

Research Paper

Effects of Copper and L-arginine on the Performance, Physiological Maturity, and Egg Quality in the Early Laying Period of Laying Hens

Hasan Rouhanipour¹, Omid Ashayerizadeh², Seyed Davood Sharifi³ and Behrouz Dastar⁴

- 1- Ph.D. Student, Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, (Corresponding author: hasanrouhanipour74@ut.ac.ir)
- 2- Assistant Professor, Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
- 3- Professor, Department of Animal and Poultry Science, Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran
- 4- Professor, Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 15 September, 2025

Revised: 25 November, 2025

Accepted: 27 December, 2025

Extended Abstract

Background: Laying hens show their genetic potential when they receive all the nutrients they need in full. Today, nutritional requirements have actually increased due to advances in breeding programs and extensive selection to maximize production. In recent years, L-arginine has been considered a potential feed additive in terms of anabolic-nutritional processes due to its metabolic functions for protein synthesis. However, due to the incomplete uricotelic function and urea cycle of birds, poultry are completely dependent on dietary sources of this amino acid. Copper sulfate is a trace source of the essential element copper, which plays an important role as a cofactor in cytochrome oxidase, lysyl oxidase, superoxide dismutase, beta-hydroxylase, and ceruloplasmin, and can increase egg production and egg weight traits and reduce skeletal system problems. Therefore, this study aimed to investigate the effect of copper and L-arginine on the performance, physiological maturity, and egg quality in the early laying period of laying hens.

Methods: The effects of dietary copper and L-arginine on production performance, physiological maturation, and egg quality were studied during the early layer phase of laying hens (a total of 288 Hy-Line W-80 white laying hens, 18-week-old) in 2×3 factorial arrangements with two levels of supplemental Cu (8 and 16 mg/kg in the layer diet denoted as Cu8, Cu16) and three levels of LA. These included the recommended level according to Hy-line (RHL), as well as 20% higher (LA20) and 40% higher (LA40) than the recommended level in the diet. The experiment was designed as a randomized complete block with six treatments of six replicates each, with eight birds per cage, for 4 weeks. The eggs produced were collected daily, and after weighing, the percentage of laying, feed consumption, conversion factor, average egg weight, and egg shape index were calculated weekly. On the last 2 days of each week, the eggs produced by each experimental unit were collected and tested for qualitative traits, such as shell thickness, shell weight, albumen percent, haugh unit, etc. Feed intake of the experimental units was calculated from the fraction of feed consumed at the end of the period from the feed allocated at the beginning of the period, based on chick days. Maturation variables, including body weight and length, shoulder length and width, beak length (top and bottom), neck length, wing length, leg length and diameter, toe length, and talon length were measured at the end of 21 weeks. Data were analyzed in a randomized complete block design with a 3×2 factorial arrangement using SAS software.

Results: The height of birds' comb increased when fed diets containing Cu8+LA40 and Cu16+LA40, compared to those fed on the Cu8+RHL diet ($P < 0.05$). The shank diameter increased in birds fed with Cu8+LA40 treatment, compared to those fed on the Cu16+LA20 diet ($P < 0.05$). Egg production of the birds increased in response to the Cu16+LA40 diet, compared to those fed with the Cu8+RHL diet ($P < 0.05$). Dietary supplementation of Cu16+LA40



decreased the feed conversion ratio (FCR) compared to those fed Cu8+LA40 and Cu8+RHL treatments ($P < 0.05$). The egg shape index increased in the birds fed Cu8+LA40, compared to the Cu8+RHL diet ($P < 0.05$). Egg shell strength increased in the birds fed diets containing Cu16+RHL and Cu16+LA40 compared to diets containing Cu8+LA20 ($P < 0.05$).

Conclusion: According to the results of this experiment, adding 16 mg of copper/kg with 20% and 40% higher than the recommended level in the production phase diets of laying hens not only improved sexual maturation physiologically but also increased the production performance and egg quality in laying hens during the early layer phase.

Keywords: Copper, L-arginine, Laying hen, Production performance, Sexual maturation

How to Cite This Article: Rouhanipour, H., Ashayerizadeh, O., Sharifi, S.D., & Dastar, B. (2026). Effects of Copper and L-arginine on the Performance, Physiological Maturity, and Egg Quality in the Early Laying Period of Laying Hens. *Res Anim Prod*, 17(1), 133-149. DOI: 10.61882/rap.2026.1524



مقاله پژوهشی

تأثیر مس و ال-آرژنین بر عملکرد، بلوغ فیزیولوژیکی و کیفیت تخم‌مرغ در آغاز دوره تولید مرغ‌های تخم‌گذار

حسن روحانی‌پور^۱، امید عشایری‌زاده^۲، سید داود شریفی^۳ و بهروز دستار^۴

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، (نویسنده مسول: hasanrohanipoor74@ut.ac.ir)

۲- دانشیار، گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۳- استاد، گروه علوم دام و طیور، پردیس فنی کشاورزی، دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران

۴- استاد، گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۶

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۴
صفحه ۱۳۳ تا ۱۴۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۴

چکیده مسوط

مقدمه و هدف: مرغ‌های تخم‌گذار توان ژنتیکی خود را زمانی نشان می‌دهند که تمام مواد مغذی مورد احتیاج را به طور کامل دریافت نمایند. امروزه نیازهای تغذیه‌ای در واقع به‌دلیل پیشرفت در برنامه‌های پرورش و انتخاب گسترده برای به حداکثر رساندن تولید افزایش یافته است. برآوردن این نیازهای غذایی مستلزم دریافت منابع غذایی با کیفیت بالا و بهینه‌سازی مواد مغذی کم‌مصرف جیره در مقادیر مناسب است. در سال‌های اخیر، ال-آرژنین از نظر فرآیندهای آنابولیکی تغذیه‌ای به‌عنوان یک افزودنی خوراکی بالقوه به‌دلیل عملکردهای متابولیکی آن برای ساخت پروتئین مورد توجه قرار گرفته است و به‌دلیل عملکرد اوریکوتلیسمی و چرخه اوره ناقص پرندگان، طیور کاملاً به منابع غذایی این اسید آمینه وابسته هستند. سولفات مس یک منبع کمیاب عنصر ضروری مس به‌دلیل فعالیت بیولوژیکی برای حفظ عملکرد و سلامت بدن است، زیرا نقش مهمی را به‌عنوان کوفاکتور در سیتوکروم اکسیداز، لیزیل اکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، بتا هیدروکسیلاز و سرولوپلاسمین ایفا می‌کند و صفات مربوط به تولید تخم‌مرغ و وزن تخم‌مرغ را افزایش خواهد داد و مشکلات مربوط به سیستم اسکلتی را کاهش می‌دهد. بنابر این، هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر مس و ال-آرژنین بر عملکرد، بلوغ فیزیولوژیکی و کیفیت تخم‌مرغ در آغاز دوره تولید مرغ‌های تخم‌گذار بود.

مواد و روش‌ها: جهت بررسی اثر افزودن سطوح مختلف مس و ال-آرژنین بر عملکرد تولیدی، بلوغ فیزیولوژیکی و صفات کیفی تخم‌مرغ در اوایل دوره تولید، مرغ‌های تخم‌گذار با استفاده از تعداد ۲۸۸ قطعه مرغ تخم‌گذار سویه‌های لاین W-80 (سن ۱۸ هفتگی) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با آرایش فاکتوریل ۲×۳ شامل دو سطح عنصر مس (شامل ۸ و ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خوراک) و سه سطح اسیدآمینه ال-آرژنین (شامل سطح توصیه شده توسط راهنمای سویه، ۲۰ درصد و ۴۰ درصد بالاتر از سطح توصیه شده)، شش تکرار حاوی هشت قطعه پرنده به مدت ۴ هفته درون قفس پرورش داده شدند. تخم‌مرغ‌های تولید شده روزانه جمع‌آوری و پس از توزین، درصد تخم‌گذاری، مصرف خوراک، ضریب تبدیل، میانگین وزن تخم‌مرغ و شاخص شکل تخم‌مرغ به‌طور هفتگی محاسبه شدند. در دو روز انتهایی هر هفته، تخم‌مرغ‌های تولیدی هر واحد آزمایشی جمع‌آوری شدند و از نظر صفات کیفی نظیر ضخامت پوسته، وزن پوسته، درصد سفیده، واحدها و غیره مورد آزمایش قرار گرفتند. مصرف خوراک واحدهای آزمایشی از کسر خوراک مصرف‌شده در انتهای دوره از خوراک اختصاص داده‌شده در شروع دوره بر مبنای روز جوجه محاسبه شد. در پایان ۲۱ هفتگی، متغیرهای بلوغ شامل وزن و طول بدن، طول و عرض شانه، طول منقار (بالا و پایین)، طول گردن، طول بال، طول و قطر ساق پا، طول انگشتان پا و طول سیخک اندازه‌گیری شدند. داده‌ها در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با آرایش فاکتوریل ۲×۳ با نرم‌افزار SAS آنالیز شدند.

یافته‌ها: ارتفاع تاج پرندگانی که با جیره‌های حاوی ۸ و ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین تغذیه شدند نسبت به جیره حاوی حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح توصیه شده ال-آرژنین افزایش یافت ($P < 0.05$). قطر ساق پا پرندگانی که با جیره حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین تغذیه شدند نسبت به جیره حاوی ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۲۰ درصد بالاتر ال-آرژنین افزایش یافت ($P < 0.05$). درصد تخم‌گذاری پرندگانی که جیره حاوی ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین دریافت کردند نسبت به جیره حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح توصیه‌شده ال-آرژنین افزایش یافت ($P < 0.05$). ضریب تبدیل خوراک پرندگانی که با جیره حاوی ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین تغذیه شدند نسبت به جیره‌های حاوی حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح توصیه شده و ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین افزایش یافت ($P < 0.05$). مقاومت پوسته تخم‌مرغ پرندگانی که با جیره حاوی ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح توصیه شده و ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین تغذیه شدند نسبت به جیره‌های حاوی حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۲۰ درصد بالاتر ال-آرژنین افزایش یافت ($P < 0.05$).

نتیجه‌گیری: براساس نتایج این آزمایش، افزودن ۱۶ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم ۲۰ و ۴۰ درصد بیشتر از حد توصیه شده ال-آرژنین به جیره مرحله تولید مرغ‌های تخم‌گذار اثرات مثبتی بر عملکرد شاخص‌های کیفی تخم‌مرغ دارد و می‌تواند شاخص‌های بلوغ فیزیولوژیکی در این محدوده سنی را بهبود دهد.

واژه‌های کلیدی: ال-آرژنین، بلوغ جنسی، عملکرد تولیدی، مس، مرغ تخم‌گذار

مقدمه

و استفاده کارآمد از خوراک می‌شوند (Bahry et al., 2023). پرورش‌دهندگان مرغ تخم‌گذار دائماً به‌دنبال بهبود سودآوری خود از طریق افزایش تولید تخم‌مرغ، بهبود سیستم ایمنی و کیفیت تخم‌مرغ هستند که می‌تواند بر درک و میزان خرید مصرف‌کنندگان تأثیر بگذارد (Shokrani et al., 2024). امروزه

با پیشرفت علم و فعالیت‌های اصلاح نژادی در راستای تولید بیشتر، احتیاجات تغذیه‌ای پرندگان افزایش یافته است، به گونه‌ای که مدیریت و تغذیه اثرات عمده‌ای بر بهبود سلامت و رشد مرغ‌های تخم‌گذار دارند و منجر به افزایش یکنواختی گله

آرژنین توانایی تولید نیتریک اکسید را دارد، و این آمینواسید قادر به پاکسازی رادیکال‌های آزاد از خون، بهبود عملکرد سیگنال‌های سلول‌های عضلانی، رهاسازی هورمون رشد، حمایت از کلسترول خوب و تنظیم متابولیسم چربی و سطح نمک در بدن است. یوان و همکاران (Yuan et al., 2016) گزارش دادند که افزایش سطح از ۰/۶۴ به ۱/۲۷ درصد ال-آرژنین در خوراک مرغ‌های تخم‌گذار تأثیر قابل‌توجهی در کاهش مصرف خوراک و افزایش وزن روزانه و میزان تخم‌گذاری داشت. د-لیما و همکاران (De Lima et al., 2022) دریافتند که تولید تخم مرغ با اضافه شدن ۰/۳۶۱ درصد ال-آرژنین به خوراک تنها ۱۰ درصد بود، اما با اضافه شدن ۱/۳ درصد آرژنین تولید به ۹۷ درصد رسید. گزارش شد که تغذیه سطح ۱/۵۶ درصد ال-آرژنین باعث بهبود واحد هاو، غلظت کلسترول زرده و کاهش پروتسترون خون شد بدون این‌که اثرات منفی روی صفات عملکرد تولیدی مرغ‌های تخم‌گذار بگذارد (Kazemifard et al., 2017). همچنین، در آزمایشی گزارش شد که تغذیه سطوح ال-آرژنین در ۱/۱۵، ۱/۳۰ و ۱/۴۵ برابر سطح توصیه شده طبق انجمن شورای تحقیقات ملی (NRC¹) توانست بر تولید تخم‌مرغ و صفات کیفیت تخم‌مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار تأثیر بگذارد (Klondi et al., 2012). آرژنین نقش مهمی در متابولیسم و بیوسنتز بسیاری از ملکول‌های بدن از جمله پروتئین، کراتین، اورنیتین و غیره ایفا می‌کند. بین گونه‌های مختلف حیوانات، پرندگان بیشترین نیاز را به آرژنین دارند. این امر به دلیل این است که از یک سو پرندگان توانایی سنتز درون‌زادی آرژنین را ندارند و از سوی دیگر به دلیل سرعت رشد بالا، نیاز برای آرژنین جهت ذخیره پروتئین نیز بالا است. بنابر این، با توجه به عدم تولید درون‌زادی این اسیدآمینو و افزایش نیاز در سنین بالاتر و همچنین نقش‌های مؤثری که این آمینواسید در فعالیت‌های متابولیکی در بدن دارد، با کاهش درصد اسید آمینه جیره، میزان تولید تخم‌مرغ و وزن تخم‌مرغ کاهش می‌یابد و از طرفی چون ال-آرژنین در بدن طیور ساخته نمی‌شود، طیور بیشترین نیاز را به این اسیدآمینو دارند (Fathima et al., 2024). در حال حاضر، یکی از مشکلات شایع در مزارع مرغ تخم‌گذار، ضعف در سیستم اسکلتی پرندگان است که منجر به کاهش عملکرد تولید، اختلالات حرکتی و افزایش نرخ حذف زود هنگام پیش از شروع دوره تولید حذف می‌شود. در سال‌های اخیر، مس به‌عنوان یک افزودنی مناسب در خوراک برای بهبود سیستم اسکلتی و ال-آرژنین برای افزایش تولید تخم مرغ مورد توجه قرار گرفته‌اند. با توجه به فعالیت‌های متابولیکی مختلفی که ال-آرژنین و مس در مرغ‌های تخم‌گذار دارند، به‌نظر می‌رسد که استفاده از این ترکیبات به‌صورت توأم در جیره موجب تغییرات قابل‌توجهی در بهبود صفات عملکردی و کیفی تخم‌مرغ و تقویت سیستم اسکلتی مرغ‌های تخم‌گذار می‌شود. لذا، هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر مس و ال-آرژنین بر عملکرد، بلوغ فیزیولوژیکی و کیفیت تخم مرغ در آغاز دوره تولید مرغ‌های تخم‌گذار بود.

مرغ‌های تخم‌گذار در معرض خطر ابتلا به مشکلات اسکلتی مانند پوکی استخوان در طول دوره تولید هستند. برای کاهش مشکلات تغذیه‌ای و اسکلتی، مواد معدنی و اسیدهای آمینه دو جزء اصلی در جیره مرغ‌های تخم‌گذار هستند که نیاز به توجه ویژه دارند (Santos et al., 2024). در سال‌های اخیر، کیفیت مرغ‌های تخم‌گذار در اوایل فاز تولید به یک موضوع تحقیقاتی مورد توجه روزافزون با هدف یافتن یک تعریف مشخص و روش‌های تعیین کمی کیفیت مرغ‌های تخم‌گذار تبدیل شده است تا بتوان مرغ‌های با پتانسیل رشد خوب مانند اندازه و طول بدن با وزن مناسب در اوایل مرحله تولید برای داشتن دوره تولیدی مداوم پرورش داد (Cui et al., 2019).

مواد معدنی کم‌مصرف کمتر از ۰/۱ درصد وزن یک موجود زنده را تشکیل می‌دهند اما به‌طور مستقیم بر سلامت دستگاه گوارش، متابولیسم و عملکرد رشد طیور تأثیر می‌گذارند (Godswill et al., 2020). مواد معدنی کمیاب مانند عنصر مس از لحاظ متابولیسمی در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی بدن مانند سوپراکسید دیسموتاز، سیتوکروم اکسیداز و لیزیل اکسیداز یا سرولوپلاسمین نقش دارند و به‌عنوان کوفاکتور برای سنتز خون، ساختار هورمون‌ها، عملکرد تولید مثلی طبیعی، سنتز ویتامین‌ها و یکپارچگی و حفظ سیستم ایمنی مورد نیاز هستند (Abdulrazzaq et al., 2019). افزودن منابع مس از لحاظ فیزیولوژیکی می‌تواند مورفولوژی مخاط روده را بهبود بخشد، و ممکن است در بهبود قابلیت دسترسی به مواد مغذی از طریق افزایش تعداد، مساحت کل و اندازه سلول‌های جامی و ضخامت مخاط روده موثر باشد و بر عملکرد طیور تأثیرگذار باشد (Zhu et al., 2017). گزارش شده است که تغذیه ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام مس بر سطح استرادیول سرم خون و مصرف خوراک مرغ‌های تخم‌گذار تأثیرگذار بود (Bello et al., 2017). دتو و همکاران (Deo et al., 2018) گزارش کردند که افزودن ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سولفات مس در جیره جوجه‌های گوشتی باعث بهبود رشد، راندمان تبدیل خوراک و عملکرد لاشه شد. در مطالعه‌ای گزارش شد که مقاومت استخوان در برابر شکستگی، نسبت وزن و حجم استخوان‌های ران (فمور) مرغ در پاسخ به افزودن ۵۰ میلی‌گرم سولفات مس در کیلوگرم در جیره جوجه‌های گوشتی افزایش یافت (Scott et al., 2018). همان‌طور که مشخص است، تشکیل ماهیچه در طول زندگی با رشد عروق تقویت می‌شود، که در ایجاد بسیاری از فیبرهای عضلانی این عمل مفید است و تحریک تکثیر سلولی توسط مس ممکن است دلیل بهبود عملکرد رشد مرغ‌ها شود (Mroczek-Sosnowska et al., 2016). ابراهیم و همکاران (Ibrahim et al., 2024) گزارش کردند که افزودن ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس باعث افزایش تولید و ویژگی‌های پوسته تخم‌مرغ شد، اما وزن تخم‌مرغ و مصرف خوراک را کاهش داد.

آرژنین به‌عنوان یک اسیدآمینو ضروری نقش بسیار مهمی را در فعالیت‌های متابولیکی بدن ایفا می‌کند. تحقیقات نشان می‌دهند که استفاده از سطوح بالاتر آرژنین نسبت به لیزین در جیره‌های طیور باعث افزایش درصد تولید تخم‌مرغ می‌شود.

¹ National Research Council

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شرکت کشت و صنعت پرطلا در شهرستان علی‌آباد کنول استان گلستان در اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۲ انجام شد. تعداد ۲۸۸ قطعه مرغ تخم‌گذار سویه‌های لاین W-80 از سن ۱۸ الی ۲۱ هفتگی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با آرایش فاکتوریل 2×3 شامل دو سطح عنصر مس (شامل ۸ و ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خوراک) و سه سطح اسیدآمین‌ال-آرژنین (شامل سطح توصیه شده توسط راهنمای سویه، ۲۰ درصد و ۴۰ درصد بالاتر از سطح توصیه شده) درون قفس پرورش داده شدند. برای هر تیمار، شش تکرار حاوی ۸ قطعه پرنده در نظر گرفته شد. اسیدآمین‌ال-آرژنین با خصوصیات ۹۸/۵ درصد خلوص، پروتئین خام ۲۰۱ درصد و انرژی قابل متابولیسم ۳۲۲۰ کیلوکالری بر کیلوگرم و قابلیت هضم ۱۰۰ درصد از شرکت سی‌جی (کره جنوبی) با همکاری شرکت مرغ نوجان (ایران، تهران) تامین شد. عنصر مس از طریق منبع سولفات مس با درصد خلوص ۲۵ درصد و زیست‌فراهمی ۸۸/۵ درصد از شرکت مرک (ایالات متحده آمریکا) با همکاری شرکت‌های خوراک‌پرداز هزاره نوین و زیست‌فناوری آریانا (مشهد) تامین شد. یک جیره پایه بر اساس راهنمای مدیریت سویه تجاری مورد آزمایش تنظیم شد. برای تهیه جیره‌های آزمایشی حاوی سطوح مختلف آرژنین [توصیه شده (۰/۸۵ درصد جیره)، ۲۰ و ۴۰ درصد بیشتر از توصیه شده (به ترتیب ۱/۰۲ و ۱/۱۹ درصد جیره)]، ال-آرژنین به ترتیب در صفر، ۰/۱۷۲ و ۰/۳۴۵ درصد جایگزین قسمت ماسه (فیلر) شد. برای تهیه جیره‌های آزمایشی با محتویات مس مختلف (۸ و ۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، سولفات مس کریستالی به مقدار ۳۶/۱۶ گرم بر کیلوگرم و ۷۲/۳۲ گرم بر کیلوگرم به جیره پایه اضافه شد (جدول ۱). همچنین، مقدار مس و اسیدآمین‌ال-آرژنین در اقلام جیره و خوراکی نهایی سنجیده شد. تجزیه و تحلیل مشخصات اسید آمینه‌های توسط بازتاب منتشر مادون قرمز نزدیک (NIR^2) و مواد معدنی توسط طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS^3) انجام شد (Saini & Wratten, 1987; Paul *et al.*, 2014). جیره‌های آزمایشی ابتدا با مخلوط کردن تمام مواد به‌جز سولفات مس و ال-آرژنین آماده شدند. به‌طور جداگانه، تیمارهای آزمایشی به دو قسمت تقسیم شدند و سپس هر قسمت با سولفات مس در سطوح ۸ و ۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ال-آرژنین با سایر مواد با استفاده از دست مخلوط و به جیره اضافه شدند. سولفات مس و ال-آرژنین با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی حساس با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شدند. برنامه نوری بر اساس دستورالعمل پرورش مرغ تخم‌گذار سویه‌های لاین W-80 به‌صورت ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی تنظیم شد. شدت نور در سطح چشم‌پرندگان با استفاده از نورسنج مجهز به گیرنده نوری (مدل DT-1301، چین) اندازه‌گیری شد و ۳۰ لوکس (سه فوت کندل) تنظیم گردید. درجه حرارت سالن در محدوده ۲۲-۲۴ درجه سانتیگراد با دمای آب حدود ۲۴-۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰-۷۰ درصد تا پایان دوره آزمایش ثابت نگاه‌داشته شدند.

سن تولید اولین تخم مرغ یا علامت‌گذاری (سن ۱۸ هفتگی) و سن ۵۰ درصد تولید تخم‌مرغ (سن ۲۱ هفتگی) برای تمام تیمارها در طول دوره آزمایش برای تعیین زمان بلوغ یک مرغ تخم‌گذار ثبت شد. یکنواختی گله به‌عنوان نسبت انحراف استاندارد (σ) به میانگین (μ) برای هر گله در ± 10 درصد از میانگین وزن بدن محاسبه شد. تخم‌مرغ‌های تولید شده روزانه جمع‌آوری و پس از توزین، درصد تخم‌گذاری، مصرف خوراک، ضریب تبدیل، میانگین وزن تخم‌مرغ و شاخص شکل تخم‌مرغ به‌طور هفتگی محاسبه شدند. صفات کیفی تخم مرغ در هر دو هفته یکبار (دو روز پایانی) اندازه‌گیری شدند. در دو روز انتهایی هر هفته، تخم مرغ‌های تولیدی هر واحد آزمایشی جمع‌آوری شدند و از نظر صفاتی نظیر ضخامت پوسته، وزن پوسته، وزن سفیده، واحد‌ها و غیره مورد آزمایش قرار گرفتند. برای تعیین وزن پوسته، پس از شکستن تخم‌مرغ‌ها و تخلیه محتویات سفیده و زرده، پوسته‌های آن‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار گرفت تا کاملاً خشک شوند. سپس با استفاده از ترازوی دیجیتالی حساس با دقت ۰/۰۱ گرم وزن پوسته اندازه‌گیری شد و میانگین وزن پوسته‌های خشک شده بر حسب گرم به‌عنوان وزن پوسته هر واحد آزمایشی منظور شد. برای تعیین ضخامت پوسته از دستگاه ضخامت‌سنج عقربه‌ای (مدل Ultrasonic FH Thickness Gauge Echometer-1062، ژاپن) استفاده شد که از هر چهار طرف تخم‌مرغ یعنی دو پهنا و دو قطر آن تکه‌ای با دقت جدا گردید و ضخامت هر چهار نقطه با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع سفیده، از دستگاه ارتفاع‌سنج (مدل Egg Multi Tester-5200، ژاپن) استفاده شد. جهت اندازه‌گیری ارتفاع و عرض و قطر تخم مرغ از کولیس ورینه (گستره ۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر، مدل P150، ژاپن) استفاده شد. مقاومت پوسته تخم‌مرغ (بر حسب کیلوگرم نیرو) با استفاده از دستگاه مقاومت‌سنج دیجیتالی (مدل EG-001، ژاپن) با دقت ± 0.02 درصد اندازه‌گیری شد (Akbari *et al.*, 2016). مصرف خوراک در هر واحد آزمایشی به‌صورت دوره‌ای اندازه‌گیری شد. مصرف خوراک واحدهای آزمایشی از کسر خوراک مصرف‌شده در انتهای دوره از خوراک اختصاص داده‌شده در شروع دوره، بر مبنای روز جوجه محاسبه شد. در پایان ۲۱ هفتگی، متغیرهای بلوغ شامل وزن و طول بدن، طول و عرض شانه، طول منقار (بالا و پایین)، طول گردن، طول بال، طول و قطر ساق پا، طول انگشتان پا و طول سیخک اندازه‌گیری شدند. وزن زنده بدن بر حسب کیلوگرم بر روی ترازو با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شد. برای تعیین طول بدن، مرغ‌ها به‌سمت شکمی خوابانده شدند و گردن و پای راست کاملاً کشیده شد. طول بدن به‌عنوان فاصله از نوک منقار تا نقطه انتهایی ناخن روی انگشت بلند تعریف شد. طول بال از مفصل کتف تا آخرین رقم بال (شاه‌پر) در نظر گرفته شد. طول ساق به‌عنوان طول تارس-متاتارس از مفصل هاک تا پد متاتارس در نظر گرفته شد. طول انگشت پا به‌عنوان طول انگشت بلند از چین متاتارس تا آخرین فالانژ انگشت اندازه‌گیری شد. طول بدن و طول بال‌ها بر حسب سانتی‌متر بر روی خط‌کش اندازه‌گیری شد. ارتفاع و طول شانه، طول منقار

³ Atomic absorption spectroscopy

² Near Infrared Spectroscopy

به‌صورت در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با آرایش فاکتوریل ۲×۳ و با رویه مدل‌های خطی عمومی (General Liner Models) برای رابطه ۲ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. میانگین‌ها به کمک آزمون توکی در سطح معنی‌داری پنج درصد مقایسه شدند.

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + B_l + AB_{ij} + e_{ijk} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در این رابطه، Y_{ijk} مقدار مشاهده تیمار i ام در تکرار j ام؛ μ ، میانگین مشاهدات؛ A_i ، اثر سطح مصرف مس؛ B_j ، اثر سطح مصرف اسید آمینه ال-آرژنین؛ B_l ، اثر بلوک؛ AB_{ij} ، اثر متقابل بین دو فاکتور مس و اسید آمینه ال-آرژنین و e_{ijk} ، خطای آزمایشی هستند.

بالا و پایین، طول گردن، طول انگشت، طول و قطر ساق پا از تارس-متاتارسوس درست زیر خار تعیین شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع شانه هر پرنده، سنبله چهارم از جلوی شانه از نوک سنبله تا پایه سر اندازه‌گیری شد. طول شانه از محل اتصال شانه در پایه سر تا منحنی آخرین سنبله با استفاده از کولیس ورنیه (مدل P150، گستره ۰-۱۵۰ میلی‌متر) اندازه‌گیری شد (Rouhanipour *et al.*, 2025).

قبل از آنالیز واریانس، نرمال بودن داده‌های حاصل با آزمون Shapiro-Wilk و Proc univariate بررسی شد و داده‌ها پس از تبدیلات لازم و مرتب‌سازی با نرم‌افزار (Excel، نسخه ۲۰۲۴) و با استفاده از نرم‌افزار آماری (SAS، نسخه ۹/۴)،

جدول ۱- مواد خوراکی و ترکیبات شیمیایی جیره‌های آزمایشی

مقدار (درصد)	ماده خوراکی Ingredient
57.33	Corn (7.20 % protein) ذرت (۷/۲۰ درصد پروتئین)
11.86	Soybean meal (44.54 % protein) کنجاله سویا (۴۴/۵۴ درصد پروتئین)
1.71	Wheat Bran (16.37 % protein) سوس گندم (۱۶/۳۷ درصد پروتئین)
11.00	Corn gluten (40.00 % protein) گلوتن ذرت (۴۰/۰۰ درصد پروتئین)
1.20	Rapeseed meal (37.09 % protein) کنجاله کلزا (۳۷/۰۹ درصد پروتئین)
4.00	Canola oil روغن کانولا
2.02	Di-calcium phosphate دی کلسیم فسفات
9.13	Limestone سنگ آهک
0.50	Vitamin and Mineral premix ¹ پرمیکس ویتامینی و معدنی ^۱
0.14	DL-Methionine دی-ال متیونین
0.38	L-lysine ال-لیزین
0.04	L-Arginine ال-آرژنین
0.24	Salt نمک
0.20	Sodium bicarbonate جوش شیرین
0.35	Sand (filler) ماسه (پرکننده)
100.00	Total جمع
Calculated chemical compositions ترکیبات شیمیایی محاسبه شده	
2950	Metabolizable energy ² (mcal/kg) انرژی متابولیسمی ^۲ (مگاکالری/کیلوگرم)
17.60	CP (g/kg) پروتئین خام (گرم در کیلوگرم)
4.00	Calcium (%) کلسیم (درصد)
0.45	Available phosphorus (%) فسفر قابل استفاده (درصد)
0.18	Na (%) سدیم (درصد)
0.18	Cl (%) کلر (درصد)
0.85	Arginine (%) آرژنین (درصد)
0.82	Lysine (%) لیزین (درصد)
0.45	Methionine (%) متیونین (درصد)
0.75	Methionine + cysteine (%) متیونین + سیستین (درصد)
0.57	Threonine (%) ترئونین (درصد)
0.74	Valine (%) والین (درصد)
0.86	Phenylalanine (%) فنیل‌آلانین (درصد)
0.40	Histidine (%) هیستیدین (درصد)
0.14	Tryptophan (%) تریپتوفان (درصد)
1.96	Leucine (%) لوسین (درصد)
0.62	Isoleucine (%) ایزولوسین (درصد)
Measured Nutrients مواد مغذی اندازه‌گیری شده	
16.65	Crude Protein (%) پروتئین خام (درصد)
5.96	Crude fat (%) چربی خام (درصد)
0.83	L-Arginine (%) ال-آرژنین (درصد)
2.50	Cu (Mg/kg DM) مس (میلی‌گرم/کیلوگرم ماده خشک)

برای تهیه جیره‌های آزمایشی حاوی سطوح مختلف آرژنین توصیه شده (۰/۸۵ درصد جیره)، ۲۰ و ۴۰ درصد بیشتر از توصیه شده (به ترتیب ۱/۰۲ و ۱/۱۹ درصد جیره)، ال-آرژنین (با خلوص ۹۸/۵ درصد) به ترتیب در صفر، ۰/۱۷۲ و ۰/۳۴۵ درصد جایگزین قسمت ماسه (فیلر) شد. برای تهیه جیره‌های آزمایشی با محتویات مس مختلف (۸ و ۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، سولفات مس کریستالی (خلوص ۲۵ درصد، فراهمی زیستی ۸۸/۵ درصد، مرک، ایالات متحده آمریکا) به مقدار ۲۶/۱۶ گرم بر کیلوگرم و ۷۲/۳۲ گرم بر کیلوگرم به جیره پایه اضافه شد.

¹ To prepare experimental diets containing different levels of arginine [recommended (0.85% diet), 20 and 40% higher than recommended (1.02 and 1.19% diet, respectively)], L-arginine (98.5 % purity, CJ group of South Korea) was substituted for the filler (sand) portion at 0, 0.172 and 0.345%, respectively. To prepare experimental diets with different copper contents (8 and 16 mg/kg), crystalline copper sulfate (25% purity, 88.5% bioavailability, Merck, USA) was added to the diets in amounts of 36.16 and 72.32 g/kg.

^۲ میزان ویتامین‌ها در هر هزار کیلوگرم جیره شامل: ۸۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین A، ۳۳۰۰ واحد بین المللی ویتامین D3، ۲۰ گرم ویتامین E، ۲/۵ گرم ویتامین K3 (منادیون)، ۲/۵ گرم ویتامین B1، ۵/۵ گرم ویتامین B2، ۳۰ گرم ویتامین B3 (نیاسین)، ۸ گرم ویتامین B5 (د-کلسیم پنتوتنات)، ۴ گرم ویتامین B6، ۷۵ میلی‌گرم ویتامین B7، ۰/۹ گرم ویتامین B9، ۲۳ میلی‌گرم ویتامین B12، میزان مواد معدنی در هر هزار کیلوگرم جیره شامل: ۹۰ گرم منگنز، ۴۰ گرم آهن، ۸۰ گرم روی، ۰ گرم مس، ۱/۲ گرم ید، ۰/۲۲ گرم سلنیوم.

² Vitamin and mineral Premix supplied per kilogram of diet: Vitamin A, 8000 IU; Vitamin D3, 3300 IU; Vitamin E, 20 IU; Vitamin K3, 2.5 mg; thiamin, 2.5 mg; riboflavin, 5.5 mg; Niacin, 30 mg; D-Calcium pantothenate, 8 mg; Vitamin B6, 4 mg; Biotin, 0.1 mg; Folic acid, 0.9 mg; Vitamin B12, 23 mg; Choline 500 mg; manganese oxide 90 mg; ferrous sulfate 40 mg; zinc oxide 80 mg; copper sulfate, 0 mg; calcium iodate, 1.2 mg; sodium selenite, 0.22 mg.

نتایج و بحث

و سطح ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین سبب افزایش تغییرات وزن بدن شد ($P < 0.05$). تغذیه پرندگان با جیره ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم مس و سطح ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین نسبت به جیره حاوی ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم مس با سطح توصیه شده ال-آرژنین درصد یکنواختی را افزایش داد ($P < 0.05$).

تأثیر سطوح مختلف مس و ال-آرژنین بر یکنواختی و تغییرات وزن بدن مرغ‌های تخم‌گذار در جدول (۲) گزارش شده است. تغذیه پرندگان با جیره سطح ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم مس و سطح ۲۰ درصد بالاتر ال-آرژنین نسبت به سایر جیره‌های آزمایشی به جز جیره حاوی سطح ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم مس

جدول ۲- تأثیر سطوح مختلف مس و ال-آرژنین بر تغییرات وزن بدن و یکنواختی مرغ‌های تخم‌گذار (۱۸ تا ۲۱ هفته‌گی)

Table 2. Effects of different levels of Copper and L-arginine supplementation on the uniformity and variation of body weight in laying hens (18-21 weeks of age).

یکنواختی (درصد) 2	تغییرات وزن بدن (گرم) (g)	تیمار ¹
		Copper (mg/kg) مس (میلی‌گرم/کیلوگرم)
88	1235	8 ۸
89	1240	16 ۱۶
0.8	5.9	SEM
		L-arginine (%) ال-آرژنین (درصد)
87 ^b	1276 ^b	RHL توصیه شده
87 ^b	1302 ^a	LA20 ۲۰ درصد بالاتر
92 ^a	1282 ^{ab}	LA40 ۴۰ درصد بالاتر
10.5	10.1	SEM
		مس × ال-آرژنین
89 ^{ab}	1220 ^b	8 × توصیه شده RHL
86 ^{ab}	1238 ^b	8 × LA20 ۲۰ درصد بالاتر
91 ^{ab}	1248 ^{ab}	8 × LA40 ۴۰ درصد بالاتر
85 ^b	1270 ^b	16 × توصیه شده RHL
88 ^{ab}	1286 ^a	16 × LA20 ۲۰ درصد بالاتر
93 ^a	1206 ^b	16 × LA40 ۴۰ درصد بالاتر
1.5	10.4	SEM
		منبع تغییر
0.910	0.576	Copper مس
0.004	0.001	L-arginine ال-آرژنین
0.026	0.0007	مس × ال-آرژنین

^{a-b} تفاوت ارقام در هر ستون یا حروف نامشابه، معنی‌دار است ($P < 0.05$).

SEM*: خطای استاندارد میانگین‌ها.

*SEM: Standard error of the mean.

^۱ مرغ‌های تخم‌گذار سه سطح اسیدآمین ال-آرژنین (شامل سطح توصیه شده توسط راهنمای سویه، ۲۰ درصد و ۴۰ درصد بالاتر از سطح توصیه شده) و دو سطح عنصر مس (شامل ۸ و ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خوراک) را از منبع سولفات مس دریافت کردند.

^۲ یکنواختی گله به‌عنوان نسبت انحراف استاندارد (σ) به میانگین (μ) برای هر گله در $\pm 10\%$ درصد از میانگین وزن بدن محاسبه شد.

^۳ یکنواختی گله به‌عنوان نسبت انحراف استاندارد (σ) به میانگین (μ) برای هر گله در $\pm 10\%$ درصد از میانگین وزن بدن محاسبه شد.

ال-آرژنین افزایش یافت ($P < 0.05$). طول نوک پایین و طول گردن پرندگانی که با جیره حاوی ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین تغذیه شدند نسبت به جیره حاوی حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۲۰ درصد بالاتر ال-آرژنین افزایش یافت ($P < 0.05$). قطر ساق پای پرندگانی که با جیره حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین تغذیه شدند نسبت به جیره حاوی ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۲۰ درصد بالاتر ال-آرژنین افزایش یافت ($P < 0.05$). تغذیه پرندگان با جیره ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم مس نسبت به جیره حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم مس، میانگین طول بال پرندگان را افزایش داد ($P < 0.05$). تأثیر سطوح مختلف مس و ال-آرژنین بر صفات عملکردی تولیدی مرغ‌های تخم‌گذار در جدول (۴) گزارش شده است. تیمارهای آزمایشی تأثیری بر توده تخم‌مرغ نداشتند

تأثیر سطوح مختلف مس و ال-آرژنین بر متغیرهای بلوغ فیزیولوژیکی در مرغ‌های تخم‌گذار در جدول (۳) گزارش شده است. ارتفاع تاج پرندگانی که با جیره‌های حاوی ۸ و ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین تغذیه شدند نسبت به جیره حاوی حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح توصیه شده ال-آرژنین افزایش یافت ($P < 0.05$). عرض تاج پرندگانی که با جیره حاوی ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین تغذیه شدند نسبت به جیره حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح توصیه شده ال-آرژنین و ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۲۰ درصد بالاتر ال-آرژنین افزایش یافت ($P < 0.05$). طول نوک بالا پرندگانی که با جیره حاوی ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین تغذیه شدند نسبت به جیره حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۲۰ درصد بالاتر

سولفات مس با سطح ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین تغذیه شدند نسبت به جیره‌های حاوی حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۲۰ درصد بالاتر ال-آرژنین کاهش یافت ($P < 0/05$). میانگین وزن تخم‌مرغ پرنده‌گانی که با جیره حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس تغذیه شدند نسبت به جیره حاوی ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس افزایش یافت ($P < 0/05$). همچنین، میانگین وزن تخم‌مرغ در پرنده‌گانی که با جیره حاوی سطح توصیه شده ال-آرژنین تغذیه شدند نسبت به جیره حاوی سطح ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین افزایش یافت ($P < 0/05$).

($P > 0/05$). درصد تخم‌گذاری پرنده‌گانی که جیره حاوی ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس را با سطح ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین دریافت کردند نسبت به جیره حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح توصیه شده ال-آرژنین افزایش یافت ($P < 0/05$). مصرف خوراک روزانه پرنده‌گانی که جیره‌های حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطوح توصیه شده و سطح ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس همراه ۲۰ درصد بالاتر ال-آرژنین دریافت کردند نسبت به جیره حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین کاهش یافت ($P < 0/05$). ضریب تبدیل خوراک پرنده‌گانی که با جیره حاوی ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم

جدول ۳- تاثیر سطوح مختلف مس و ال-آرژنین بر بلوغ فیزیولوژیکی مرغ‌های تخم‌گذار (۱۸ تا ۲۱ هفتگی)

Table 3. Effects of different levels of Copper and L-arginine supplementation on physiological maturation in laying hens (18-21 weeks of age).

تیمار ^۱ Treatment	طول بدن (سانتی‌متر) Body length (cm)	ارتفاع تاج (میلی‌متر) Comb height (mm)	عرض تاج (میلی‌متر) Comb length (mm)	طول نوک بالا (میلی‌متر) Top beak length (mm)	طول نوک پایین (میلی‌متر) Down beak length (mm)	طول گردن (میلی‌متر) Neck length (mm)	میانگین طول بال (سانتی‌متر) Average wing length (cm)	طول ساق پا (میلی‌متر) Shank length (mm)	قطر ساق پا (میلی‌متر) Shank diameter (mm)	طول انگشت بلند (میلی‌متر) Big finger length (mm)	میانگین طول انگشتان کوچک (میلی‌متر) Average finger length (mm)	طول سیخک (میلی‌متر) Claw length (mm)
مس (میلی‌گرم/کیلوگرم) Copper (mg/kg)	63.02	60.16 ^b	83.07 ^b	22.03	13.41 ^b	106.72	17.68 ^b	81.31	11.91	64.51	45.16	28.46
۸	63.38	64.25 ^a	86.24 ^a	22.10	13.92 ^a	106.94	18.15 ^a	80.46	11.74	64.58	45.01	28.17
۱۶	63.38	64.25 ^a	86.24 ^a	22.10	13.92 ^a	106.94	18.15 ^a	80.46	11.74	64.58	45.01	28.17
SEM	0.176	1.187	1.132	0.154	0.110	0.701	0.110	0.332	0.065	0.298	0.265	0.221
ال-آرژنین (درصد) L-arginine (%)	63.26	56.37 ^b	79.32 ^b	21.87 ^{ab}	13.62	107.07	17.81	80.63	11.72	64.27	44.60	28.28
توصیه شده RHL	63.46	58.09 ^{ab}	86.49 ^{ab}	22.48 ^a	13.88	106.21	17.92	80.91	11.90	64.45	45.13	28.16
۲۰ درصد بالاتر LA20	62.87	72.15 ^a	88.16 ^a	21.85 ^b	13.51	107.21	17.99	81.14	11.85	64.92	45.52	28.51
۴۰ درصد بالاتر LA40	62.87	72.15 ^a	88.16 ^a	21.85 ^b	13.51	107.21	17.99	81.14	11.85	64.92	45.52	28.51
SEM	0.210	1.443	1.398	0.187	0.132	0.865	0.132	0.401	0.088	0.354	0.321	0.276
مس × ال-آرژنین Copper × L-arginine	63.39	53.93 ^b	84.12 ^b	21.74 ^{ab}	13.52 ^{ab}	108.82 ^{ab}	17.58	81.53	11.95 ^{ab}	64.74	44.51	28.25
۸ × توصیه شده RHL	63.31	57.53 ^{ab}	83.86 ^{bc}	21.77 ^{ab}	13.29 ^b	104.60 ^b	17.73	80.90	11.75 ^{ab}	63.98	45.51	28.51
۸ × ۲۰ درصد بالاتر LA20	62.35	69.01 ^a	81.24 ^{bc}	22.58 ^{ab}	13.44 ^{ab}	106.75 ^{ab}	17.72	81.50	12.03 ^a	64.83	45.45	28.60
۸ × ۴۰ درصد بالاتر LA40	63.12	58.80 ^{ab}	88.87 ^{ab}	21.99 ^{ab}	13.71 ^{ab}	105.32 ^{ab}	18.05	80.29	11.86 ^{ab}	63.80	44.69	28.30
۱۶ × توصیه شده RHL	63.39	58.68 ^{ab}	77.41 ^c	21.13 ^b	13.58 ^{ab}	107.68 ^{ab}	18.27	79.73	11.42 ^b	65.02	45.60	28.42
۱۶ × ۲۰ درصد بالاتر LA20	63.62	75.30 ^a	92.46 ^a	23.18 ^a	14.48 ^a	107.82 ^a	18.12	81.37	11.96 ^{ab}	64.92	44.74	27.79
۱۶ × ۴۰ درصد بالاتر LA40	63.62	75.30 ^a	92.46 ^a	23.18 ^a	14.48 ^a	107.82 ^a	18.12	81.37	11.96 ^{ab}	64.92	44.74	27.79
SEM	0.300	2.044	1.966	0.265	0.187	1.210	0.198	0.576	0.110	0.500	0.454	0.398
منبع تغییر Variation Source	0.145	0.015	0.049	0.726	0.0009	0.827	0.003	0.071	0.066	0.873	0.686	0.376
مس Copper	0.142	<0.0001	<0.0001	0.025	0.113	0.669	0.638	0.652	0.245	0.409	0.124	0.649
ال-آرژنین L-arginine	0.097	<0.0001	0.006	<0.0001	0.006	0.020	0.914	0.124	0.001	0.177	0.484	0.599
مس × ال-آرژنین Copper × L-arginine												

^{a-b} تفاوت ارقام در هر ستون با حروف نامشابه، معنی‌دار است ($P < 0.05$).

*SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

*SEM: Standard error of mean.

^۱ مرغ‌های تخم‌گذار سه سطح اسیدآمین‌ه ال-آرژنین (شامل سطح توصیه شده توسط راهنمای سویه، ۲۰ درصد و ۴۰ درصد بالاتر از سطح توصیه‌شده) و دو سطح عنصر مس (شامل ۸ و ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خوراک) را از منبع سولفات مس دریافت کردند.^۱ The laying hens were assigned to three levels of LA (the recommended level according to hy-line=RHL, as well as 20% higher=LA20 and 40% higher=LA40 than the recommended level) and with two levels of supplemental Cu (8 and 16 mg/kg in layer diets) form of copper sulfate in the diet to provide copper.

جدول ۴- تأثیر سطوح مختلف مس و ال-آرژنین بر عملکرد تولیدی مرغ‌های تخم‌گذار (۱۸ تا ۲۱ هفته‌گی)

Table 4. Effects of different levels of Copper and L-arginine supplementation on production performance in laying hens (18-21 weeks of age).

تیمار ^۱ Treatment ¹	درصد تخم‌گذاری (درصد) ^۲ Egg production (%) ²	میانگین وزن تخم مرغ (گرم) Mean egg weight (g)	وزن توده تخم مرغ (گرم/روز) ^۳ Egg mass (g/hen/d) ³	مصرف خوراک (گرم/روز) ^۴ Daily feed intake (g/hen/day) ⁴	ضریب تبدیل خوراک ^۵ Feed conversion ratio ⁵
مس (میلی‌گرم/کیلوگرم) Copper (mg/kg)					
8	46.58 ^b	48.16 ^a	22.43	87.88	3.92 ^a
16	49.90 ^a	45.67 ^b	22.78	86.98	3.82 ^b
SEM	1.010	0.532	0.576	0.645	1.065
ال-آرژنین (درصد) L-arginine (%)					
RHL توصیه شده	46.07 ^b	48.66 ^a	22.42	87.10	3.88 ^a
۲۰ درصد بالاتر LA20	48.11 ^{ab}	46.29 ^{ab}	22.27	86.50	3.87 ^{ab}
۴۰ درصد بالاتر LA40	50.55 ^a	45.79 ^b	23.15	88.69	3.83 ^b
SEM	1.221	0.665	0.721	0.801	1.321
امس × ال-آرژنین Copper × L-arginine					
۸ × توصیه شده RHL	43.49 ^b	49.95	21.72	85.94 ^b	3.95 ^{ab}
۸ × ۲۰ درصد بالاتر LA20	46.24 ^{ab}	47.67	22.04	87.36 ^{ab}	3.96 ^a
۸ × ۴۰ درصد بالاتر LA40	50.02 ^{ab}	46.86	23.52	90.34 ^a	3.84 ^{ab}
۱۶ × توصیه شده RHL	48.66 ^{ab}	47.38	23.05	88.25 ^{ab}	3.82 ^{ab}
۱۶ × ۲۰ درصد بالاتر LA20	49.98 ^{ab}	44.91	22.44	85.65 ^b	3.82 ^{ab}
۱۶ × ۴۰ درصد بالاتر LA40	51.08 ^a	44.72	22.84	87.04 ^{ab}	3.81 ^b
SEM	1.710	0.932	1.021	1.120	1.854
منبع تغییر Variation Source					
مس Copper	0.002	0.001	0.400	0.327	<0.0001
ال-آرژنین L-arginine	0.037	0.005	0.513	0.132	0.031
مس × ال-آرژنین Copper × L-arginine	0.048	0.942	0.821	0.040	0.037

*^{a-b} تفاوت ارقام در هر ستون با حروف نامشابه، معنی‌دار است ($P < 0.05$).^{a-c} Means with different lowercase letters in rows are significantly different ($P < 0.05$).

*SEM: Standard error of the mean.

^۱ مرغ‌های تخم‌گذار سه سطح اسیدآمین‌ه ال-آرژنین (شامل سطح توصیه‌شده توسط راهنمای سویه، ۲۰ درصد و ۴۰ درصد بالاتر از سطح توصیه‌شده) و دو سطح عنصر مس (شامل ۸ و ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خوراک) را از منبع سولفات مس دریافت کردند.

^۲ The laying hens were assigned to three levels of LA (the recommended level according to hy-line=RHL, as well as 20% higher=LA20 and 40% higher=LA40 than the recommended level) and with two levels of supplemental Cu (8 and 16 mg/kg in layer diets) form of copper sulfate in the diet to provide the copper.

^۳ تولید تخم مرغ = (تعداد تخم‌گذاری) / (تعداد مرغ × روز).

^۴ Egg production = (100 × number of eggs laid) / (number of hens × days).

^۵ توده تخم مرغ = (تولید تخم مرغ × میانگین وزن تخم مرغ) / ۱۰۰.

^۳ Egg mass = (egg production × mean egg weight) / 100.

^۴ مصرف خوراک روزانه = مقدار خوراک داده شده در هفته (گرم) - مقدار خوراک باقیمانده در پایان هفته (گرم) / تعداد روز مرغ.

^۴ DFI = The amount of feed given weekly (g) - The amount of feed left at the end of the week (g) / the number of hen days.

^۵ ضریب تبدیل خوراک = (مصرف خوراک روزانه / توده وزن تخم مرغ)

^۵ FCR = (Daily feed intake / Egg mass)

اثر تیمارهای آزمایشی در دوره تولید مرغ‌های تخم‌گذار بر روی صفات کیفی تخم مرغ شامل شاخص شکل تخم مرغ، شاخص زرده، درصد سفیده، واحد هاو، وزن پوسته، میانگین ضخامت پوسته، درصد پوسته، مقاومت پوسته و وزن مخصوص تخم مرغ در جدول (۵) نشان داده شده است. شاخص شکل تخم مرغ پرندگان که جیره حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین را دریافت کردند نسبت به جیره حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۲۰ درصد بالاتر ال-آرژنین افزایش یافت ($P < 0.05$). درصد سفیده تخم مرغ پرندگان که با جیره حاوی ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس تغذیه شدند نسبت به جیره حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس افزایش یافت ($P < 0.05$). وزن پوسته و میانگین ضخامت پوسته تخم مرغ پرندگان که با جیره حاوی سطح توصیه شده ال-آرژنین تغذیه شدند نسبت به جیره حاوی سطح ۲۰ درصد بالاتر ال-آرژنین افزایش یافت ($P < 0.05$).

اثر تیمارهای آزمایشی در دوره تولید مرغ‌های تخم‌گذار بر روی صفات کیفی تخم مرغ شامل شاخص شکل تخم مرغ، شاخص زرده، درصد سفیده، واحد هاو، وزن پوسته، میانگین ضخامت پوسته، درصد پوسته، مقاومت پوسته و وزن مخصوص تخم مرغ در جدول (۵) نشان داده شده است. شاخص شکل تخم مرغ پرندگان که جیره حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین را دریافت کردند نسبت به جیره حاوی ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح توصیه شده ال-آرژنین افزایش یافت ($P < 0.05$). واحد هاو تخم مرغ پرندگان که جیره‌های حاوی ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطوح توصیه شده ال-آرژنین را دریافت کردند نسبت به جیره حاوی ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس با سطح ۲۰ درصد بالاتر ال-آرژنین

جدول ۵- تاثیر سطوح مختلف مس و ال-آرژنین بر صفات کیفی تخم مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار (۱۸ تا ۲۱ هفته‌گی)

Table 5. Effects of different levels of Copper and L-arginine supplementation on egg physiological traits in laying hens (18-35 weeks of age).

تیمار ^۱	شاخص شکل تخم‌مرغ ^۲	شاخص زرده (میلی‌متر) ^۳	درصد سفیده (درصد)	واحد هاو	وزن پوسته (گرم)	میانگین ضخامت پوسته (میلی‌متر) ^۴	درصد پوسته (درصد)	مقاومت پوسته تخم‌مرغ (کیلوگرم نیرو)	وزن مخصوص تخم مرغ (گرم بر سانتی‌متر مربع) ^۵
Treatment ¹	Egg Shape index ²	Yolk index (mm) ³	Albumin percent (%)	Haugh unit ⁴	Shell weight (g)	Mean shell thickness (mm) ⁵	Shell percent (%)	Egg Shell Strength (kgf)	Egg special weight (g/cm ²) ⁶
مس (میلی‌گرم/کیلوگرم) Copper (mg/kg)									
8	76.69	42.97	64.28 ^b	79.26 ^b	5.56	0.46	10.67	4.90 ^b	0.99
16	76.52	42.52	65.42 ^a	80.30 ^a	5.69	0.47	10.56	5.08 ^a	1.00
SEM	0.298	0.432	0.287	0.987	0.065	0.005	0.110	0.123	0.012
ال-آرژنین (درصد) L-arginine (%)									
RHL توصیه شده	76.54	42.71	64.73	80.73	5.75 ^a	0.47 ^a	10.76	5.01	1.00
۲۰ درصد بالاتر LA20	76.29	43.18	64.90	78.73	5.47 ^b	0.44 ^b	10.43	4.79	0.99
۴۰ درصد بالاتر LA40	76.97	42.34	64.92	79.90	5.67 ^{ab}	0.46 ^{ab}	10.66	5.17	0.99
SEM	0.367	0.532	0.356	1.201	0.087	0.0079	0.142	0.144	0.013
مس × ال-آرژنین Copper × L-arginine									
۸ × توصیه شده RHL	73.53 ^b	42.93	64.01	80.01 ^{ab}	5.74	0.46	10.87	4.95 ^{ab}	1.00
۸ × ۲۰ درصد بالاتر LA20	76.41 ^{ab}	43.42	64.21	77.90 ^{ab}	5.39	0.44	10.48	4.77 ^b	0.97
۸ × ۴۰ درصد بالاتر LA40	77.11 ^a	42.57	64.61	79.88 ^{ab}	5.55	0.45	10.67	4.98 ^{ab}	0.99
۱۶ × توصیه شده RHL	76.55 ^{ab}	42.49	64.44	81.45 ^a	5.75	0.47	10.65	5.07 ^a	1.00
۱۶ × ۲۰ درصد بالاتر LA20	76.17 ^{ab}	42.95	65.58	79.55 ^b	5.55	0.43	10.38	4.81 ^{ab}	1.01
۱۶ × ۴۰ درصد بالاتر LA40	76.83 ^{ab}	42.10	65.22	79.91 ^{ab}	5.78	0.46	10.65	5.36 ^a	0.98
SEM	0.512	0.756	0.498	1.700	0.112	0.009	0.197	0.201	0.021
منبع تغییر Variation Source									
مس Copper	0.697	0.464	0.008	0.046	0.178	0.723	0.498	0.028	0.526
ال-آرژنین L-arginine	0.418	0.532	0.913	0.505	0.044	0.012	0.256	0.186	0.753
مس × ال-آرژنین Copper × L-arginine	0.042	0.998	0.654	0.047	0.632	0.934	0.876	0.048	0.311

^{a-b} تفاوت ارقام در هر ستون با حروف نامشابه، معنی‌دار است ($P < 0.05$).

^{a-c} Means with different lowercase letters in rows are significantly different ($P < 0.05$)

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

*SEM: Standard error of mean.

^۱ مرغ‌های تخم‌گذار سه سطح اسیدآمین ال-آرژنین (شامل سطح توصیه‌شده توسط راهنمای سویه، ۲۰ درصد و ۴۰ درصد بالاتر از سطح توصیه‌شده) و دو سطح عنصر مس (شامل ۸ و ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خوراک) که از منبع سولفات مس دریافت کردند.

^۲ The laying hens were assigned with three levels of LA (the recommended level according to hy-line=RHL, as well as 20% higher = LA20 and 40% higher=LA40 than the recommended level) and with two levels of supplemental Cu (8 and 16 mg/kg in layer diets) form of copper sulfate in the diet to provide the copper.

^۳ شاخص شکل تخم‌مرغ = [عرض تخم‌مرغ (میلی متر) / ارتفاع تخم‌مرغ (میلی متر)] × ۱۰۰

^۲ Egg Shape index = [Egg width (mm) / Egg height (mm)] × 100

^۴ شاخص زرده = ارتفاع زرده (میلی متر) / قطر زرده (میلی متر) × ۱۰۰

^۳ Yolk index = Yolk height (mm) / Yolk diameter (mm) × 100

^۴ واحد هاو با فرمول $HU = 100 \log (H + 7.57 - 1.7 \times EW^{0.37})$ ، که در آن H = ارتفاع آلبومین (میلی‌متر) و EW = وزن تخم‌مرغ (گرم) محاسبه شد.

^۴ The HU was calculated by the formula $HU = 100 \log (H + 7.57 - 1.7 \times W^{0.37})$, where H = albumen height (mm) and W = egg weight (g).

^۵ درصد پوسته تخم‌مرغ = وزن پوسته (گرم) / وزن تخم‌مرغ (گرم) × ۱۰۰

^۵ Egg shell percentage = Shell weight (g) / Egg weight (g) × 100

^۶ وزن مخصوص تخم مرغ = وزن تخم‌مرغ (گرم) / حجم تخم مرغ (سانتی‌متر مربع) (۳/۱۴۱۵ تقسیم بر ۶ × عرض تخم‌مرغ (سانتی‌متر مربع) (۳.۱۴۱۵/۶ × egg width^۲))

^۶ Egg special weight = Egg weight (g) / Egg volume (cm³) (3.1415/6 × egg width²)

پیش بینی پتانسیل رشد مرغ‌های تخم‌گذار نسبت به وزن بدن هستند (Khanal, 2020). اندازه تاج (ارتفاع و طول) به سرعت تحت تأثیر ترکیب جیره قرار می‌گیرد و به‌نظر می‌رسد که غلظت استروژن پلازما همزمان با رشد تاج افزایش می‌یابد. گزارش شد که وزن بدن، ارتفاع شانه، دور سینه، طول و طول کمر، طول ساق پا و طول ران با تغذیه جیره حاوی ۱۰۰۰ میلی‌گرم آرژنین افزایش یافت (Shoyombo et al., 2022). ال-آرژنین ترشح هورمون آزاد کننده گنادوتروپین (GnRH⁶) را از هیپوفیز قدامی تحریک می‌کند، که این هورمون از تولید تنظیم شده استروئیدهای غدد جنسی پشتیبانی می‌کند و رشد تاج را بهبود می‌بخشد. روحانی‌پور و همکاران (Rouhanipour et al., 2025) همچنین بیان کردند که طول بدن، طول ساقه و طول منقار همراه با طول سر برتری پتانسیل تخم‌گذاری را در یک نژاد خاص از مرغ ایجاد می‌کند. آرژنین باعث تولید سوماتوتروپین و فاکتور رشد شبه انسولین می‌شود و سپس با القا میتوژن منجر به رشد استخوان خواهد شد. علاوه بر این، اثرات آنابولیک مختلف در متابولیسم ماهیچه‌های اسکلتی، مانند تمایز و تکثیر سلول‌های ماهواره‌ای نیز با آرژنین، و تجمع پروتئین میوفیبریلار مرتبط هستند. ال-آرژنین با کاهش سطح اینترلوکین-۶ که یک سایتوکین موثر بر تحلیل استخوان است، و با افزایش تولید اکسید نیتریک و سنتز کلاژن نوع-۱ در استئوبلاست‌ها، عملکرد رشد فیزیکی را بهبود می‌بخشد (Kim, 2025). اوچو و همکاران (Ojo et al., 2014) اشاره کردند که طول پا اندازه‌گیری بهتری نسبت به وزن بدن برای بررسی اثرات تغذیه‌ای و ژنتیکی است و بین طول پا و رشد اسکلتی و سطوح کلسیم، فسفر، پروتئین تام، آلومین و کلسترول در پلاسمای مرغ‌های تخم‌گذار رابطه وجود دارد. در آزمایشی دئو و همکاران (Deo et al., 2018) گزارش کردند که افزودن ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس به فرم سولفات در جیره جوجه‌های گوشتی از سلول‌ها در برابر آپوپتوز محافظت می‌کند و باعث افزایش وزن بدن و بهبود خصوصیات لاشه و کاهش ضریب تبدیل خوراک خواهد شد. احتمالاً مس از طریق فعالیت لیزیل اکسیداز، که اتصال متقابل کلاژن و تثبیت ماتریکس طبیعی خارج سلولی (ECM⁷) را تسهیل می‌کند، و تأثیر بر آنتی‌ژن هسته‌ای سلول (PCNA⁸) در استخوان‌های بلند طیور مانند استخوان ساق پا در متابولیسم استخوان نقش مهمی ایفا می‌کند (Rouhanipour et al., 2025). مس با افزایش مسیر سیگنالینگ فاکتور رونویسی (Runx-2⁹) باعث بهبود ضخامت و طول استخوان‌های بدن (به‌ویژه استخوان ساق پا) و با بیان فاکتور رشد اندوتلیال عروقی و ایجاد هیپوکسی و تثبیت بیان ژن فاکتور ۱-آلفا القا شونده توسط هیپوکسی (HIF-1a¹⁰) می‌شود. از سوی دیگر، هیپوکسی تمایز استخوانی سلول‌های بنیادی مزانشیمی و همچنین رشد استخوان را در داخل بدن با تأثیر بر مسیر سیگنالینگ Runx-2 کنترل می‌کند (Li et al., 2014). استفاده از سطوح بالاتر آرژنین در جیره‌های طیور باعث افزایش

هدف پرورش دهندگان مرغ تخم‌گذار حفظ کل گله در میانگین وزن بدن استاندارد و یکنواختی بالا در زمان تخم‌گذاری است (Ansari Pirsaraei et al., 2022). یکنواختی را می‌توان به عنوان تغییرات وزن بدن در طول دوره تخم‌گذاری و به عنوان درصد پرنده‌گان در ۱۰ درصد از میانگین وزن بدن تعریف کرد. اوج پایین تولید در گله‌های غیر یکنواخت به دلیل تنوع در بلوغ است که منجر به تأخیر در شروع تولید در مرغ‌های سبک و تسریع تولید در مرغ‌های سنگین می‌شود (Sweeney et al., 2022). میلیسیستس و همکاران (Milisits et al., 2021) گزارش کردند که یکنواختی وزن بدن (۸۹ درصد در مقابل ۸۰ درصد) بر عملکرد تولیدی و تلفات در طول ۱۰ هفته اول تخم‌گذاری تأثیر قابل توجهی داشت. رفع این مشکل به‌طور کامل غیر ممکن است، اما ممکن است به‌طور قابل توجهی از طریق تغییر در سطح مواد مغذی ارائه شده در طول دوره تخم‌گذار به‌طور قابل توجهی کاهش یابد. یکی از مهمترین مسیرهای سیگنالی که توسط اسید آمینه آرژنین ایجاد می‌شود، هدف پستانداران مسیر راپامایسین (mTOR⁴) است که در رشد سلولی و تحریک ترشح هورمون‌های رشد، مانند فاکتور رشد شبه انسولین-۱ (IGF-1⁵) و پرولاکتین، نقش دارد (Latour et al., 2020). مسیر mTOR یک مسیر پیام‌رسانی سلولی ضروری و یک پروتئین سرین/ترونین کیناز است که در تعدادی از عملکردهای فیزیولوژیکی مهم از جمله رشد سلولی، تکثیر، متابولیسم، سنتز پروتئین و اتوفاژی نقش دارد. ال-آرژنین با تحریک mTOR و بیان ژن‌های پیش‌التهابی در روده کوچک و در نتیجه تقسیم سلولی باعث رشد سریع‌تر و افزایش وزن بدن با یکنواختی می‌شود (Wang et al., 2022). از طرف دیگر، ال-آرژنین با تقویت ترکیب میکروبی دستگاه گوارش، محیط را برای میکروارگانیزم‌های مفید مناسب‌تر کرده، اثراتی مشابه آنتی‌بیوتیک‌ها دارد و افزودن سطح ال-آرژنین توانست که مورفولوژی مخاط روده را بهبود بخشد و در بهبود قابلیت دسترسی به مواد مغذی نقش داشته باشد (Aguzey et al., 2020). همچنین، آرژنین بیان ژن‌های پیش‌التهابی در روده کوچک را کاهش می‌دهد، غلظت پلی‌آمین‌ها را بهبود می‌بخشد و در نتیجه تقسیم سلولی، تولید پروتئین و رشد بافت را افزایش می‌دهد و تأثیر مثبت بر یکنواختی پرنده‌گان دارد (Latour et al., 2020). از سوی دیگر، به‌نظر می‌رسد که سولفات مس به‌عنوان یک آنتی‌بیوتیک و پرواکسیدان خاص عمل می‌کند و با افزایش تعداد، مساحت و اندازه سلول‌های جامی و ضخامت مخاط روده، جذب مواد مغذی را افزایش می‌دهد (Di Giancamillo et al., 2018).

متغیرهای بلوغ یک ویژگی ژنتیکی و اقتصادی مهم برای پرورش طیور هستند و می‌توانند برای ایجاد استراتژی‌های اصلاح نژادی با اندازه‌گیری‌های ترکیب بدن به بهترین شکل ممکن برای دستیابی به حداکثر وزن بدن و بازده اقتصادی مورد استفاده قرار گیرند (Wolc et al., 2014). گفته می‌شود که طول بدن و طول استخوان ساق پا ابزارهای بسیار مناسبی برای

⁸ Proliferating cell nuclear antigen⁹ Runt-related transcription factor-2¹⁰ Hypoxia-inducible factor 1-alpha⁴ Mammalian target of rapamycin⁵ Insulin-like growth factor 1⁶ Gonadotropin-releasing hormone⁷ Extracellular Matrix

شناسایی کردند که مسیر سیگنالینگ mTOR، مسیر سیگنالینگ سایتوکاینی بدل جانوس کیناز (فعال کننده رونویسی)، متابولیسم تریپتوفان و مسیرهای سیگنالینگ بازدارنده فسفوانیزوتید-۳-کیناز را در محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-تخم‌دان در مرغ‌های تخم‌گذار تنظیم می‌کنند (Hao *et al.*, 2021) و بیان پروتئین کیناز اس-۶ ریبوزومی سبب افزایش آزاد سازی فولیکول‌ها از تخمدان و افزایش تولید تخم‌مرغ می‌شود. بنابر این، این افزایش در تولید تخم‌مرغ می‌تواند به دلیل تاثیر ال-آرژنین در تنظیم مسیر سیگنالینگ mTOR باشد (Mishra *et al.*, 2020). طبق گفته سان و همکاران (Sun *et al.*, 2022)، سطح بهینه آرژنین در کل جیره ۰/۸۵ درصد برای رسید به سطح حداقلی تولید تخم‌مرغ و ۰/۸۶ درصد برای راندمان مناسب خوراک مصرفی کافی خواهد بود. با این حال، دئو و همکاران (Dao *et al.*, 2021) گزارش کردند که سطح ۰/۸۹ درصد آرژنین بر عملکرد تخم‌گذاری در مرغ‌های های‌لاین قهوه‌ای هنگامی که با جیره حاوی ۱۳ درصد پروتئین خام در مقایسه با جیره حاوی ۱۷ درصد پروتئین خام تغذیه شدند، تاثیر معنی‌داری نداشت. Alp و Pekel (۲۰۱۱) گزارش دادند که مکمل با ۲۵۰ پی‌پی‌ام سولفات مس باعث بهبود تولید و ویژگی‌های پوسته تخم‌مرغ شد، اما وزن تخم‌مرغ و مصرف خوراک را کاهش داد. یک توضیح احتمالی برای پاسخ‌های مختلف به مصرف خوراک در میان منابع مختلف مس ممکن است فراموشی زیستی متفاوت آنها و اثرات متفاوت آنها بر دستگاه گوارش باشد (Pang & Applegate, 2007). طيور، آرژنین یک اسیدآمینة ضروری به دلیل فقدان کربامویل فسفات سنتتاز است و فعالیت محدودی از آرژیناز کیدی و اورنیتین ترانس کاربامویل‌از دارد (Fathima *et al.*, 2024). جیره‌های غذایی با سطح بالایی از آرژنین به طور مثبت بیان هورمون آزادکننده گنادوتروپین، اکسید نیتریک و IGF-1 را در مرغ‌های تخم‌گذار تحریک می‌کنند و در نهایت عملکرد تولید را بهبود می‌بخشند. IGF-1 باعث گشادشدن عروق، افزایش جریان خون و کاهش فشار خون می‌شود (Uyanga *et al.*, 2022). ال-آرژنین و مس با تاثیر بر ژن‌های یدوتیرونین دی‌ویدیناز-۱، یدوتیرونین دی‌ویدیناز-۲، تیوردوکسین ردوکناز-۱ و سلنوپروتئین-۱ در کبد و با تحریک غده تیروئید بر مصرف خوراک تاثیر می‌گذارند (Carvalho & Dupuy, 2017; Mariotti *et al.*, 2012).

کیفیت داخلی تخم‌مرغ همچنان موردتوجه صنعت طیور در سراسر جهان است (Rouhanipour *et al.*, 2022). در آزمایش حاضر، سولفات مس (۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و ال-آرژنین (۲۰ و ۴۰ درصد بیشتر از حد توصیه شده)، احتمالاً با بهبود تغییرات مورفولوژیکی در اپیتلیوم مجرای و غده‌ای مگنوم و ترشح β -اوموسین نسبت آلومین ضخیم به آلومین نازک را بهبود دادند و سبب بهبود واحد هاو شدند (Zhang *et al.*, 2022). کیروندا و مک‌کی (Kirunda & McKee, 2000) دریافتند که استحکام پوسته تخم‌مرغ به‌طور قابل توجهی با شکل تخم‌مرغ، شاخص زرده و واحد هاو همبستگی داشت.

رهاسازی هورمون رشد فاکتور رشد شبه‌انسولین-۱ برای جلوگیری از قفس رنجوری، افزایش نرخ ساخت پروتئین و افزایش توده و حجم ماهیچه سینه و به‌عنوان پیش‌ساز پروتئین‌ها، پلی‌آمین‌ها، کراتین، اورنیتین و به‌عنوان پیش‌ساز مولکول‌های متابولیکی کلیدی مانند نیتریک اکسید و گلوکوتائون عمل می‌کند و می‌تواند مقادیر بیشتری از پرولین و هیدروکسی پرولین را تولید کند که برای سنتز بافت همبند عضلات مورد نیاز است و سبب بهبود متغیرهای فیزیکی بدن در امر بهبود شرایط بلوغ پرندگان خواهد شد (Willis *et al.*, 2017). از سوی دیگر، ال-آرژنین یک اسیدآمینة نیمه‌ضروری است که مانند عنصر مس برای فرآیندهای بیولوژیکی مختلف مانند رگ‌زایی مورد نیاز است (Noori *et al.*, 2022). به‌طور کلی، ترکیب مس و سطوح بالای ال-آرژنین می‌تواند اثرات استخوان‌زایی و ویژگی‌های فیزیکی بلوغ را برای ادامه تولید تخم‌مرغ افزایش دهد و روشی را برای پیشگیری و درمان پوکی استخوان و شکستگی استخوان در مرغ‌های تخم‌گذار ارائه دهد. فاکتور تمایز رشد-۹ (GDF9¹¹) یکی از ابرخانواده‌های تبدیل‌کننده فاکتور رشد-b است و نقش انحصاری در تولید ایفا می‌کند (Huang *et al.*, 2015). GDF9 در کنترل رشد فولیکولی تخمدان و تخم‌گذاری مرغ اثر دارد، سلول‌های گرانولوزای سوماتیک و توانایی رشد تخمک را تغییر می‌دهد، نقش‌های فیزیولوژیکی فولیکولی را کنترل می‌کند و ممکن است دفع سلول‌های گرانولوزا را نیز کنترل کند (Lou *et al.*, 2018). به‌نظر می‌رسد که ال-آرژنین و سولفات مس با بیان ژن GDF9 می‌توانند فولیکول‌های تخمدان مرغ و صفات تخم‌گذاری را بهبود بخشند و تولید تخمک را افزایش دهند (Alotaibi *et al.*, 2022). شاید یکی دیگر از دلایل افزایش تولید تخم مرغ با استفاده از آرژنین و سولفات مس، تاثیر غلظت پلاسمایی آنها در خون بر تولید هورمون لوتئینیزه‌کننده (LH¹²) در مرغ‌های تخم‌گذار در حین تولید باشد. اسید آمینه ال-آرژنین احتمالاً با افزایش غلظت استرادیول پلازما (با آزادسازی همزمان LH) در طول دوره قبل از تخم‌گذاری در مرغ‌ها اتفاق می‌افتد و سولفات مس با افزایش سطح پروژسترون پلازما به طور مستقیم بر رشد تخمدان‌ها و فولیکول‌ها تاثیر می‌گذارد و باعث افزایش در تولید تخم‌مرغ می‌شود. اکسید نیتریک اثر هم‌افزایی با پروژسترون دارد و بر ترشحات لوله رحمی تاثیرگذار است. اسیدآمینة آرژنین جزئی از هورمون وازوتوسین است که نقش مهمی را در انقباضات اولیه رحم در مرغ‌های تخم‌گذار دارد؛ بنابر این، در میزان تخم‌گذاری می‌تواند مؤثر باشد (Uyanga *et al.*, 2022). در مطالعه حاضر، افزایش مشاهده شده در تعداد کل تخم‌مرغ‌ها در میان پرندگانی که با جیره ال-آرژنین تغذیه شدند را می‌توان به نقش منحصر به فرد هضم و جذب آرژنین در ترویج استفاده از پروتئین جیره و تبدیل آن به پروتئین تخم‌مرغ نیز نسبت داد (Youssef *et al.*, 2015). بر اساس تحقیقات قبلی، ژن‌های با بیان افتراقی (DEGs¹³) با نرخ بالای تولید تخم مرغ در محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-تخم‌دان مرغ از طریق رونوشت مرتبط هستند و DEGs‌هایی را

13 Identification of Differentially Expressed Genes

11 Growth differentiation factor-9

12 Luteinizing hormone

اووسیلیدن-۳۲ و ژن پلی‌مورفیسم تک‌نوکلئوتیدی سبب ترشح β -اوموسین و انتقال کلسیم به غدد پوسته‌ساز رحم و تحریک آنزیم کریبیک آنهیدراز جهت شکل‌گیری پوسته تخم‌مرغ خواهند شد و احتمالاً از این طریق باعث کاهش تولید تخم‌مرغ شکسته، بهبود ضخامت پوسته و شاخص شکل در تخم‌مرغ می‌شوند (Green et al., 2022; Hincke et al., 2012; Yang et al., 2016).

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، افزایش سطح مس از طریق منبع سولفات مس در جیره و افزودن سطوح بالای ال-آرژنین ممکن است برای بازسازی استخوان مرغ‌های تخم‌گذار بسیار موثر باشند و می‌توانند اثرات استخوان‌زایی و صفات فیزیکی بلوغ را افزایش دهند و در عین حال سلامت فیزیکی اندام‌ها را بهبود بخشند و روشی را برای پیشگیری و درمان پوکی استخوان و شکستگی‌های استخوان مرغ‌های تخم‌گذار در مرحله حساس پرورش با استفاده از مواد معدنی و اسیدهای آمینه که به عنوان بلوک‌های سازنده پروتئین هستند ارائه دهند. از طرف دیگر، افزایش سطح مس از طریق منبع سولفات مس در جیره و بهبود دسترسی آن‌ها در اثر مصرف سطوح بالاتر ال-آرژنین، میزان تخم‌گذاری را افزایش داد. به طور کلی، اثر افزودن ۸ و ۱۶ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم همراه با ۴۰ درصد بالاتر ال-آرژنین به جیره مرحله تولید مرغ‌های تخم‌گذار اثرات مثبتی بر متغیرهای عملکردی شاخص‌های کیفی تخم‌مرغ دارد و می‌تواند شاخص‌های بلوغ فیزیولوژیکی در این محدوده سنی را بهبود دهد. انجام مطالعات بیشتر در این زمینه توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به‌خاطر حمایت مالی و تجهیزات آزمایشگاهی و از آقایان حمید سلیمانی و دکتر سروش خادمیان (زنجیره پگاه جهان‌نما گلستان)، دکتر رضا مبصری (زنجیره ماهان سبز گلستان)، دکتر امیر عطار (شرکت خوراک‌پرداز هزاره‌نوین مشهد)، دکتر امیر حمزه دریایی (دامپزشک شرکت مرغ پر طلای گلستان)، رضا شهمرادی رئیس هیئت مدیره و مدیر عامل و بهزاد شریفی عضو هیئت مدیره شرکت شهرک‌های صنعتی استان گلستان برای کمک‌های ارزشمند آن‌ها در تهیه مواد تشکیل‌دهنده خوراک و سولفات مس ال-آرژنین برای اجرای این طرح تشکر و قدردانی می‌گردد.

به‌نظر می‌رسد که افزایش سطح سولفات مس در مرغ‌ها از طریق بهبود ارتفاع لایه موثر، لایه پالیز و تراکم دستگیره‌های پستاندار (این لایه‌ها در سنتز کریستال‌های کلسیم در طول تشکیل پوسته نقش دارند) در بافت ایستوموس بر استحکام پوسته تخم‌مرغ تأثیر می‌گذارد و از این طریق ساختار پوسته تخم‌مرغ را بهبود می‌بخشد (Qiu et al., 2020). در مطالعه‌ای گزارش شد که افزودن سطح ۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم اسیدآمینه ال-آرژنین به جیره مرغ‌های تخم‌گذار تأثیر معنی‌داری بر وزن تخم‌مرغ نداشت که ممکن است با عدم افزایش وزن سفیده تخم‌مرغ مرتبط باشد (Yang et al., 2016). سان و همکاران (Sun et al., 2022) ال-آرژنین را در سطح ۰/۰۵-۱/۰۰ درصد در جیره مرغ‌های تخم‌گذار اضافه کردند و گزارش کردند که درصد تولید، رنگ زرده، درصد سفیده و زرده با سطح ۱/۰۰ درصد افزایش یافته بود. همچنین، تأمین کلسیم و توجه به تعادل آنیون-کاتیون در جیره بر کیفیت پوسته تأثیر دارد، در حالی که افزایش سطوح ال-آرژنین تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های پوسته نداشت (Kazemifard et al., 2017). همچنین، دائو و همکاران (Dao et al., 2021) گزارش کردند که افزایش سطح ال-آرژنین از ۱/۳۵ درصد به ۱/۴۶ درصد باعث افزایش وزن تخم‌مرغ و واحد‌هاو شد ولی میزان ضخامت پوسته تخم‌مرغ را کاهش داد. الشریف و همکاران (Elsharif et al., 2020) گزارش کردند که افزودن سطوح ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس به جیره مرغ‌های تخم‌گذار هایسکس قهوه‌ای سبب افزایش وزن و توده تخم‌مرغ، واحد‌هاو و ضخامت پوسته تخم‌مرغ شد. شارما و همکاران (Sharma et al., 2025) پیشنهاد کردند که عنصر مس می‌تواند با تأثیر بر تشکیل کریستال کلسیت و اصلاح ساختار لووگرافی کریستالی پوسته تخم‌مرغ بر خواص پوسته تخم‌مرغ تأثیر بگذارد. لیزیل اکسیداز یک کوپراآنزیم است که شامل انتقال لیزین به دزموزین و ایزودزموزین است. بنابر این، مقادیر کافی مس منجر به تشکیل طبیعی پوسته و شاخص شکل تخم‌مرغ می‌شوند (Dong et al., 2022). ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2015) گزارش کردند که برخی از ژن‌های پرندگان می‌توانند فرآیند کانی‌سازی یا پیش‌سازهای پوسته تخم‌مرغ را فراهم و تنظیم کنند و فاکتورهای فیزیکی کیفیت تخم‌مرغ مانند ویژگی آلومین تخم‌مرغ و ضخامت پوسته، شکل تخم‌مرغ توسط بیان به‌ترتیب ژن اووسیلیدن-۱۱۶ به‌طور مشترک با ژن اووسیلیدن-۳۲ در ایستوموس و رحم تعیین می‌شوند. طبق گزارشات منتشرشده، مس و ال-آرژنین با بیان منظم ژن اووسیلیدن-۱۱۶، ژن

References

- Abdulrazzaq, A. H., Alrawi, S. T. J., & Alkubaisi, A. B. (2019). The effect of different concentrations of copper sulfate on the some physiological and immunological parameters of local male rabbits. *Drug Invention Today*, 12(11), 26-54.
- Aguzey, H. A., Gao, Z., Haohao, W., Guilan, C., Zhengmin, W., Junhong, C., & Li, N. Z. (2020). The role of arginine in disease prevention, gut microbiota modulation, growth performance and the immune system of broiler chicken—a review. *Annals of Animal Science*, 20(2), 325-341. <https://doi.org/10.2478/aoas-2019-0081>
- Akbari Moghaddam Kakhki, R., Golian, A., & Zarghi, H. (2016). Effect of digestible methionine+cystine concentration on performance, egg quality and blood metabolites in laying hens. *British Poultry Science*, 57(3), 403-414. <https://doi.org/10.1080/00071668.2016.1173199>

- Alotaibi, M. M., Alhimaidi, A. R., Al-Ghadi, M. Q., Ammari, A. A., & Al-Malahi, N. M. (2022). Evaluation of the maturity and gene expression of sheep oocytes and embryos cultured in media supplemented with marjoram (*Origanum vulgare*) extract. *Genes*, 13(10), 1844. <https://doi.org/10.3390/genes13101844>
- Ansari Pirsaraei, Z., Hatefi, A., Zare Shahneh, A., & Deldar, H. (2022). Evaluation of Beta-Adrenergic Agonist Theophylline Function in Reducing Inflammation on Blood Metabolites and Egg Quality Traits in Laying Hens at the end of Production Period. *Research on Animal Production*, 13(37), 114-121. <http://dx.doi.org/10.52547/rap.13.37.114> [In Persian]
- Bahry, M. A., Hanlon, C., Ziezold, C. J., Schaus, S., & Bédécarrats, G. Y. (2023). Impact of growth trajectory on sexual maturation in layer chickens. *Frontiers in Physiology*, 14, 1174238. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1174238>
- Bello, A., Frei, S., Peters, M., Balkema-Buschmann, A., Baumgärtner, W., & Wohlsein, P. (2017). Spontaneous diseases in captive ratites (Struthioniformes) in northwestern Germany: A retrospective study. *PloS One*, 12(4), 173-873. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173873>
- Carvalho, D. P., & Dupuy, C. (2017). Thyroid hormone biosynthesis and release. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 458, 6-15. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2017.01.038>
- Cui, Y. C. Y., Wang Jing, W. J., Zhang HaiJun, Z. H., Feng Jia, F. J., Wu ShuGeng, W. S., & Qi GuangHai, Q. G. (2019). Effect of photoperiod on ovarian morphology, reproductive hormone secretion, and hormone receptor mRNA expression in layer ducks during the pullet phase. *Poultry Science*, 98(6), 2439-2447 <https://doi.org/10.3382/ps/pey601>
- Deo, C., Mandal, A. B., & Tyagi, P. K. (2018). Response of supplementary sources and levels of copper in diet on the performance of broiler chickens. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 18(1), 89-96.
- Dao, H. T., Sharma, N. K., Bradbury, E. J., & Swick, R. A. (2021). Response of laying hens to l-arginine, l-citrulline and guanidinoacetic acid supplementation in reduced protein diet. *Animal Nutrition*, 7(2), 460-471. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.09.004>
- De Lima, M. B., de Sousa, M. G. B. L., Minussi, A. R. T., de Carvalho, L. C., Veras, A. G., Malheiros, E. B., & da Silva, E. P. (2022). Arginine requirement for egg production in Japanese quail. *Poultry Science*, 101(6), 101841. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101841>
- Di Giancamillo, A., Rossi, R., Martino, P. A., Aidos, L., Maghin, F., Domeneghini, C., & Corino, C. (2018). Copper sulphate forms in piglet diets: Microbiota, intestinal morphology and enteric nervous system glial cells. *Animal Science Journal*, 89(3), 616-624. <https://doi.org/10.1111/asj.12948>
- Dollwet, H. H. A., & Sorenson, J. R. J. (1988). Roles of copper in bone maintenance and healing. *Biological Trace Element Research*, 18, 39-48. <https://doi.org/10.1007/bf02917487>
- Dong, Y., Zhang, K., Han, M., Miao, Z., Liu, C., & Li, J. (2022). Low level of dietary organic trace minerals improved egg quality and modulated the status of eggshell gland and intestinal microflora of laying hens during the late production stage. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 920418. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.920418>
- Elsherif, H., Fouad, A., Nassar, S., Wahba, F., Elsabagh, M., & El-Iraqi, K. (2019). Effect of dietary copper sulphate on laying hen performance, egg quality, and oxidative stress in hot climate conditions. *European Poultry Science/Archiv für Geflügelkunde*, 83, 275. <https://doi.org/10.1399/eps.2019.275>
- Fathima, S., Al Hakeem, W. G., Shanmugasundaram, R., Periyannan, V., Varadhan, R., & Selvaraj, R. K. (2024). Effect of 125% and 135% arginine on the growth performance, intestinal health, and immune responses of broilers during necrotic enteritis challenge. *Poultry Science*, 103(7), 103826. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103826>
- Green, L., Coronado-Zamora, M., Radío, S., Rech, G. E., Salces-Ortiz, J., & González, J. (2022). The genomic basis of copper tolerance in *Drosophila* is shaped by a complex interplay of regulatory and environmental factors. *BMC Biology*, 20(1), 275. <https://doi.org/10.1186/s12915-022-01479-w>
- Godswill, A. G., Somtochukwu, I. V., Ikechukwu, A. O., & Kate, E. C. (2020). Health benefits of micronutrients (vitamins and minerals) and their associated deficiency diseases: A systematic review. *International Journal of Food Sciences*, 3(1), 1-32. <http://dx.doi.org/10.47604/ijf.1024>
- Hao, E. Y., Wang, D. H., Chen, Y. F., Zhou, R. Y., Chen, H., & Huang, R. L. (2021). The relationship between the mTOR signaling pathway and ovarian aging in peak-phase and late-phase laying hens. *Poultry Science*, 100(1), 334-347. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.005>
- Hincke, M. T., Nys, Y., Gautron, J., Mann, K., Rodriguez-Navarro, A. B., & McKee, M. D. (2012). The eggshell: structure, composition and mineralization. *Frontiers in Bioscience*, 17(1), 1266-1280. <https://doi.org/10.2741/3985>
- Huang, H. Y., Liang, Z., Li, S. F., Li, C. M., Zhao, Z. H., & Wang, Q. B. (2015). Polymorphism identification in BMP15 and GDF9 genes and their association with egg production in chickens. *British Poultry Science*, 56(3), 277-283. <https://doi.org/10.1080/00071668.2015.1019829>
- Ibrahim, M. S., Salem, A., EL-Wardany, I., EL-Dien, N., Hassan, A., & Mohamed, A. E. R. Y. (2024). Productive and physiological traits of inshas laying hens as affected by some additives in the diet. *Journal of Environmental Science*, 53(2), 539-558. <https://doi.org/10.21608/jes.2024.222502.1574>
- Kazemi-fard, M., Yousefi, S., Rezaei, M., Shohre, B., & Saberifar, T. (2017). Effect of L-Arginine on productive performance, eggquality parameters, blood and hormone parameters of laying hens in late-

- phase of production. *Research on Animal Production*, 8, 11-17. <https://doi.org/10.29252/rap.9.20.27> [In Persian]
- Kirunda, D. F. K., & McKee, S. R. (2000). Relating quality characteristics of aged eggs and fresh eggs to vitelline membrane strength as determined by a texture analyzer. *Poultry Science*, 79(8), 1189-1193. <https://doi.org/10.1093/ps/79.8.1189>
- Kim, S. G. (2025). Nonessential amino acid is not nonessential in geriatric patients: implications for maxillofacial wound healing and bone repair. *Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery*, 47(1), 1-20. <https://doi.org/10.1186/s40902-025-00465-w>
- Khanal, T. (2020). Rearing Mineral Nutrition and Housing Cage Type: Impact on Bone Quality in Pullets and Hens (Doctoral dissertation, University of Guelph).
- Latour, Y. L., Gobert, A. P., & Wilson, K. T. (2020). The role of polyamines in the regulation of macrophage polarization and function. *Amino Acids*, 52(2), 151-160. <https://doi.org/10.1007/s00726-019-02719-0>
- Li, S., Wang, M., Chen, X., Li, S. F., Li-Ling, J., & Xie, H. Q. (2014). Inhibition of osteogenic differentiation of mesenchymal stem cells by copper supplementation. *Cell Proliferation*, 47(1), 81-90. <https://doi.org/10.1111/cpr.12083>
- Lou, Q., Li, T., Wu, P., Qiu, C., Zhang, G., & Wang, J. (2019). Polymorphism identification in GDF9 gene and its association analysis with reproduction traits in Jinghai Yellow chicken. *Animal Biotechnology*, 30(4), 332-341. <https://doi.org/10.1080/10495398.2018.1516222>
- Mariotti, M., Ridge, P. G., Zhang, Y., Lobanov, A. V., Pringle, T. H., Guigo, R., & Gladyshev, V. N. (2012). Composition and evolution of the vertebrate and mammalian selenoproteomes. *PLoS One*, 7(3), 33066. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033066>
- Militsits, G., Szász, S., Donkó, T., Budai, Z., Almási, A., Pócze, O., & Sütő, Z. (2021). Comparison of changes in the plumage and body condition, egg production, and mortality of different non-beak-trimmed pure line laying hens during the egg-laying period. *Animals*, 11(2), 500. <https://doi.org/10.3390/ani11020500>
- Mishra, S. K., Chen, B., Zhu, Q., Xu, Z., Ning, C., Yin, H., & Li, D. (2020). Transcriptome analysis reveals differentially expressed genes associated with high rates of egg production in chicken hypothalamic-pituitary-ovarian axis. *Scientific Reports*, 10(1), 5976. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62886-z>
- Mroczek-Sosnowska, N., Łukasiewicz, M., Wnuk, A., Sawosz, E., Niemiec, J., Skot, A., Jaworski, S., & Chwalibog, A. (2016). In ovo administration of copper nanoparticles and copper sulfate positively influences chicken performance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(9), 3058-3062. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7477>
- Noori, A., Hoseinpour, M., Kolivand, S., Lotfibakhshaiesh, N., Azami, M., Ai, J., & Ebrahimi-Barough, S. (2022). Synergy effects of copper and L-arginine on osteogenic, angiogenic, and antibacterial activities. *Tissue and Cell*, 77, 101849. <https://doi.org/10.1016/j.tice.2022.101849>
- Ojo, V., Fayeye, T. R., Ayorinde, K. L., & Olojede, H. (2014). Relationship between Body Weight and Linear Body Measurements in Japanese Quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Journal of Scientific Research*, 6(1). <http://dx.doi.org/10.3329/jsr.v6i1.16368>
- Qiu, J. L., Zhou, Q., Zhu, J. M., Lu, X. T., Liu, B., Yu, D. Y., & Xu, J. M. (2020). Organic trace minerals improve eggshell quality by improving the eggshell ultrastructure of laying hens during the late laying period. *Poultry Science*, 99(3), 1483-1490. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.006>
- Pang, Y., & Applegate, T. J. (2007). Effects of dietary copper supplementation and copper source on digesta pH, calcium, zinc, and copper complex size in the gastrointestinal tract of the broiler chicken. *Poult Sci*, 86, 531-537. <https://doi.org/10.1093/ps/86.3.531>
- Paul, B. N., Chanda, S., Das, S., Singh, P., Pandey, B. K., & Giri, S. S. (2014). Mineral assay in atomic absorption spectroscopy. *The Beats of Natural Sciences*, 4(1), 1-17. [Google Scholar]
- Pekel, A. Y., & M. Alp. (2011). Effects of different dietary copper sources on laying hen performance and egg yolk cholesterol. *J Appli Poult Res*, 20, 506-513. <https://doi.org/10.3382/japr.2010-00313>
- Rouhanipour, H., Sharifi, D., & Irajian, G. H. (2021). The effect of L-carnitine and omega-3 fatty acids in the diet on morphology of liver, intestine and oviduct of laying hens. *Research on Animal Production*, 12(31), 31-42. <http://dx.doi.org/10.52547/rap.12.31.31> [In Persian]
- Rouhanipour, H., Ashayerizadeh, O., Sharifi, S. D., & Dastar, B. (2025). Dietary copper and L-arginine: influence on pullet maturation and productivity. *Journal of Applied Poultry Research*, 34(2), 100510. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2024.100510>
- Santos, M. J., Ludke, M. C., Silva, L. M., Rabello, C. B., Barros, M. R., Costa, F. S., & Wanderley, J. S. (2024). Complexed amino acid minerals vs. bis-glycinate chelated minerals: Impact on the performance of old laying hens. *Animal Nutrition*, 16, 395-408. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.11.006>
- Saini, H. S., & Wratten, N. (1987). Quantitative determination of total glucosinolates in rapeseed and meal digests. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 70(1), 141-145. <https://doi.org/10.1093/jaoac/70.1.141>
- Scott, A., Vadalasetty, K. P., Łukasiewicz, M., Jaworski, S., Wierzbicki, M., Chwalibog, A., & Sawosz, E. (2018). Effect of different levels of copper nanoparticles and copper sulphate on performance,

- metabolism and blood biochemical profiles in broiler chicken. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(1), e364-e373. <https://doi.org/10.1111/jpn.12754>
- Sharma, P., Ganguly, M., & Doi, A. (2025). Application of the synergism between eggshells and copper in nanotechnology. *Nanoscale Advances*, 30(1), 400. <https://doi.org/10.1039/d5na00400d>
- Shokrani, F., Daneshyar, M., Ansari Pirsaraei, Z., & Mirghelenj, S. A. (2024). Effects of In ovo Injection of L-carnitine and Betaine on Hatchability, Blood Metabolites Concentration, Carcass Characteristics, Expression of Some Growth Associated Genes and Development of One Day Old Chicks. *Research on Animal Production*, 15(1), 83-94. <https://doi.org/10.61186/rap.15.43.75> [In Persian]
- Shoyombo, A. J., Okona, E. M., Mosesa, A. A., Popoolab, M. A., & Jubrilc, A. E. (2022). The Effects of L-Arginine Supplement on the Growth Rate and Morphometric Performance of Three Indigenous Strains of Birds. *International Journal of Research Publications*, 101(1), 8-8.
- Sun, M., Ma, N., Liu, H., Liu, Y., Zhou, Y., Zhao, J., & Lin, H. (2022). The optimal dietary arginine level of laying hens fed with low-protein diets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13(1), 63. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00719-x>
- Sweeney, K. M., Aranibar, C. D., Kim, W. K., Williams, S. M., Avila, L. P., Starkey, J. D., ... & Wilson, J. L. (2022). Impact of every-day versus skip-a-day feeding of broiler breeder pullets during rearing on body weight uniformity and reproductive performance. *Poultry Science*, 101(8), 101959. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101959>
- Uyanga, V. A., Xin, Q., Sun, M., Zhao, J., Wang, X., Jiao, H., & Lin, H. (2022). Research Note: Effects of dietary L-arginine on the production performance and gene expression of reproductive hormones in laying hens fed low crude protein diets. *Poultry Science*, 101(5), 101816. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101816>
- Wang, R., Li, K., Sun, L., Jiao, H., Zhou, Y., Li, H., & Lin, H. (2022). L-Arginine/nitric oxide regulates skeletal muscle development via muscle fibre-specific nitric oxide/mTOR pathway in chickens. *Animal Nutrition*, 10, 68-85. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.04.010>
- Willis, V. C., Banda, N. K., Cordova, K. N., Chandra, P. E., Robinson, W. H., Cooper, D. C., & Holers, V. M. (2017). Protein arginine deiminase 4 inhibition is sufficient for the amelioration of collagen-induced arthritis. *Clinical & Experimental Immunology*, 188(2), 263-274. <https://doi.org/10.1111/cei.12932>
- Wolc, A. (2014). Understanding genomic selection in poultry breeding. *World's Poultry Science Journal*, 70(2), 309-314. <https://doi.org/10.1017/S0043933914000324>
- Yang, H., Ju, X., Wang, Z., Yang, Z., Lu, J., & Wang, W. (2016). Effects of arginine supplementation on organ development, egg quality, serum biochemical parameters, and immune status of laying hens. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 18(1), 181-186. <http://dx.doi.org/10.1590/1516-635x1801181-186>
- Yuan, C., Bu, X. C., Yan, H. X., Lu, J. J., & Zou, X. T. (2016). Dietary L-arginine levels affect the liver protein turnover and alter the expression of genes related to protein synthesis and proteolysis of laying hens. *Poultry Science*, 95(2), 261-267. <https://doi.org/10.3382/ps/pev314>
- Youssef, S. F., Shaban, S. A. M., & Inas, I. I. (2015). Effect of l-arginine supplementation on productive, reproductive performance, immune response and gene expression in two local chicken strains: l-egg production, reproduction performance and immune response. *Egyptian Poultry Science Journal*, 35, 573-590.
- Zhang, Q., Zhu, F., Liu, L., Zheng, C. W., Wang, D. H., Hou, Z. C., & Ning, Z. H. (2015). Integrating transcriptome and genome re-sequencing data to identify key genes and mutations affecting chicken eggshell qualities. *PLoS One*, 10(5), 0125890. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125890>
- Zhang, T., Bai, S., Ding, X., Zeng, Q., Zhang, K., Lv, L., & Wang, J. (2022). Dietary theabrownin supplementation improves production performance and egg quality by promoting intestinal health and antioxidant capacity in laying hens. *Animals*, 12(20), 2856. <https://doi.org/10.3390/ani12202856>
- Zhu, C., Lv, H., Chen, Z., Wang, L., Wu, X., Chen, Z., & Jiang, Z. (2017). Dietary zinc oxide modulates antioxidant capacity, small intestine development, and jejunal gene expression in weaned piglets. *Biological Trace Element Research*, 175, 331-338. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12011-016-0767-3>