهده شد ($P < 0.05$). در ریخت‌شناسی ژژنوم، مصرف آلفا لیپوئیک اسید و استفاده از سلنیوم نانو به طور معنی‌داری طول و مساحت پرزهای ژژنوم را افزایش دادند ($P < 0.05$). نتایج جمعیت میکروبی نشان داد که افزودن آلفا لیپوئیک اسید به جیره موجب افزایش جمعیت لاکتوباسیلوس در روده کور جوجه‌ها شد ($P < 0.05$). بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از سلنیوم آلی و نانو و نیز آلفا لیپوئیک اسید سبب بهبود عملکرد رشد و سلامت روده جوجه‌های گوشتی شد.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۶

تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

آلفا لیپوئیک اسید، جوجه گوشتی
رشد، لاشه، سلنیوم.

استناد: منصور کیایی، محمدولی؛ رضایی پور، وحید؛ اسدزاده، سکینه؛ روح الله، عبدالله پور و چوپچیان، مهدی (۱۴۰۵). تأثیر آلفا لیپوئیک اسید و منابع مختلف سلنیوم بر عملکرد

رشد، ویژگی‌های لاشه، ریخت‌شناسی روده و جمعیت میکروبی جوجه‌های گوشتی. نشریه علوم دامی ایران، ۵۷ (۲)، ۳۱۱-۳۱۵. DOI:

<https://doi.org/10.22059/ijas.2025.404275.654100>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.404275.654100>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

در صنعت پرورش طیور، جوجه‌های گوشتی به دلیل رشد سریع و فشارهای متابولیکی بالا در معرض عوامل مختلف تنش‌زا قرار دارند که این امر می‌تواند منجر به کاهش عملکرد رشد، آسیب‌های کبدی و کاهش بازده و کیفیت لاشه شود (Surai, 2018). بنابراین، استفاده از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در جیره غذایی جوجه‌های گوشتی می‌تواند یکی از راهکارهای مناسب در بهبود وضعیت سلامت، کاهش اثرات تنش و عملکرد رشد آنها باشد.

سلیوم یک ماده معدنی ضروری برای رشد طبیعی، سلامت و کاهش اثرات عوامل اکسیداتیو در جوجه‌های گوشتی است. این ماده معدنی بخش مهمی از ساختار گلوکاتایون پراکسیداز است که از سلول‌ها و غشاهای سلولی در برابر اکسیداسیون محافظت می‌کند (Abd El-Hack *et al.*, 2024; Oliveira *et al.*, 2014). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که منابع مختلف سلیوم، عامل تعیین‌کننده کارایی استفاده از این منبع معدنی در تغذیه جوجه‌های گوشتی است (Mohammadi *et al.*, 2019). منبع رایج سلیوم در جیره‌های طیور عمدتاً به شکل فرم‌های غیرآلی مانند سدیم سلیت می‌باشد، اما در سال‌های اخیر تمایل به استفاده از فرم‌های آلی مانند سلنو سیستین، سلنو متیونین و مخمر غنی شده با سلیوم افزایش یافته است (Oliveira *et al.*, 2014). گزارش شده است که منابع آلی سلیوم دارای قابلیت زیست‌فراهمی بهتر و خواص آنتی‌اکسیدانی بیشتری نسبت به منابع غیر آلی سلیوم هستند (Surai *et al.*, 2018; Woods *et al.*, 2020). بنابراین، در سال‌های اخیر کاربرد منابع غیرآلی سلیوم و به‌ویژه سدیم سلیت در جیره‌های جوجه‌های گوشتی مورد تردید قرار گرفته و استفاده از منابع آلی سلیوم افزایش یافته است (Fisinin *et al.*, 2008). از سویی دیگر، امروزه دانش نانو فناوری برای تولید یا محافظت از بسیاری از ریزمغذی‌ها و مکمل‌ها در صنعت خوراک طیور به شکل گسترده‌ای به کار گرفته شده است. از جمله این محصولات می‌توان به ترکیبات نانو مواد معدنی اشاره کرد (Awad *et al.*, 2019). در این راستا، نانو سلیوم به عنوان یکی از این محصولات جدید دانش نانوفناوری به عنوان منبع سلیوم برای جوجه‌های گوشتی استفاده شده است. نانو سلیوم به شکل نانوذرات با قطرهای مختلف نانومتری وجود دارد و با استفاده از نانو فناوری از منابع غیرآلی تولید می‌شود (Skalickova *et al.*, 2017). گزارش شده است که سمیت نانو سلیوم به ترتیب ۷ و ۳ برابر کمتر از منابع غیرآلی و آلی آن است (Hosnedlova *et al.*, 2018). گزارشاتی وجود دارند که نشان‌دهنده تاثیر مفید منابع آلی و نانو سلیوم بر عملکرد، ویژگی‌های لاشه و پایداری اکسیداتیو در جوجه‌های گوشتی است (Surai *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2014). همچنین، گزارش شده است که نانو ذرات سلیوم همراه با کیتوزان به طور مؤثری اثرات مضر تنش گرمایی را بر عملکرد تولیدی، وزن اندام‌ها و وضعیت آنتی‌اکسیدانی در جوجه‌های گوشتی کاهش می‌دهد (Lochi *et al.*, 2023).

از طرفی، آلفا-لیپوئیک اسید یک کوآنزیم حاوی گوگرد با خواص آنتی‌اکسیدانی بالا در متابولیسم سلولی و تولید انرژی است (Ma *et al.*, 2020). این مولکول در میتوکندری به عنوان کوفاکتور آنزیم‌های کلیدی چرخه اسید سیتریک عمل می‌کند و توانایی منحصر به فردی در بازسازی انواع مختلف آنتی‌اکسیدان‌ها مانند گلوکاتایون، ویتامین C و ویتامین E دارد (Packer *et al.*, 1994). آلفا-لیپوئیک اسید به عنوان ترکیبی محلول، در هر دو محیط چربی و آبی شناخته شده است که امکان خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد در محیط‌های مختلف را فراهم می‌کند (Li *et al.*, 2019). به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی، کاربرد آلفا-لیپوئیک اسید در جیره جوجه‌های گوشتی به عنوان راهکاری مناسب برای کاهش آسیب‌های اکسیداتیو و بهبود سلامت و بهره‌وری کلی مورد بررسی قرار گرفته است (Huang *et al.*, 2019; Sahin *et al.*, 2017). گزارش شده است که گلوکاتایون پراکسیداز، مولکول‌های پراکسید را از طریق پیتید گلوکاتایون تجزیه می‌کند (Boostani *et al.*, 2015). گزارش شده است که مکمل آلفا-لیپوئیک اسید در جیره غذایی می‌تواند سبب کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و افزایش پایداری اکسیداتیو گوشت و خون در جوجه‌های گوشتی شود (Mousa and Hamad 2022; Zhang *et al.*, 2018). همچنین، افزودن آلفا-لیپوئیک اسید به خوراک باعث بهبود قابلیت هضم مواد مغذی روده و افزایش شاخص‌های عملکرد رشد مانند افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک در جوجه‌های گوشتی شده است (Wang *et al.*, 2021). علیرغم نتایج امیدوارکننده، مکانیسم‌های اثر بخشی آلفا-لیپوئیک اسید در تغذیه جوجه‌های گوشتی هنوز موضوع تحقیقات جدید می‌باشد.

اثرات مستقل منابع سلیوم و آلفا-لیپوئیک اسید بر وضعیت سلامت و عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی در مطالعات زیادی گزارش شده است. اما تحقیقات درباره اثرات ترکیبی و هم‌افزایی این دو مکمل غذایی در جوجه‌های گوشتی محدود است. بنابراین

فرضیه اصلی این تحقیق این بود که استفاده همزمان از آلفا-لیپوئیک اسید و منابع مختلف سلینیوم در جیره جوجه‌های گوشتی ممکن است سبب بهبود عملکرد رشد و سلامت دستگاه گوارش در جوجه‌های گوشتی گردد. بنابراین هدف از انجام این آزمایش بررسی اثربخشی مکمل آلفا-لیپوئیک اسید همراه با منابع مختلف سلینیوم بر عملکرد رشد، ویژگی‌های لاشه، ریخت شناسی روده و جمعیت میکروبی در جوجه‌های گوشتی نر بود.

روش‌شناسی پژوهش

برای انجام این آزمایش، از ۴۵۰ قطعه جوجه گوشتی نر سویه راس ۳۰۸ با میانگین وزنی 42 ± 1 گرم در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل 3×2 ، شامل ۶ تیمار و ۵ تکرار و هر واحد آزمایشی با ۱۵ قطعه جوجه گوشتی استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل اثرات ترکیبی دو عامل شامل سه نوع منبع سلینیوم (غیر آلی، آلی و نانو) و دو سطح استفاده و عدم استفاده از آلفا لیپوئیک اسید در جیره بود. منابع سلینیومی غیرآلی، آلی و نانو به ترتیب شامل سدیم سلنیت، سلنومتیونین و نانو سلینیوم بودند. سلنومتیونین از شرکت آریانا مشهد و با درجه خلوص ۲۰۰۰ ppm تهیه شد. همچنین سلنیت سدیم و نانو سلینیوم مورد استفاده در این آزمایش از خوشه صنعتی زیست فناوری آرکا (مشهد) خریداری شد. همه منابع سلینیومی مورد استفاده در این آزمایش به شکل پودری بود. آلفا لیپوئیک اسید مورد استفاده در این تحقیق با نام تجاری آلیپیک (شرکت Raha Heathtech، تهران، ایران) تهیه و از سطوح صفر و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آلفا لیپوئیک اسید در جیره‌ها استفاده شد. طول دوره آزمایشی ۴۲ روز بود و جیره‌های آزمایشی بر اساس جداول احتیاجات غذایی مندرج در راهنمای پرورشی سویه راس ۳۰۸ (۲۰۱۹) تنظیم شدند. جیره‌های مورد استفاده برای تمام تیمارها از نظر انرژی و پروتئین یکسان بودند. مشخصات جیره‌های آزمایشی در جدول شماره ۱ گزارش شده است. در طول دوره آزمایش، آب و خوراک به شکل آزاد در اختیار همه جوجه‌ها قرار داشت.

برای اندازه‌گیری صفات عملکرد رشد، تمامی پرندگان در پایان دوره‌های آغازین (۱ تا ۱۰ روز)، رشد (۱۱ تا ۲۴ روز) و پایانی (۲۵ تا ۴۲ روز) وزن‌کشی شدند. مصرف خوراک هر پن نیز در همین دوره‌ها اندازه‌گیری شد و ضریب تبدیل خوراک به صورت نسبت مصرف خوراک به افزایش وزن بدن پس از تصحیح برای میزان تلفات، محاسبه گردید.

جهت تعیین ویژگی‌های لاشه در انتهای دوره آزمایش، از هر تکرار ۲ قطعه جوجه گوشتی با میانگین وزنی نزدیک به میانگین واحد آزمایشی، انتخاب، توزین و کشتار شدند. پس از ذبح، امعاء و احشاء و چربی حفره شکمی از لاشه جدا شد و وزن لاشه و قطعات لاشه شامل ران، سینه، کبد، پانکراس، سنگدان، قلب، پیش معده و چربی حفره شکمی با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. سپس درصد لاشه و سایر اجزای لاشه نسبت به وزن زنده هر جوجه محاسبه شد.

به منظور بررسی شاخص‌های ریخت شناسی روده و فعالیت میکروبی روده‌های کور، در روز ۴۲ دوره پرورش، از هر پن یک پرنده (در مجموع پنج پرنده به‌ازای هر تیمار) به‌صورت تصادفی انتخاب و از طریق جابه‌جایی گردن (Cervical dislocation) کشتار شدند. روده باریک هر پرنده با دقت خارج گردید و یک قطعه ۳ سانتی‌متری از ژژنوم (بخش میانی ژژنوم) جهت اندازه‌گیری‌های صفات هیستولوژیکی روده جدا شد. ژژنوم از انتهای دوازدهه تا زائده مکل در نظر گرفته شد. نمونه‌های جدا شده جهت پاکسازی از مواد هضمی، با سرم فیزیولوژیکی با دقت فراوان شست‌وشو داده شده و سپس در محلول فرمالین ۱۰ درصد تثبیت شدند. نمونه‌ها پس از آب‌گیری، با روش تعبیه در پارافین (Paraffin embedding) آماده‌سازی شده و سپس برش‌هایی به ضخامت ۵ میکرومتر تهیه و با هماتوکسیلین و اتوزین رنگ‌آمیزی شدند. صفات ریخت شناسی ژژنوم شامل طول پرز، عرض پرز و عمق کریپت با استفاده از میکروسکوپ نوری مجهز به LED اندازه‌گیری شدند. نسبت طول پرز به عمق کریپت نیز محاسبه شد. برای محاسبه مساحت پرز نیز از فرمول زیر استفاده شد (Sakamoto et al., 2000).

طول پرز \times عرض پرز \times (۲/۲) \times π = مساحت پرز

همچنین برای مطالعه جمعیت میکروبی از جوجه‌های گوشتی ذبح شده مذکور استفاده شد. به این منظور، محتویات روده‌های کور هر جوجه در لوله‌های استریل جمع‌آوری شد تا شمارش جمعیت میکروبی انجام گیرد. به‌طور خلاصه، یک گرم از هر نمونه به ۹ میلی‌لیتر محلول استریل سرم فیزیولوژیکی منتقل شده و به‌صورت سریالی از رقت 10^{-1} تا 10^{-7} رقیق گردید. سپس، ۰/۱

میلی لیتر از هر رقت روی محیط‌های اختصاصی مناسب کشت داده شد. از محیط کشت MacConkey agar (Ibresco، ایران) برای شمارش باکتری‌های کلی فرم پس از انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت استفاده شد. باکتری‌های لاکتوباسیل نیز روی محیط کشت اختصاصی Sharp Agar and Man Rogosa (Ibresco، ایران) کشت داده شدند و پس از ۷۲ ساعت انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سلسیوس شمارش شدند. برای شمارش باکتری‌های بی‌هوازی کل، از محیط plate count agar استفاده شد. شمارش کلنی‌ها با استفاده از دستگاه شمارش کلنی انجام و نتایج به صورت لگاریتم پایه ۱۰ واحد تشکیل کلنی (CFU) به ازای هر ۱ گرم از محتوای روده‌های کور گزارش شد.

جدول ۱. ترکیبات مواد خوراکی و مواد مغذی جیره های آزمایشی

دوره پرورش			ترکیبات (%)
پایانی (۲۵ تا ۴۲ روز)	رشد (۱۱ تا ۲۴ روز)	آغازین (۱ تا ۱۰ روز)	
۵۹/۳۰	۵۶/۱۰	۵۳/۱۰	دانه ذرت
۳۲/۵۰	۳۶/۳۴	۳۸/۰۰	کنجاله سویا
۴/۳۵	۳/۵۳	۲/۲۵	روغن سویا
-	-	۲/۰۰	گلو تن ذرت
۱/۰۶	۱/۱۱	۱/۳۰	پودر صدف
۱/۴۶	۱/۵۰	۱/۷۶	دی کلسیم فسفات
۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۲۰	جوش شیرین
۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۲۵	نمک
۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	مخلوط ویتامینه ^۱
۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	مخلوط معدنی ^۲
۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۳۳	دی ال - متیونین
۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۲۳	ال - لیزین
۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۸	ال - ترئونین
			ترکیب شیمیایی
۳۱۵۰	۳۰۵۰	۲۹۵۰	انرژی قابل سوخت و ساز (کیلوکالری بر کیلوگرم)
۱۹/۱۱	۲۰/۶۲	۲۲/۴۸	پروتئین خام (%)
۰/۸۰	۰/۸۸	۰/۹۶	کلسیم (%)
۰/۴۰	۰/۴۴	۰/۴۹	فسفر قابل دسترس (%)
۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	سدیم (%)
۱/۰۰	۱/۱۰	۱/۲۴	لیزین قابل هضم (%)
۰/۷۸	۰/۸۴	۰/۹۲	متیونین + سیستین قابل هضم (%)
۰/۶۷	۰/۷۳	۰/۸۱	ترئونین قابل هضم (%)

^۱ مقادیر تأمین شده به ازای هر کیلوگرم خوراک: ۹۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A؛ ۱۸۰ واحد بین‌المللی ویتامین E؛ ۲۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D3؛ ۱/۸ میلی‌گرم تیامین؛ ۲ میلی‌گرم منادین؛ ۳۰ میلی‌گرم نیاسین؛ ۶/۶ میلی‌گرم ریوفلاوین؛ ۱۵ میکروگرم ویتامین B12؛ ۳ میلی‌گرم پیریدوکسین؛ ۱ میلی‌گرم اسید فولیک؛ ۱۰۰ میلی‌گرم اسید-D پانتوتنیک؛ ۰/۱ میلی‌گرم بیوتین؛ ۵۰۰ میلی‌گرم کلراید کولین؛ و ۱۰۰ میلی‌گرم آنتی‌اکسیدان.

^۲ مقادیر تأمین شده به ازای هر کیلوگرم خوراک: ۱۰ میلی‌گرم مس؛ ۱۰۰ میلی‌گرم منگنز؛ ۵۰ میلی‌گرم آهن؛ ۸۴/۷ میلی‌گرم روی؛ ۱ میلی‌گرم ید؛ و ۰/۳ میلی‌گرم سلنیوم.

داده‌های به دست آمده در آزمایش، ابتدا از نظر توزیع نرمال و نیز همگن بودن واریانس با استفاده از آزمون بارتلت، ارزیابی شدند. سپس، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از رویه GLM توسط نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح ۰/۰۵ صورت گرفت. مدل آماری طرح به صورت زیر بود:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + e_{ij}$$

در این مدل آماری Y_{ij} : ارزش هر مشاهده، μ : میانگین مشاهدات، A_i : اثر عامل نوع منبع سلنیوم، B_j : اثر عامل استفاده و یا عدم استفاده از آلفا لیپوئیک اسید، AB_{ij} : اثر متقابل دو عامل و e_{ij} : خطای آزمایشی بود.

یافته‌های پژوهشی

نتایج مربوط به عملکرد رشد (جدول ۲) نشان داد که نوع منبع سلیوم تأثیر معنی‌داری بر ضریب تبدیل غذایی داشت ($P < 0.05$). جوجه‌هایی که با سلیوم آلی و نانو تغذیه شدند، ضریب تبدیل غذایی بهتری (۱/۷۹) نسبت به گروه سلیوم معدنی (۱/۸۴) داشتند. همچنین، مصرف خوراک در بین گروه‌های آزمایشی تفاوت معنی‌داری نداشت. سطح آلفا لیپوئیک اسید نیز بر افزایش وزن تأثیر معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). به طوری که مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم آلفا لیپوئیک اسید به ازای کیلوگرم خوراک موجب افزایش وزن بیشتر جوجه‌ها در مقایسه با گروه تغذیه شده با جیره بدون آلفا لیپوئیک اسید گردید. اثر متقابل بین منابع سلیوم و آلفا لیپوئیک اسید بر عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی در این آزمایش از نظر آماری معنی‌دار نبود.

جدول ۲. تأثیر منابع مختلف سلیوم، سطح آلفا لیپوئیک اسید و اثر متقابل آنها بر عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی در کل دوره

تیمار	مصرف خوراک (گرم)	افزایش وزن (گرم)	ضریب تبدیل غذایی
منبع سلیوم			
آلفا لیپوئیک اسید (mg/kg)			
معدنی	۹۶/۷	۵۲/۴	۱/۸۴ ^a
آلی	۹۶/۵	۵۳/۸	۱/۷۹ ^b
نانو	۹۵/۲	۵۳/۲	۱/۷۹ ^b
SEM	۰/۷	۰/۴	۰/۰۱
	۹۶/۱	۵۲/۶ ^b	۱/۸۲ ^a
	۹۶/۲	۵۳/۶ ^a	۱/۷۹ ^b
SEM	۰/۶	۰/۳	۰/۰۱
اثرات متقابل			
معدنی	۹۶/۸	۵۲/۲	۱/۸۵
آلی	۹۷/۵	۵۳/۶	۱/۸۲
نانو	۹۴/۰	۵۲/۰	۱/۸۱
معدنی	۹۶/۷	۵۲/۶	۱/۸۴
آلی	۹۵/۵	۵۴/۰	۱/۷۷
نانو	۹۶/۵	۵۴/۳	۱/۷۸
SEM	۱/۱	۰/۶	۰/۰۲
P-Value			
منبع سلیوم	۰/۳۲	۰/۰۶	۰/۰۰۱
آلفا لیپوئیک اسید	۰/۸۵	۰/۰۴	۰/۰۲
اثرات متقابل	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۵۴

در هر ستون، میانگین‌های فاقد حروف مشابه اختلاف آماری معنی‌داری دارند ($P < 0.05$).

نتایج جدول ۳ نشان داد که منابع مختلف سلیوم بر درصد لاشه و برخی از بخش‌های آن مانند ران، بورس و طحال تأثیر معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). بیشترین درصد لاشه مربوط به گروه سلیوم نانو و کمترین آن در گروه دریافت‌کننده سلیوم معدنی مشاهده شد ($P < 0.05$). همچنین درصد ران در گروه تغذیه شده با جیره حاوی سلیوم نانو نسبت به تیمار سلیوم معدنی به طور معنی‌داری بیشتر بود ($P < 0.05$). وزن نسبی بورس و طحال در گروه سلیوم نانو نسبت به سلیوم معدنی افزایش معنی‌داری نشان داد ($P < 0.05$). سطح آلفا لیپوئیک اسید نیز تأثیر معنی‌داری بر وزن نسبی بورس داشت ($P < 0.05$), به گونه‌ای که مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم آلفا لیپوئیک اسید موجب افزایش درصد بورس شد. اثر متقابل بین منابع سلیوم و آلفا لیپوئیک اسید به استثنای طحال، در بیشتر شاخص‌های لاشه معنی‌دار نبود.

جدول ۳. تاثیر منابع مختلف سلنیوم، سطح آلفا لیپوئیک اسید و اثر متقابل آنها بر ویژگی‌های لاشه جوجه‌های گوشتی

تیمار	لانشه (%)	سینه (%)	ران (%)	کبد (%)	پانکراس (%)	بورس (%)	طحال (%)
منبع سلنیوم	آلفا لیپوئیک اسید (mg/kg)						
معدنی	۶۳/۷ ^b	۲۸/۶	۲۳/۸ ^b	۲/۳۹	۰/۲۶	۰/۰۸ ^b	۰/۰۹ ^b
آلی	۶۵/۴ ^a	۲۸/۲	۲۵/۰ ^{ab}	۲/۴۴	۰/۲۳	۰/۱۰ ^{ab}	۰/۱۰ ^{ab}
نانو	۶۶/۳ ^a	۲۸/۴	۲۶/۵ ^a	۲/۵۷	۰/۲۸	۰/۱۱ ^a	۰/۱۲ ^a
SEM	۰/۶	۰/۷	۰/۷	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱
	۰	۲۸/۹	۲۴/۵	۲/۴۳	۰/۲۶	۰/۰۸ ^b	۰/۱۰
	۳۰۰	۲۷/۹	۲۵/۷	۲/۵۱	۰/۲۵	۰/۱۰ ^a	۰/۱۱
SEM	۰/۵	۰/۶	۰/۵	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱
اثرات متقابل							
معدنی	۰	۲۷/۹	۲۱/۸	۲/۴۰	۰/۲۵	۰/۰۷	۰/۰۹ ^b
آلی	۰	۲۸/۸	۲۵/۱	۲/۴۲	۰/۲۵	۰/۱۰	۰/۱۰ ^b
نانو	۰	۳۰/۰	۲۶/۶	۲/۴۶	۰/۲۹	۰/۰۹	۰/۱۰ ^{ab}
معدنی	۳۰۰	۲۹/۳	۲۵/۸	۲/۳۷	۰/۲۶	۰/۰۸	۰/۰۸ ^b
آلی	۳۰۰	۲۷/۵	۲۴/۹	۲/۴۶	۰/۲۲	۰/۱۰	۰/۱۱ ^{ab}
نانو	۳۰۰	۲۶/۸	۲۶/۴	۲/۶۹	۰/۲۷	۰/۱۲	۰/۱۳ ^a
SEM	۰/۸	۱/۰	۰/۹	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱
P-Value							
منبع سلنیوم	۰/۰۰۱	۰/۹۰	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۰۲	۰/۰۱
آلفا لیپوئیک اسید	۰/۲۹	۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۳۲	۰/۵۴	۰/۰۴	۰/۱۵
اثرات متقابل	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۵۱	۰/۳۹	۰/۸۰	۰/۲۵	۰/۰۴

در هر ستون، میانگین‌های فاقد حروف مشابه اختلاف آماری معنی داری دارند ($p < 0.05$).

بر اساس نتایج گزارش شده در جدول ۴، طول پرز ژژنوم در گروه‌های دریافت کننده ۳۰۰ میلی گرم آلفا لیپوئیک اسید به طور معنی داری بیشتر از گروه فاقد آلفا لیپوئیک اسید بود ($P < 0.05$). همچنین مساحت پرز نیز تحت تأثیر سطح آلفا لیپوئیک اسید افزایش معنی داری داشت ($P < 0.05$). منابع سلنیوم تأثیر معنی داری بر مساحت پرز داشتند ($P < 0.05$), به طوری که گروه دریافت کننده سلنیوم نانو بیشترین مساحت پرز را داشت. سایر پارامترهای ریخت‌شناسی شامل عرض پرز، عمق کریپت و نسبت طول پرز به عمق کریپت تفاوت معنی داری در بین گروه‌های آزمایشی نشان ندادند. اثر متقابل منابع سلنیوم و آلفا لیپوئیک اسید بر شاخص‌های ریخت‌شناسی نیز معنی دار نبود.

جدول ۴. تأثیر منابع مختلف سلنیوم، سطح آلفا لیپوئیک اسید و اثر متقابل آنها بر ریخت شناسی ژژنوم جوجه‌های گوشتی

تیمار	طول پرز (μm)	عرض پرز (μm)	عمق کریپت (μm)	طول پرز/عمق کریپت	مساحت پرز (mm^2)	منبع سلنیوم	آلفا لیپوئیک اسید (mg/kg)
معدنی	۱۰۱۶/۴	۱۹۹/۷	۲۰۶/۴	۴/۹۴	۰/۶۴ ^b		
آلی	۱۰۳۴/۱	۲۰۶/۵	۲۱۰/۳	۴/۹۲	۰/۶۷ ^{ab}		
نانو	۱۰۶۳/۷	۲۰۵/۸	۲۱۲/۱	۵/۰۲	۰/۶۹ ^a		
SEM	۱۷/۱	۳/۳	۳/۵	۰/۱۰	۰/۰۲		
	۹۹۷/۳ ^b	۲۰۲/۷	۲۰۵/۴	۴/۸۶	۰/۶۳ ^b		۰
	۱۰۷۸/۹ ^a	۲۰۵/۳	۲۱۳/۸	۵/۰۶	۰/۶۹ ^a		۳۰۰
SEM	۱۳/۹	۲/۷	۲/۹	۰/۰۸	۰/۰۱		
اثرات متقابل							
معدنی	۱۰۰۳/۶	۱۹۴/۰	۲۰۹/۸	۴/۷۹	۰/۶۱		۰
آلی	۹۷۳/۶	۲۱۰/۲	۲۰۰/۶	۴/۸۷	۰/۶۴		۰
نانو	۱۰۱۴/۶	۲۰۳/۸	۲۰۵/۸	۴/۹۴	۰/۶۵		۰
معدنی	۱۰۲۹/۲	۲۰۵/۴	۲۰۳/۰	۵/۱۰	۰/۶۶		۳۰۰
آلی	۱۰۹۴/۶	۲۰۲/۸	۲۲۰/۰	۴/۹۸	۰/۷۰		۳۰۰
نانو	۱۱۱۲/۸	۲۰۷/۸	۲۱۸/۴	۵/۱۰	۰/۷۳		۳۰۰
SEM	۲۴/۱	۴/۶	۵/۰	۰/۱۴	۰/۰۲		
P-Value							
منبع سلنیوم	۰/۱۶	۰/۲۹	۰/۵۱	۰/۷۸	۰/۰۴		
آلفا لیپوئیک اسید	۰/۰۱	۰/۴۹	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۰۰۱		
اثرات متقابل	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۷۷	۰/۸۰		

در هر ستون، میانگین‌های فاقد حروف مشابه اختلاف آماری معنی‌داری دارند ($p < 0.05$).

بر اساس نتایج جدول ۵، سطح آلفا لیپوئیک اسید بر جمعیت لاکتوباسیلوس تأثیر معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). به طوری که مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم آلفا لیپوئیک اسید موجب افزایش قابل توجه تعداد لاکتوباسیلوس در روده کور جوجه‌های گوشتی شد. منابع مختلف سلنیوم و اثر متقابل آن‌ها با آلفا لیپوئیک اسید تأثیر معنی‌داری بر جمعیت کل باکتری‌های بی‌هوازی، لاکتوباسیلوس یا کلی فرم نشان نداد.

جدول ۵. تاثیر منابع مختلف سلیوم، سطح آلفا لیپوئیک اسید و اثر متقابل آنها بر جمعیت میکروبی روده های کور جوجه های گوشتی (cfu)

تیمار	کل باکتری های بی هوازی	لاکتوباسیلوس	کلی فرم
منبع سلیوم	آلفا لیپوئیک اسید (mg/kg)		
معدنی	۶/۹۳	۶/۵۱	۶/۰۳
آلی	۶/۷۷	۶/۷۲	۵/۸۴
نانو	۶/۸۶	۶/۶۵	۶/۰۱
SEM	۰/۲۰	۰/۰۹	۰/۰۷
	۰	۶/۲۵ ^b	۵/۹۷
	۳۰۰	۷/۰۱ ^a	۵/۹۶
SEM	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۰۶
اثرات متقابل			
معدنی	۶/۸۸	۶/۰۹	۶/۰۱
آلی	۶/۸۶	۶/۴۷	۵/۸۱
نانو	۶/۸۳	۶/۱۹	۶/۰۸
معدنی	۶/۹۷	۶/۹۳	۶/۰۵
آلی	۶/۶۹	۶/۹۷	۵/۸۷
نانو	۶/۸۹	۷/۱۰	۵/۹۵
SEM	۰/۲۸	۰/۱۲	۰/۱۰
P-Value	۰/۸۷	۰/۲۶	۰/۱۳
منبع سلیوم	۰/۹۸	۰/۰۰۱	۰/۸۹
آلفا لیپوئیک اسید	۰/۸۸	۰/۲۳	۰/۶۲

در هر ستون، میانگین های فاقد حروف مشابه اختلاف آماری معنی داری دارند ($p < 0.05$).

بحث

استفاده از اشکال آلی و نانو عنصر سلیوم و نیز افزودن آلفا لیپوئیک اسید در جیره جوجه های گوشتی سبب بهبود عملکرد رشد شد. در راستای این یافته ها، گزارش شده است که مکمل سلیوم افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک در مرغ های گوشتی را بهبود بخشید (Zhou and Wang 2011; Mohammadi *et al.*, 2020). اما بر خلاف یافته های این تحقیق، (Arnaud *et al.*, 2021) مشاهده کردند که سطح مکمل سلیوم و نیز منبع سلیوم (سدیم سلیت یا مخمر سلیوم) تأثیر معنی داری بر افزایش وزن و ضریب تبدیل غذایی مرغ های گوشتی نداشت. همچنین، گزارش شده است که تغذیه جوجه های گوشتی با منابع مختلف سلیوم غلظت سلیوم در گوشت را تحت تأثیر قرار داد، اما تأثیر معنی داری بر صفات عملکرد رشد نداشت (Woods *et al.*, 2020). این نتایج متناقض را می توان به عواملی مانند میزان و منبع مکمل های سلیوم، شرایط پرورش مرغ های گوشتی، میزان استفاده از سایر مواد معدنی در جیره و شرایط محیطی مختلف (استرس و تراکم گله) نسبت داد. در آزمایش حاضر و در مقایسه با منبع غیر آلی

سلنیوم، مکمل کردن جیره با منابع آلی و نانو سلنیوم عملکرد رشد مرغ‌های گوشتی را بهبود بخشید که با نتایج گزارش شده در مطالعات قبلی همخوانی دارد (Liao et al., 2012; Mohammadi et al., 2019). گزارش شده است که سلنیوم آلی جذب روده‌ای بهتری نسبت به سلنیوم معدنی دارد، زیرا از طریق انتقال فعال جذب می‌شود، در حالی که سلنیوم غیرآلی از طریق انتشار غیرفعال جذب می‌شود (Bakhshalinejad et al., 2018). بر اساس گزارش دیگری، منابع سلنیوم آلی به طور مؤثری از طریق مکانیزم‌های مربوط به انتقال اسید آمینه جذب شده و در نتیجه دسترسی زیستی بهتری نسبت به فرم‌های غیرآلی دارند (Hosseintabar et al., 2024). همچنین (Ahmadi et al., 2020) گزارش کردند که استفاده از نانو سلنیوم در جیره باعث افزایش وزن بدن و کارایی تغذیه‌ای در جوجه‌های گوشتی شد. از سوی دیگر، (Bien et al., 2020) اثرات مفید نانو سلنیوم بر تغذیه جوجه‌های گوشتی را گزارش کردند. بر اساس نتایج این محققین، مکمل های نانو سلنیوم دسترسی زیستی بیشتر و مزایای زیستی و نیز سمیت کمتری در مقایسه با منابع غیرآلی سلنیوم در جوجه‌های گوشتی داشت. علاوه بر این، گزارش شده است که سمیت نانو سلنیوم از سه تا هفت برابر کمتر از سدیم سلنیت بود (Hu et al., 2012). بنابراین، بهبود متغیرهای عملکرد رشد مشاهده شده در مطالعه حاضر در پاسخ به منابع آلی و نانو سلنیوم در مقایسه با سلنیوم غیرآلی ممکن است به دسترسی زیستی بالاتر سلنیوم آلی و سمیت و خواص مضر کمتر نانو سلنیوم نسبت به منبع سلنیوم غیرآلی در جوجه‌های گوشتی نسبت داده شود.

در آزمایش حاضر مشاهده شد که مکمل آلفا لیپوئیک اسید در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی را بهبود بخشید. این نتایج با یافته‌های (Li et al., 2019) مطابقت دارد. این محققین گزارش کردند که افزودن آلفا لیپوئیک اسید به جیره جوجه‌های گوشتی تأثیر منفی تراکم بالای گله را کاهش داده و عملکرد رشد را در مرحله نهایی بهبود بخشید. در راستای این گزارش، افزودن آلفا لیپوئیک اسید در جیره باعث افزایش وزن بدن، مصرف خوراک و بهبود ضریب تبدیل غذایی در جوجه‌های گوشتی شد (Guo et al., 2014; Lu et al., 2017). همچنین، (Arshad et al., 2013) گزارش کردند که مکمل آلفا لیپوئیک اسید همراه با روغن جوانه گندم اثرات مفیدی بیشتری بر متغیرهای عملکرد رشد در جوجه‌های گوشتی داشت. مکانیزم تأثیر سودمند آلفا لیپوئیک اسید بر عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی را شاید بتوان به تأثیر آنتی‌اکسیدانی این ترکیب نسبت داد. گزارش شده است که آلفا لیپوئیک اسید به عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی عمل می‌کند و رادیکال‌های آزاد را در بافت‌های جوجه گوشتی خنثی می‌سازد (Chen et al., 2011). بنابراین یکی از پیامدهای مفید کاهش رادیکال‌های آزاد در نتیجه استفاده از آلفا لیپوئیک اسید، در عملکرد تولیدی جوجه‌های گوشتی مشاهده می‌شود.

در آزمایش حاضر، وزن نسبی بورس و طحال به عنوان اندام‌های لنفاوی در جوجه‌هایی که جیره غذایی حاوی مکمل نانوسلنیوم دریافت کردند، در مقایسه با گروه دریافت کننده سلنیت سدیم بیشتر بود. در این راستا (Boostani et al., 2015) تأثیر مثبت نانو سلنیوم را بر وزن نسبی طحال، تیموس و بورس فابریسیوس گزارش کردند. از طرفی، کمبود سلنیوم باعث کاهش وزن نسبی اندام‌های ایمنی و کاهش تولید لنفوسیت‌ها می‌شود (Saleh, 2014). گزارش شده است که سلنیوم نقش مهمی در تقویت و یا بهبود عملکرد بخش‌های مختلف سیستم ایمنی در جوجه‌های گوشتی دارد و کمبود سلنیوم ممکن است منجر به آسیب‌های بافتی شدید در چندین اندام از جمله اندام‌های کلیدی لنفاوی مانند بورس، تیموس و طحال شده و در نهایت عملکرد ایمنی را مختل کند (Pappas et al., 2019). طحال و بورس از اجزای مهم سیستم ایمنی پرندگان هستند که نقش حیاتی در تولید سلول‌های دفاعی در برابر عوامل بیماری‌زا دارند. افزایش وزن نسبی این اندام‌ها اغلب به عنوان نشانه‌ای از بهبود عملکرد ایمنی تفسیر می‌شود. مطابق با نتایج آزمایش حاضر، استفاده از نانوذرات سلنیوم و سلنومیتونین در جیره غذایی تأثیر مفیدتری بر وضعیت ایمنی جوجه‌های گوشتی نسبت به سلنات سدیم (منبع رایج سلنیوم) داشت (Alian et al., 2020). از سوی دیگر و بر اساس نتایج حاضر، افزودن مکمل آلفا لیپوئیک اسید در جیره جوجه‌های گوشتی سبب افزایش وزن بورس فابریسیوس شد. در تایید این نتایج، گزارش شده است که استفاده از آلفا لیپوئیک اسید، تأثیرات منفی استرس ناشی از تراکم بالای جوجه‌های گوشتی را از طریق بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی و تقویت پاسخ ایمنی هومورال کاهش داد (Li et al., 2019). در راستای این نتایج، افزودن ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اسید لیپوئیک به جیره غذایی جوجه‌های گوشتی، عملکرد کلی سیستم ایمنی آنها را بهبود بخشید (Srilatha et al., 2010). مطالعات محدودی درباره مکانیزم اثر آلفا لیپوئیک اسید بر سیستم ایمنی طیور انجام شده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های جامعی

در آینده درباره استفاده از سطوح مختلف این مکمل غذایی بر عملکرد ایمنی مرغ‌های گوشتی انجام شود تا مکانیزم‌های احتمالی اثر آن بر وضعیت سیستم ایمنی بهتر شناخته شود.

بر اساس نتایج مطالعه حاضر، استفاده از نانو سلنیوم در مقایسه با سلنیوم غیرآلی سبب افزایش مساحت پرزهای ژژنوم در جوجه‌های گوشتی شد. گزارش شده است که سلنیوم جیره تأثیر مفیدی بر ارتفاع پرزهای روده (Dalia et al., 2020)، مساحت سطح پرز و عملکرد لایه مخاطی روده (Saleh 2014) جوجه‌های گوشتی دارد. سلامتی و یکپارچگی ساختار هیستولوژیک روده کوچک به متغیرهایی مانند طول و مساحت پرز ارتباط دارد که از شاخص‌های اصلی در تعیین عملکرد روده از نظر هضم و جذب مواد غذایی هستند. گزارش شده است که افزودن مکمل سلنیوم در جیره باعث افزایش تکثیر انتروسیست‌های موجود در دیواره روده می‌شود (Dalia et al., 2020) که این مکانیسم می‌تواند افزایش مساحت پرزهای ژژنوم مشاهده شده در مطالعه حاضر را توجیه کند. از طرفی، نانوذرات سلنیوم از طریق حذف اکسیژن فعال، فرآیند آپوپتوز یا زوال سلولی در روده را به تأخیر انداخته و ماندگاری سلول‌های انتروسیست‌ها را افزایش می‌دهند (Zamani Moghadam et al., 2017). علاوه بر این، گزارش شده است که نانوذرات سلنیوم تعداد باکتری‌های مفید در روده را افزایش می‌دهند که این فرآیند از طریق افزایش اسیدهای چرب فرار لازم برای تکثیر انتروسیست‌ها و همچنین کاهش جمعیت باکتری‌های مضر سبب بهبود صفات ریخت‌شناسی روده و به ویژه مساحت پرز می‌شود (Gangadoo et al., 2018).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که افزودن آلفا لیپوئیک اسید به جیره جوجه‌های گوشتی سبب افزایش طول و مساحت پرز در ناحیه ژژنوم شد. در زمینه تأثیر آلفا لیپوئیک اسید بر ریخت‌شناسی روده در طیور گزارشات محدودی وجود دارد. مطابق با نتایج این تحقیق، گزارش شده است که استفاده از آلفا لیپوئیک اسید در جیره جوجه‌های گوشتی تحت چالش حرارتی سبب بهبود صفات ریخت‌شناسی روده شد (Wasti et al., 2021). این محققین اثر مفید آلفا لیپوئیک اسید بر ساختار روده را در نتیجه افزایش تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیر در اثر بهبود جمعیت میکروبی روده و تأثیر مستقیم این ترکیبات بر افزایش یکپارچگی دستگاه گوارش در جوجه‌های گوشتی گزارش کردند. در مطالعه‌ای دیگر، اثر مفید آلفا لیپوئیک اسید در کاهش التهاب روده و افزایش صفات مورفولوژیکی روده در موش آزمایشگاهی ممکن است به دلیل مهار تجمع نوتروفیل‌ها، حفظ گلوکوتائین درون‌زادی و جلوگیری از تولید اکسیژن فعال واکنش‌پذیر و پراکسیداسیون لیپید در دستگاه گوارش باشد (Yang et al., 2023). از طرفی، گزارش شده است که اثر مثبت آلفا لیپوئیک اسید بر ترمیم بافت اپیتلیوم روده ممکن است با مسیرهای سیگنال‌دهی پروتئین کیناز فعال شده با میتوزن (MAPK pathway) مرتبط باشد (Sinha et al., 2016). در این تحقیق گزارش شده است که استفاده از آلفالیپوئیک اسید با حذف اکسیژن‌های فعال واکنش‌پذیر مسیرهای سیگنال‌دهی MAPK را در روده تنظیم کرده و سبب بهبود ساختار و یکپارچگی دیواره روده می‌شود. در زمینه تعیین مکانیزم‌های احتمالی اثر آلفا لیپوئیک اسید بر صفات ریخت‌شناسی روده در طیور نیاز به تحقیقات بیشتری می‌باشد.

بر اساس نتایج مطالعه حاضر، منابع مختلف سلنیوم بر جمعیت میکروبی روده‌های کور در جوجه‌های گوشتی تأثیری نداشت. بر خلاف این یافته‌ها، گزارش شده است که استفاده از مکمل سلنیوم آلی در جیره جوجه‌های گوشتی سبب افزایش تعداد باکتری‌های مفید در دستگاه گوارش شد (Li et al., 2021). همچنین افزایش جمعیت لاکتوباسیلوس‌ها و کاهش تعداد اشریشیا کولی در نتیجه استفاده از مکمل نانو سلنیوم در جیره جوجه‌های گوشتی گزارش شده است (Khan et al., 2021). از طرفی، افزودن سلنیوم به جیره موش‌های آزمایشگاهی، به طور قابل توجهی تعداد باکتری‌های لاکتوباسیلوس و بیفیدوباکتریوم را در سکوم افزایش و جمعیت اشریشیا کلی و سالمونلا را کاهش داد (Molan et al., 2010). این یافته‌ها ممکن است با مصرف سلنیوم توسط میکروارگانیزم‌های مختلف و همچنین سمی بودن سلنیوم برای برخی از این گونه‌های باکتریایی توجیه شود (Kasaikina et al., 2011). گزارش شده است که حساسیت میکروارگانیزم‌ها به سلنیوم جیره غذایی ممکن است به تنظیم وضعیت سلنیوم و تنظیم بیان پروتئین‌های حاوی سلنیوم در میزبان ارتباط داشته باشد (Li et al., 2021). بر اساس این گزارش، سلنیوم جیره غذایی با تأثیر بر ترکیب فلور روده‌ای میزبان، وضعیت سلنیوم بدن و بیان سلنوپروتئین‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گزارش شده است که نانوذرات سلنیوم فعالیت ضد میکروبی را در دو مرحله انجام می‌دهند. در مرحله اول، نانوذرات سلنیوم با گیرنده استیل‌کولین روی غشای سلولی باکتری‌ها اتصال

یافته و نفوذپذیری آن‌ها را مختل می‌کنند. سپس، نانوذرات سلنیوم با عبور از هسته‌های میکروارگانسیم‌ها، سنتز پروتئین و بیان mRNA را مهار می‌کنند (Huang *et al.*, 2017).

افزودن مکمل آلفا لیپوئیک اسید سبب افزایش تعداد کلونی‌های باکتری لاکتوباسیلوس شد. مطابق با این نتایج، گزارش شده است که گنجاندن آلفا لیپوئیک اسید در جیره جوجه‌های گوشتی سبب افزایش جمعیت باکتری‌های مفید در انتهای دستگاه گوارش می‌شود (Wasti *et al.*, 2021). همچنین اثرات ضد میکروبی لیپوئیک اسید در شرایط آزمایشگاهی نیز گزارش شده است (Shi *et al.*, 2016). بر اساس یافته‌های این محققین، آلفا لیپوئیک اسید اثر مهارى خود را از طریق افزایش بیش از حد نفوذپذیری غشای سلولی باکتری اعمال می‌کند که با تخریب غشایی همراه است. این امر منجر به مهار رشد باکتری، تغییر در غلظت ATP داخل سلولی، هیپرپلاریزاسیون غشای سلولی و کاهش pH سیتوپلاسم می‌شود. از طرفی، تغییر در جمعیت میکروبی روده پس از مصرف مکمل آلفا لیپوئیک اسید را می‌توان به تفاوت در جذب و استفاده از اسید لیپوئیک توسط گونه‌های مختلف میکروبی نسبت داد (Spalding and Prigge, 2010).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از منابع سلنیوم آلی و نانو نسبت به سلنیوم معدنی منجر به بهبود ضریب تبدیل غذایی و برخی از ویژگی‌های لاشه در جوجه‌های گوشتی شد. همچنین، مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم آلفا لیپوئیک اسید به ازای کیلوگرم جیره غذایی، سبب بهبود عملکرد رشد، طول و مساحت پرزهای ژژنوم و جمعیت لاکتوباسیلوس شد. در حالی که اثر متقابل منابع سلنیوم و آلفا لیپوئیک اسید بر عملکرد رشد و ریخت‌شناسی روده معنی‌دار نبود. این نتایج به وضوح بیانگر نقش مؤثر هر دو مکمل در بهبود وضعیت عملکرد رشد و سلامت دستگاه گوارش جوجه‌های گوشتی بود.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

REFERENCES

- Abd El-Hack, M. E., Ashour, E. A., Baset, S. A., Kamal, M., Swelum, A. A., Suliman, G. M., & Bassiony, S. S. (2024). Effect of dietary supplementation of organic selenium nanoparticles on growth performance and carcass traits of broiler chickens. *Biological trace element research*, 202(8), 3760-3766. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-03948-x>
- Ahmadi, M., Poorghasemi, M., Seidavi, A., Hatzigiannakis, E., & Milis, C. (2020). An optimum level of nano-selenium supplementation of a broiler diet according to the performance, economical parameters, plasma constituents and immunity. *Journal of Elementology*, 25(3), 1187-1198. <https://doi.org/10.5601/jelem.2020.25.3.1904>
- Alian, H. A., Samy, H. M., Ibrahim, M. T., & Mahmoud, M. M. (2020). Nanoselenium effect on growth performance, carcass traits, antioxidant activity, and immune status of broilers. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(31), 38607-38616. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09660-4>
- Arnaut, P. R., da Silva Viana, G., da Fonseca, L., Alves, W. J., Muniz, J. C. L., Pettigrew, J. E., & Hannas, M. I. (2021). Selenium source and level on performance, selenium retention and biochemical responses of young broiler chicks. *BMC veterinary research*, 17(1), 151. <https://doi.org/10.1186/s12917-021-02881-7>
- Arshad, M. S., Anjum, F. M., Khan, M. I., Shahid, M., Akhtar, S., & Sohaib, M. (2013). Wheat germ oil enrichment in broiler feed with α -lipoic acid to enhance the antioxidant potential and lipid stability of meat. *Lipids in health and disease*, 12(1), 164. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-12-164>
- Awad, A., Zagloul, A. W., Ahmed, S. A., & Khalil, S. R. (2019). Transcriptomic profile change, immunological response and disease resistance of *Oreochromis niloticus* fed with conventional and Nano-Zinc oxide dietary supplements. *Fish & Shellfish Immunology*, 93, 336-343. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.04.016>
- Bakhshalinejad, R., Akbari Moghaddam Kakhki, R., & Zoidis, E. (2018). Effects of different dietary sources and levels of selenium supplements on growth performance, antioxidant status and immune parameters in Ross 308 broiler chickens. *British Poultry Science*, 59(1), 81-91. <https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1410102>
- Bień, D., Michalczyk, M., Szkopek, D., Kinsner, M., & Konieczka, P. (2022). Changes in lipids metabolism indices as a result of different form of selenium supplementation in chickens. *Scientific Reports*, 12(1), 13817. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15868-3>
- Boostani, A., Sadeghi, A. A., Mousavi, S. N., Chamani, M., & Kashan, N. (2015). Effects of organic, inorganic, and nano-Se on growth performance, antioxidant capacity, cellular and humoral immune responses in broiler chickens exposed to oxidative stress. *Livestock science*, 178, 330-336. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.06.019>
- Chen, P., Ma, Q. G., Ji, C., Zhang, J. Y., Zhao, L. H., Zhang, Y., & Jie, Y. Z. (2011). Dietary lipoic acid influences antioxidant capability and oxidative status of broilers. *International journal of molecular sciences*, 12(12), 8476-8488. <https://doi.org/10.3390/ijms12128476>
- Dalia, A. M., Loh, T. C., Sazili, A. Q., & Samsudin, A. A. (2020). Influence of bacterial organic selenium on blood parameters, immune response, selenium retention and intestinal morphology of broiler chickens. *BMC veterinary research*, 16(1), 365. <https://doi.org/10.1186/s12917-020-02715-2>
- Fisinin, V. I., Papazyan, T. T., & Surai, P. F. (2008). Selenium in poultry nutrition. In *Current advances in selenium research and applications* (pp. 221-261). Wageningen Academic. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-741-0_10
- Gangadoo, S., Dinev, I., Chapman, J., Hughes, R. J., Van, T. T. H., Moore, R. J., & Stanley, D. (2018). Selenium nanoparticles in poultry feed modify gut microbiota and increase abundance of *Faecalibacterium prausnitzii*. *Applied microbiology and biotechnology*, 102(3), 1455-1466. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8687-4>
- Guo, Z. Y., Li, J. L., Zhang, L., Jiang, Y., Gao, F., & Zhou, G. H. (2014). Effects of alpha-lipoic acid supplementation in different stages on growth performance, antioxidant capacity and meat quality in broiler chickens. *British poultry science*, 55(5), 635-643. <https://doi.org/10.1080/00071668.2014.924256>
- Huang, C. C., Sun, J., Ji, H., Oku, H., Chang, Z. G., Tian, J. J., & Xie, J. (2019). Influence of dietary

- alpha-lipoic acid and lipid level on the growth performance, food intake and gene expression of peripheral appetite regulating factors in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). *Aquaculture*, 505, 412-422. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.412422>
- Huang, H., Wang, Y., An, Y., Tian, Y., Li, S., & Teng, X. (2017). Selenium for the mitigation of toxicity induced by lead in chicken testes through regulating mRNA expressions of HSPs and selenoproteins. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(16), 14312-14321. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0319-4>
- Hosnedlova, B., Kepinska, M., Skalickova, S., Fernandez, C., Ruttkay-Nedecky, B., Peng, Q., & Kizek, R. (2018). Nano-selenium and its nanomedicine applications: a critical review. *International journal of nanomedicine*, 2107-2128. <https://doi.org/10.2147/IJN.S157541>
- Hosseintabar-Ghasemabad, B., Kvan, O. V., Sheida, E. V., Bykov, A. V., Zigo, F., Seidavi, A., & Salem, A. Z. M. (2024). Nano selenium in broiler feeding: physiological roles and nutritional effects. *AMB Express*, 14(1), 117. <https://doi.org/10.1186/s13568-024-01545-7>
- Hu, C. H., Li, Y. L., Xiong, L., Zhang, H. M., Song, J., & Xia, M. S. (2012). Comparative effects of nano elemental selenium and sodium selenite on selenium retention in broiler chickens. *Animal feed science and technology*, 177(3-4), 204-210. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.08.010>
- Kasaikina, M. V., Kravtsova, M. A., Lee, B. C., Seravalli, J., Peterson, D. A., Walter, J. & Gladyshev, V. N. (2011). Dietary selenium affects host selenoproteome expression by influencing the gut microbiota. *The FASEB Journal*, 25(7), 2492. <https://doi.org/10.1096/fj.11-185218>
- Khan, I., Zaneb, H., Masood, S., Ashraf, S., Rehman, H. F., Tahir, S. K. & Shah, M. (2021). Supplementation of selenium nanoparticles-loaded chitosan improves production performance, intestinal morphology, and gut microflora in broiler chickens. *The journal of poultry science*, 59(3), 272-281. <https://doi.org/10.2141/jpsa.0210026>
- Li, W., Wei, F., Xu, B., Sun, Q., Deng, W., Ma, H., & Li, S. (2019). Effect of stocking density and alpha-lipoic acid on the growth performance, physiological and oxidative stress and immune response of broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(12), 1914. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0146>
- Liao, X., Lu, L., Li, S., Liu, S., Zhang, L., Wang, G., & Luo, X. (2012). Effects of selenium source and level on growth performance, tissue selenium concentrations, antioxidation, and immune functions of heat-stressed broilers. *Biological Trace Element Research*, 150(1), 158-165. <https://doi.org/10.1007/s12011-012-9443-3>
- Lochi, G. M., Shah, M. G., Gandahi, J. A., Gadahi, J. A., Hadi, S. A., Farooq, T., & Rahmani, M. M. (2023). Effect of selenium nanoparticles and chitosan on production performance and antioxidant integrity of heat-stressed broiler. *Biological Trace Element Research*, 201(4), 1977-1986. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-02994>
- Lu, M., Bai, J., Wei, F., Xu, B., Sun, Q., Li, J., & Li, S. (2017). Effects of alpha-lipoic acid supplementation on growth performance, antioxidant capacity and biochemical parameters for ammonia-exposed broilers. *Animal Science Journal*, 88(8), 1220-1225. <https://doi.org/10.1111/asj.12819>
- Ma, H., Xu, B., Li, W., Wei, F., Kim, W. K., Chen, C., & Li, S. (2020). Effects of alpha-lipoic acid on the behavior, serum indicators, and bone quality of broilers under stocking density stress. *Poultry Science*, 99(10), 4653-4661. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.05.012>
- Mohammadi, A., Ghazanfari, S., & Sharifi, S. D. (2019). Comparative effects of dietary organic, inorganic, and Nano-selenium complexes and rosemary essential oil on performance, meat quality and selenium deposition in muscles of broiler chickens. *Livestock Science*, 226, 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.05.012>
- Mohammadi, E., Janmohammadi, H., Olyayee, M., Helan, J. A., & Kalanaky, S. (2020). Nano selenium improves humoral immunity, growth performance and breast-muscle selenium concentration of broiler chickens. *Animal Production Science*, 60(16), 1902-1910. <https://doi.org/10.1071/AN20186>
- Molan, A. L., Liu, Z., & Tiwari, R. (2010). The ability of green tea to positively modulate key markers of gastrointestinal function in rats. *Phytotherapy Research*, 24(11), 1614-1619. <https://doi.org/10.1002/ptr.3207>
- Mousa, B. H., & Hamad, H. Y. (2022). Role of alpha lipoic acid and coenzyme (Q10) in productive performance of broiler. *Indian Journal of Ecology*, 49(18), 397-401.

- Oliveira, T. F. B., Rivera, D. F. R., Mesquita, F. R., Braga, H., Ramos, E. M., & Bertechini, A. G. (2014). Effect of different sources and levels of selenium on performance, meat quality, and tissue characteristics of broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 23(1), 15-22. <https://doi.org/10.3382/japr.2013-00859>
- Packer, L. (1994). Antioxidant properties of lipoic acid and its therapeutic effects in prevention of diabetes complications and cataracts a. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 738(1), 257-264. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1994.tb23416.x>
- Pappas, A. C., Zoidis, E., & Chadio, S. E. (2019). Maternal selenium and developmental programming. *Antioxidants*, 8(5), 145. <https://doi.org/10.3390/antiox8050145>
- Sahin, Z., Ozkaya, A., Yilmaz, O., Yuce, A., & Gunes, M. (2017). Investigation of the role of α -lipoic acid on fatty acids profile, some minerals (zinc, copper, iron) and antioxidant activity against aluminum-induced oxidative stress in the liver of male rats. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 28(4), 355-361. <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2016-0117>
- Sakamoto, K., Hirose, H., Onizuka, A., Hayashi, M., Futamura, N., Kawamura, Y., & Ezaki, T. (2000). Quantitative study of changes in intestinal morphology and mucus gel on total parenteral nutrition in rats. *Journal of Surgical Research*, 94(2), 99-106.
- Saleh, A. A. (2014). Effect of dietary mixture of Aspergillus probiotic and selenium nano-particles on growth, nutrient digestibilities, selected blood parameters and muscle fatty acid profile in broiler chickens. *Anim Sci Pap Rep*, 32(1), 65-79.
- Shi, C., Sun, Y., Zhang, X., Zheng, Z., Yang, M., Ben, H., & Xia, X. (2016). Antimicrobial effect of lipoic acid against Cronobacter sakazakii. *Food Control*, 59, 352-358. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.06.037>
- Sinha, M., Bir, A., Banerjee, A., Bhowmick, P., & Chakrabarti, S. (2016). Multiple mechanisms of age-dependent accumulation of amyloid beta protein in rat brain: Prevention by dietary supplementation with N-acetylcysteine, α -lipoic acid and α -tocopherol. *Neurochemistry international*, 95, 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2015.12.009>
- Skalickova, S., Milosavljevic, V., Cihalova, K., Horoky, P., Richtera, L., & Adam, V. (2017). Selenium nanoparticles as a nutritional supplement. *Nutrition*, 33, 83-90. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2016.08.011>
- Spalding, M. D., & Prigge, S. T. (2010). Lipoic acid metabolism in microbial pathogens. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 74(2), 200-228. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00095-09>
- Srilatha, T., Reddy, V. R., Qudratullah, S., & Raju, M. V. L. N. (2010). Effect of alpha-lipoic acid and vitamin E in diet on the performance, antioxidation and immune response in broiler chicken. *International Journal of Poultry Science*, 9(7), 678-683.
- Surai, P. F., Kochish, I. I., Fisinin, V. I., & Velichko, O. A. (2018). Selenium in poultry nutrition: From sodium selenite to organic selenium sources. *The journal of poultry science*, 55(2), 79-93. <https://doi.org/10.2141/jpsa.0170132>
- Wang, J., Clark, D. L., Jacobi, S. K., & Velleman, S. G. (2021). Effect of vitamin E and alpha lipoic acid on intestinal development associated with wooden breast myopathy in broilers. *Poultry Science*, 100(3), 100952. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.12.044>
- Wasti, S., Sah, N., Lee, C. N., Jha, R., & Mishra, B. (2021). Dietary supplementation of alpha-lipoic acid mitigates the negative effects of heat stress in broilers. *PloS one*, 16(7), e0254936.
- Woods, S. L., Sobolewska, S., Rose, S. P., Whiting, I. M., Blanchard, A., Ionescu, C., & Pirgozliev, V. (2020). Effect of feeding different sources of selenium on growth performance and antioxidant status of broilers. *British Poultry Science*, 61(3), 274-280. <https://doi.org/10.1080/00071668.2019.1711026>
- Yang, X., Zhang, H., Pang, F., Zhang, L., Fu, T., Wang, L., & Gao, T. (2023). Effects of α -lipoic acid on growth performance, antioxidant capacity, and immune function in sheep. *Journal of animal science*, 101, skad092. <https://doi.org/10.1093/jas/skad092>
- Zamani Moghaddam, A. K., Mehraei Hamzekolaei, M. H., Khajali, F., & Hassanpour, H. (2017). Role of selenium from different sources in prevention of pulmonary arterial hypertension syndrome in broiler chickens. *Biological Trace Element Research*, 180(1), 164-170. <https://doi.org/10.1007/s12011-017-1039-9>
- Zhang, J., Xiao, F., Zhang, L., Wang, X., Lai, X., Shen, Y., & Hua, F. (2018). Alpha-lipoic acid preconditioning and ischaemic postconditioning synergistically protect rats from cerebral injury

induced by ischemia and reperfusion partly via inhibition TLR4/MyD88/NF- κ B signaling pathway. *Cellular Physiology and Biochemistry*, 51(3), 1448-1460. <https://doi.org/10.1159/000495820>

Zhou, X., & Wang, Y. J. P. S. (2011). Influence of dietary nano elemental selenium on growth performance, tissue selenium distribution, meat quality, and glutathione peroxidase activity in Guangxi Yellow chicken. *Poultry Science*, 90(3), 680-686. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01002>