

تأثیر دو فرم آلی و معدنی روی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، استحکام استخوان و عملکرد تولیدی مرغ‌های تخمگذار مسن

• آیدین دخت نیک نیا^۱، رضا وکیلی^{۲*}، عبدالمنصور طهماسبی^۳

۱- گروه علوم دامی، واحد کاشمر، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشمر، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم دامی، واحد کاشمر، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشمر، ایران.

۳- استاد، گروه علوم دامی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۰

شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۱۶۸۵۱۰

Email: rezavakili2010@yahoo.com

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ASJ.2021.353610.2128

چکیده

هدف پژوهش حاضر بررسی اثر دو شکل معدنی و آلی روی بر تولید و کیفیت تخم‌مرغ، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و استحکام استخوانی در مرحله آخر تولید مرغ تخمگذار انجام شد. ۱۷۵ قطعه مرغ تخمگذار لگهورن (w36) با سن ۸۰ هفته در ۷ تیمار ۵ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی تقسیم شدند. تیمارها عبارت بودند از: شاهد (بدون مکمل روی) تیمارهای حاوی سولفات روی (۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلی گرم در کیلوگرم). تیمارهای حاوی روی آلی (به ترتیب با ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلی گرم در کیلوگرم). نتایج نشان داد که افزایش معنی‌داری در رابطه با مصرف خوراک بین تیمار شاهد و تیمارهای ۱۵ و ۴۵ میلی گرم روی معدنی و تیمارهای روی آلی و توده تخم‌مرغ در تیمارهای ۱۵ و ۳۰ میلی گرم روی آلی وجود داشت ($P < 0.05$). وزن تخم‌مرغ در تیمار ۴۵ میلی گرم روی معدنی و خوراک تیمارهای روی آلی کاهش معنی‌دار آماری نشان داد ($P < 0.05$). در رابطه با صفات کیفی تخم‌مرغ اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی با تیمار شاهد مشاهده نشد. هر دو مکمل معدنی و آلی روی در تمام سطوح باعث افزایش فعالیت SOD (سوپراکسید دیسموتاز) سرمی به عنوان شاخص آنتی‌اکسیدانی، شدند ($P < 0.05$). استحکام استخوان درشتنی در مرغ‌های دریافت‌کننده ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم روی آلی افزایش یافت. با توجه به نتایج، روی آلی می‌تواند با بهبود مصرف و ضریب تبدیل خوراک؛ عملکرد، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و استحکام استخوانی را در مرغ‌های تخمگذار در مرحله آخر تولید افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: استحکام استخوان، سوپراکسید دیسموتاز، مرغ تخمگذار، مکمل روی.

Animal Science Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 133 pp: 91-102

The effect of two organic and inorganic forms of zinc on antioxidant activity and bone strength and performance in older laying hensBy: Aidin Dokht Niknia¹, Reza Vakili^{2*}, Abdolmansour Tahmasbi³

1- Department of animal Science, Kashmar Branch, Islamic Azad University, Kashmar, Iran.

2- Department of animal Science, Kashmar Branch, Islamic Azad University, Kashmar, Iran.

3- Department of animal Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*Corresponding Author Email: rezavakili2010@yahoo.com

Received: February 2021**Accepted: May 2021**

The aim of this study was to investigate the effect of two mineral and organic forms of zinc on antioxidant activity and bone strength in the last phase of laying hens. 175 Leghorn laying hens (w36) with 80 week of age were divided into 7 treatments and 5 replications in a completely randomized design. The treatments were: control (without zinc supplementation) treatments containing zinc sulfate (15, 30 and 45 mg/kg). Organic zinc treatments (15, 30 and 45 mg/kg, respectively). The results showed that there was a significant increase in feed intake between the control treatment and 15 and 45 mg inorganic zinc and all organic zinc treatments ($P < 0.05$). Egg weight in 45 mg inorganic zinc and all organic zinc treatments and egg mass in 15 and 30 mg organic zinc treatments showed a statistically significant increased. feed conversion ratio of organic zinc treatments was decreased significantly ($P < 0.05$). Regarding to egg quality traits, no significant difference was observed between experimental treats with control treatment. Both mineral and organic zinc supplements increased serum SOD activity as an antioxidant index at all levels ($P < 0.05$). Tibial bone strength increased in laying hens of receiving 30 mg/kg organic zinc. According to the results, organic zinc can be improved feed intake and feed conversion ratio; Increased yield, antioxidant activity and bone strength in laying hens in the final stages of production.

Key words: Bone Strength, Laying Hen, Superoxide Dismutase, Zinc Supplementation.**مقدمه**

عنصر روی برای رشد و نمو بدن، کیفیت تخم مرغ، سلامت استخوان‌ها و عملکرد سیستم ایمنی مرغ‌های تخمگذار بسیار مهم است. روی جزو بسیاری از متالوآنزیم‌ها و در بیش از ۳۰۰ نوع آنزیم مانند سوپراکسید دسموتاز، کربنیک آنهیدراز، الکل دی هیدروژناز، کربوکسی پپتیداز، آلکالین فسفاتاز، RNA پلیمراز، هیدروکسی پراکسیداز، گلوکاتایون پراکسیداز و کاتالاز می‌باشد و متابولیسم کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها و اسیدهای نوکلئیک را تحت تأثیر قرار می‌دهند (ما و همکاران ۲۰۱۱). همچنین در سایر اعمال حیاتی بدن از قبیل رونویسی RNA، دفاع در برابر رادیکال‌های آزاد و تکثیر و بازسازی DNA (Yang و همکاران، ۲۰۰۹)، بهبود عملکرد روده کوچک طیور، بهبود افزایش وزن، افزایش قابلیت زنده ماندن جنین، افزایش جوجه درآوری، کیفیت بهتر ران نقش دارد و باید به صورت روزانه به جیره حیوانات افزوده شود (Croteau و

همکاران، ۲۰۱۱).

کاهش کیفیت پوسته تخم مرغ در مرغ‌های تخمگذار مسن یکی از مهم‌ترین مشکلات صنعت طیور است (Saunders Blades و همکاران، ۲۰۰۹). کاهش کیفیت پوسته تخم مرغ را می‌توان با افزایش اندازه تخم، کاهش متابولیسم مواد مغذی، به طور عمده کلسیم و هورمون‌های تولید مثل، به ویژه استروژن‌ها مرتبط دانست (Roland و همکاران، ۱۹۸۹). تخم مرغ‌ها حاوی ۱۰٪ پوسته و پوسته تخم مرغ حاوی ۴۰٪ کلسیم است. بنابراین، مرغ‌ها برای تشکیل پوسته تخم مرغ به مقدار قابل توجهی کلسیم نیاز دارند (Pizzolante و همکاران، ۲۰۰۹). اگرچه اغلب مطالعات تغذیه‌ای روی کیفیت پوسته بر عناصر پر نیاز کلسیم، فسفر و ویتامین D3 متمرکز بوده است. ولی چندین آنزیم که در ارتباط با برخی عناصر کم نیاز هستند، در فرآیند تشکیل پوسته تخم مرغ دخالت دارند. روی بعنوان کوفاکتور

روی در ابتدای دوازدهم و محل تجمع روی استخوان می‌باشد. منابع سولفات عناصر به دلیل حلالیت زیاد، به یون‌های فلزی فعال اجازه می‌دهند که سبب افزایش رادیکال‌های آزاد شوند و در نتیجه منجر به کاهش ارزش غذایی خوراک به خاطر شکسته شدن ویتامین‌ها و چربی‌ها می‌شوند (Viera, 2008). همچنین اثر منابع آلی معدنی بر تولید رادیکال‌های آزاد حاصل از متابولیسم و فعالیت آنتی اکسیداتی بدن مشخص نیست. هدف تحقیق حاضر، بررسی وضعیت استحکام استخوان، فعالیت آنتی اکسیداتی و عملکرد تولیدی در مرحله آخر دوره تولیدی مرغ تخمگذار بود.

مواد و روش

این آزمایش در تابستان ۱۳۹۹ در مرغداری تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشمر استان خراسان رضوی انجام شد. در این تحقیق از ۱۷۵ قطعه مرغ تخمگذار سویه هایلین W36 در سن ۸۰ هفته‌ای (فاز آخر تخمگذاری) استفاده شد. مرغ‌ها به ۷ تیمار آزمایشی با ۵ تکرار و ۵ قطعه مرغ در هر تکرار تقسیم شدند. تمامی مرغ‌ها در قفس‌های سه طبقه قرار داشتند و به لحاظ وزن در طیف یکسانی قرار داشتند و سپس به طور تصادفی در تیمارها قرار گرفتند. خوراک و آب به صورت آزادانه در اختیار مرغ‌ها قرار داشت و قبل از شروع آزمایش به مدت یک هفته جهت عادت‌پذیری جیره پایه در اختیار آن‌ها قرار گرفت. تیمارهای آزمایشی عبارتند از:

تیمار ۱: شاهد (جیره پایه)، تیمار ۲: جیره پایه + ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات روی، تیمار ۳: جیره پایه + ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات روی، تیمار ۴: جیره پایه + ۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات روی، تیمار ۵: جیره پایه + ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم روی آلی، تیمار ۶: جیره پایه + ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی آلی، تیمار ۷: جیره پایه + ۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم روی آلی سولفات روی ۵ آبه (۳۴/۱۲ درصد روی) به عنوان مکمل معدنی استفاده شد و مکمل روی آلی تحت عنوان زینک پرو (کمپلکس پروتئین-روی، ۱۲ درصد روی) از شرکت سندام پارس خریداری شد. جدول ۱ ترکیبات جیره پایه را نشان می‌دهد.

متالوآنزیم‌ها در ساخت کربنات و موکوپلی ساکاریدها، و در تنظیم پروتئین‌هایی که منجر به کلسیفیکاسیون پوسته می‌شوند، نقش مهمی دارد (Marie و همکاران، ۲۰۱۵). علاوه بر کیفیت پوسته تخم‌مرغ پایین (Saunders-Blades و همکاران، ۲۰۱۵)، از بین رفتن قدرت استخوان نیز در اواخر تخمگذاری اتفاق می‌افتد (Gregory و همکاران، ۱۹۸۹). با افزایش سن مرغ تخمگذار، شکنندگی و شکستگی استخوان می‌تواند به یک مسئله مهم تبدیل شود و متعاقباً منجر به کاهش تولید تخم‌مرغ و افزایش مرگ‌ومیر شود. این حالت با عدم تعادل بین فرآیندهای بازسازی، یا جذب استخوان و رسوب استخوان جدید اتفاق می‌افتد (Whitehead & Fleming, 2000).

خواص ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی روی به اثبات رسیده است (Haase و همکاران، ۲۰۰۶). روی کوفاکتور آنزیم آنتی‌اکسیدانی مس-روی-سوپراکسید دیسموتاز (SOD1) است. مکمل‌های روی از طریق تعدیل وضعیت سلنیوم به طور قابل توجهی فعالیت گلوکوتایون پراکسیداز (GPX) را افزایش می‌دهند (Zhan و همکاران، ۲۰۱۸).

در منابع ابتدایی، عنصر فلزی با پیوند غیر کربنی به نمک اسید ویا سولفات متصل بود. خلوص پایین، وجود مواد ضد مغذی، هضم در بخش فوقانی دستگاه گوارش به دلیل pH پایین و در نتیجه برهمکنش با سایر مواد معدنی در این ترکیبات از جمله مشخصه آن‌ها است (Viera, 2008). معایب زیادی از شکل معدنی روی مانند دفع زیاد، زیست‌فراهمی کم، اکسیداسیون زیاد و از بین رفتن مواد مغذی وجود دارد (Cao و همکاران، ۲۰۰۰). در سال‌های اخیر مکمل‌های روی آلی به منابع جایگزینی تبدیل شده‌اند. برخی از محققان بر این باورند که مواد معدنی کم نیاز آلی مانند مکمل متیونین-روی و مخمر-روی به راحتی و بیشتر از شکل معدنی آنها جذب بدن می‌شوند (Nitrayova و همکاران، ۲۰۱۲). منابع آلی عناصر معدنی با پیوند کربنی توسط اسید آمینه کیلات شده، با جلوگیری از تبدیل عناصر به شکل غیرمحلول در روده و یا جلوگیری از جذب شدید آن توسط کلونیدهای غیرمحلول که مانع جذب آن‌ها می‌شود، جذب عنصر مورد نظر را به شدت تسریع می‌کنند (پوررضا، ۱۳۸۴). درجه خلوص، جذب بالاتر و ثبات بیشتر در قسمت فوقانی دستگاه گوارش فرم آلی مواد معدنی به اثبات رسیده است. محل جذب عنصر

جدول ۱: اجزا و ترکیبات جیره پایه

درصد	ماده خوراکی
۵۳	ذرت
۲۵	سویا
۱۰	کرنبات کلسیم
۱/۴	روغن گیاهی
۶	سبوس گندم
۲/۲	دی کلسیم فسفات
۰/۲۵	نمک
۰/۱۵	جوش شیرین
۰/۲۵	مکمل ویتامینه*
۰/۲۵	مکمل معدنی**
۰/۲	دی ال متیونین
۰/۱	لایزین
	آنالیز محاسباتی جیره
۲۸۱۰	انرژی قابل متابولیسم (kcal/kg)
۱۵/۱۵	پروتئین خام (درصد)
۴/۶۵	کلسیم (درصد)
۰/۴	فسفر قابل دسترس (درصد)
۰/۱۸	سدیم (درصد)
۰/۳۸	متیونین (درصد)
۰/۶۵	متیونین-سیستین (درصد)
۰/۸	لایزین (درصد)
۰/۹	آرژنین (درصد)
۰/۵۹	ترئونین (درصد)

* ترکیب مکمل ویتامینه برای هر کیلوگرم جیره شامل: ۳۲۰۰۰۰ واحد بین المللی بر کیلوگرم ویتامین A، ۱۳۲۰۰۰۰ واحد بین المللی بر کیلوگرم ویتامین D₃، ۸۰۰۰ واحد بین المللی بر کیلوگرم ویتامین E، ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم ویتامین K₃، ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم ویتامین B₁، ۲۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم ویتامین B₂، ۳۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم ویتامین کالبان، ۱۲۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم نیاسین، ۱۶۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم B₆، ۳۶۰ میلی گرم بر کیلوگرم B₉، ۹ میلی گرم بر کیلوگرم B₁₂، ۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم بیوتین، ۴۴۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم کولین، آنتی اکسیدان ۳۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم. ** مکمل معدنی بدون روی برای هر کیلوگرم جیره پایه شامل: ۳۶۰۰۰ میلی گرم منگنز، ۳۲۰۰ میلی گرم مس، ۴۸۰ میلی گرم ید، ۸۸ میلی گرم سلنیوم، ۱۶۰۰۰ میلی گرم آهن. * میزان روی جیره پایه اندازه گیری شده در آزمایشگاه ۶۳/۵۸ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد.

میزان خوراک مصرفی طبق راهنمای سویه مورد نظر روزانه ۱۱۰ گرم در نظر گرفته شد. مدت زمان اجرای طرح ۱۲ هفته بود و قبل از کشتار به منظور خون گیری و تجزیه فراسنجه های خونی، مدت ۱۲ ساعت گرسنگی به مرغ ها داده شد سپس خون گیری از طریق بریدن رگ کردن انجام شده و در لوله های آزمایش فاقد ماده ضد انعقاد ریخته شدند تا لخته شوند. نمونه های خون تا زمان استخراج سرم و اندازه گیری فاکتورهای مورد نظر در فریزر با دمای ۲۰- درجه سانتی گراد نگهداری شدند.

جدول ۲: مقادیر عنصر روی تأمین شده در منابع معدنی و آلی استفاده شده در

آزمایش (درصد)

تیمار	مکمل سولفات روی	مکمل آلی روی
شاهد*	۰	۰
۱۵ میلی گرم روی معدنی	۴/۵۲۸	۰
۳۰ میلی گرم روی معدنی	۹/۰۵۷	۰
۴۵ میلی گرم روی معدنی	۱۳/۵۸	۰
۱۵ میلی گرم روی آلی	۰	۱۲/۵
۳۰ میلی گرم روی آلی	۰	۲۵
۴۵ میلی گرم روی آلی	۰	۳۷/۵

میزان روی جیره پایه آنالیز شده در آزمایشگاه ۶۳/۵۸ میلی گرم در کیلوگرم بود. میزان احتیاجات سوبه هایلاین طبق راهنمای پرورش سوبه (۲۰۱۶) ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم است.

صفات عملکردی

پس از جداسازی غشای داخلی، پوسته‌ها با استفاده از آون خشک گردید و بعد از وزن‌کشی، ضخامت پوسته با استفاده از دستگاه ضخامت سنج (OSK13469) با دقت ۰/۰۱ با سنجش سه نقطه (دو انتها و مرکز برحسب میلی‌متر) اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی مقاومت پوسته در برابر شکستگی از دستگاه استحکام سنج (digital egg shell force Gauge model-II) بر حسب کیلوگرم نیروی مورد نیاز برای شکستن پوسته در مقطع یک سانتی‌متر مکعب استفاده شد

در طی آزمایش مصرف خوراک روزانه (گرم)، تعداد و تولید تخم‌مرغ (گرم/مرغ/روز) و ضریب تبدیل خوراک محاسبه شد. مصرف خوراک روزانه هر تیمار، با اندازه‌گیری باقیمانده خوراک مصرفی در روز بعد و کسر آن از مقدار کل خوراک در نظر گرفته شده برای هر تیمار (حدود ۳ کیلوگرم در روز) محاسبه شد. وزن تخم‌مرغ با استفاده از ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری می‌شد. درصد تولید، وزن تخم‌مرغ و ضریب تبدیل خوراک با استفاده از فرمول‌های زیر به دست آمد.

$$Pd = (Te/n) \times 100$$

Pd: درصد تولید روزانه

Te: تعداد تخم‌مرغ هر واحد آزمایشی

n: تعداد مرغ هر واحد آزمایشی

وزن تخم‌مرغ

$$EW = EWT/n$$

EW: میانگین وزن تخم‌مرغ روزانه

EWT: وزن کل تخم‌مرغ هر واحد آزمایشی

n: تعداد تخم‌مرغ تولیدی هر واحد آزمایشی

ضریب تبدیل

$$FCR = FI/Em$$

FCR: ضریب تبدیل خوراک هر واحد آزمایشی

FI: مصرف خوراک هر واحد آزمایشی

Em: توده تخم‌مرغ هر واحد آزمایشی (درصد تولید ضربدر میانگین وزن تخم‌مرغ تقسیم بر ۱۰۰)

صفات کیفی تخم‌مرغ

جهت بررسی استحکام استخوان، از هر تکرار دو قطعه مرغ انتخاب و پس از کشتار، استخوان درشت‌نی پای راست جدا گردید و پس از جداسازی بافت‌های چربی و غضروفی، خصوصیات مکانیکی استخوان‌ها توسط دستگاه Instron (مدل H5KS, Tinius Olsen Company) اندازه‌گیری و نتایج با نرم‌افزار اختصاصی مربوط به این دستگاه (Q Mat) محاسبه شد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۴). در این رابطه، فاکتورهای انرژی شکست، نیروی شکست، کار انجام شده تا نقطه شکست، خمش شکست و ضخامت قشر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. انرژی شکست عبارتست از میزان نیرویی که توسط دستگاه بر واحد سطح استخوان بر حسب نیوتن بر میلی‌متر وارد می‌شود.

جهت بررسی برخی صفات کیفی، تعداد ۴ عدد تخم‌مرغ از هر تکرار انتخاب و شکسته شد و محتویات داخلی روی شیشه مخصوص قرار داده شد و با استفاده از میکرومتر سه پایه، ارتفاع سفیده غلیظ در سه نقطه به فواصل یکسان از زرده با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد و واحدها و با اندازه‌گیری ارتفاع سفیده از طریق فرمول زیر محاسبه شد. وزن زرده پس از جداسازی سفیده با استفاده از ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شد.

کردند استفاده از جیره با یک سوم سطح تجاری مواد معدنی کیمیا شامل (آهن، مس، منگنز و روی)، نسبت به دیگر تیمارها، باعث کاهش تعداد تخم مرغ روزانه و توده تخم و افزایش نسبت مصرف خوراک به تولید تخم مرغ شد ($P < 0/05$). El-katcha و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که افزودن ۳۰ پی پی ام نانوذرات روی به جیره باعث افزایش تولید تخم مرغ می شود. Abedini و همکاران (۲۰۱۸)، آزمایشی با ۲۸۸ مرغ تخمگذار سویه لگهورن در سن ۶۴ هفته ای با ۴ تیمار انجام دادند. جیره های آزمایشی شامل یک رژیم غذایی مبتنی بر کنجاله دانه سویا (بدون مکمل روی) و یک رژیم غذایی پایه همراه با ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم اکسید روی، ZnO - NP و روی - متیونین بود. نتایج نشان داد که تولید تخم و توده تخم در گروه روی-متیونین و ZnO-NPs به طور قابل توجهی بالاتر بود ($P < 0/05$). Li و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که تیمار حاوی ۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم متیونین-روی در جیره باعث افزایش وزن تخم مرغ می شود. نظری و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند که تولید تخم مرغ در تیمارهای تغذیه شده با سطح ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم روی در جیره در شرایط دمایی فاقد استرس در مقایسه با تیمار تغذیه شده با همین سطح روی در جیره در شرایط استرس گرمایی اختلاف معنی داری نشان می دهند ($P < 0/05$). روی بعنوان یک عنصر اشتها آور باعث افزایش مصرف خوراک و متعاقب آن افزایش فرصت جذب و زیست فراهمی روی بویژه در جیره های حاوی مکمل آلی روی می شود. این افزایش جذب روی باعث بهبود فرآیندهای متابولیسمی (از طریق برطرف کردن نیاز آنزیم های متابولیسمی به روی) می شوند در نتیجه باعث بهبود فرآیند تشکیل تخم و افزایش تعداد و وزن تخم مرغ و کاهش ضریب تبدیل خوراک می شود.

نیروی شکست عبارتست از مقدار نیرویی که بر حسب نیوتن از طرف دستگاه جهت شکستن استخوان اعمال می شود و مقدار انرژی که صرف می شود بر حسب ژول، تا استخوان شکسته شود را کار تا نقطه شکست می نامند. میزان خمیدگی ناشی از وارد شدن نیرو بر استخوان تا نقطه شکست را خمش شکست می گویند که بر حسب میلی متر بیان می شود. ضخامت قشر عبارتست از ضخامت استخوان در ناحیه شکست بر حسب میلی متر.

تجزیه و تحلیل داده ها

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی، با استفاده از نرم افزار آماری SAS و ویرایش ۹/۱ و مدل آماری GLM ارزیابی شد. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون توکی-کرامر انجام گرفت. مدل آماری مورد استفاده در طرح به صورت زیر است:

$$y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$$

که در این فرمول

y_{ij} : صفت مورد نظر

μ : میانگین صفت اندازه گیری شده

t_i : اثر تیمار آزمایشی

e_{ij} : اثر خطای آزمایشی می باشد.

نتایج و بحث

افزایش معنی داری در رابطه با مصرف خوراک بین تیمار شاهد و تیمارهای ۱۵ و ۴۵ میلی گرم روی معدنی، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلی گرم روی آلی وجود داشت ($P < 0/05$). همچنین وزن تخم مرغ نسبت به شاهد در تیمارهای ۴۵ میلی گرم روی معدنی، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلی گرم روی آلی و توده تخم مرغ در تیمارهای ۱۵ و ۳۰ میلی گرم روی آلی افزایش معنی داری داشت و در نسبت تبدیل خوراک به تخم مرغ تیمارهای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلی گرم روی آلی کاهش معنی دار آماری مشاهده شد ($P < 0/05$). نتایج در جدول ۱ ارائه شده است. در مطالعه ای Jialing و همکاران (۲۰۲۰)، بیان

جدول ۳۰: مقایسه سطوح افزایشی مکمل معدنی و آلی روی بر صفات عملکردی مرغ های تخمگذار مسن

تیمار	مصرف خوراک (گرم)	تولید تخم مرغ (درصد)	وزن تخم مرغ (گرم)	توده تخم مرغ (گرم)	ضریب تبدیل
۱	۱۰۷/۵۶ ^a	۶۲/۶۶ ^b	۶۵/۳۸ ^a	۴۰/۹۷ ^a	۲/۶۲ ^a
۲	۱۰۸/۷۸ ^b	۶۵/۴۶ ^{ab}	۶۶/۴۰ ^{ab}	۴۳/۳۷ ^{ab}	۲/۵۱ ^{ab}
۳	۱۰۸/۶۸ ^{ab}	۶۴/۶۶ ^{ab}	۶۶/۵۹ ^{ab}	۴۳/۰۶ ^{ab}	۲/۵۲ ^{ab}
۴	۱۰۹/۳۲ ^b	۷۲/۰۲ ^a	۶۷/۴۵ ^b	۴۸/۵۸ ^{ab}	۲/۲۶ ^b
۵	۱۰۹/۴۲ ^b	۷۰/۰۷ ^{ab}	۶۷/۹۲ ^b	۴۷/۵۹ ^b	۲/۳۲ ^b
۶	۱۰۹/۰۱ ^b	۷۰/۰۴ ^{ab}	۶۸/۳۶ ^b	۴۷/۸۸ ^b	۲/۳۰ ^b
۷	۱۰۸/۹۲ ^b	۶۸/۶۷ ^{ab}	۶۸/۴۰ ^b	۴۶/۹۷ ^{ab}	۲/۳۲ ^b
SEM	۰/۲۷۴	۰/۴۸۴	۰/۳۸۸	۱/۴۲	۰/۰۶۵
P-value	<۰/۰۰۰۹	<۰/۰۱۵۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۲۳	<۰/۰۰۱۲

^{a,b} میانگین های با حرف غیر مشابه در هر ستون، از نظر آماری تفاوت معنی داری دارند ($P < 0.05$). SEM: میانگین خطای معیار تیمار ۱: شاهد (جیره پایه)، تیمار ۲: جیره پایه + ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم سولفات روی، تیمار ۳: جیره پایه + ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم سولفات روی، تیمار ۴: جیره پایه + ۴۵ میلی گرم در کیلوگرم سولفات روی، تیمار ۵: جیره پایه + ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم روی آلی، تیمار ۶: جیره پایه + ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم روی آلی، تیمار ۷: جیره پایه + ۴۵ میلی گرم در کیلوگرم روی آلی

طوری معنی داری افزایش داشته است ($P < 0.05$). Manangi و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که استفاده از یک مکمل روی آلی، در این مورد کیلات روی، ضخامت پوسته و استحکام پوسته تخم مرغ را در مرغ های مسن افزایش داده است. با افزودن مکمل روی، میزان کربنیک آنهیدراز که در واقع یک پروتئین باند کننده کلسیم است، افزایش می یابد و موجب کاهش نقائص پوسته و بهبود کیفیت پوسته می گردد (Nys و همکاران، ۱۹۹۹).

به لحاظ آماری، اختلاف معنی داری در ضخامت، استحکام و وزن پوسته، ارتفاع سفیده، شاخص هاو و وزن زرده بین تیمار شاهد و تیمارهای دریافت کننده مکمل معدنی و آلی روی مشاهده نشد. هرچند افزایش عددی در مقادیر صفات مذکور در تیمارهای دریافتی روی آلی دیده می شود (جدول ۲). نظری و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند که مقاومت و ضخامت پوسته در تیمارهای تغذیه شده با ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم روی به

جدول ۴: اثر سطوح افزایشی مکمل معدنی و آلی روی بر متغیرهای کیفی تخم مرغ در مرغ های تخمگذار مسن

تیمار	ضخامت پوسته (mm)	استحکام پوسته (kg/cm ³)	ارتفاع سفیده (mm)	شاخص هاو(درصد)	وزن زرده (gr)	وزن پوسته (gr)
۱	۰/۲۵	۲/۱۴	۴/۱۸	۵۷/۳۸	۱۸/۳۵	۵/۴۲
۲	۰/۲۹	۲/۸۷	۴/۲۸	۵۷/۳۲	۱۹/۳۲	۵/۸۸
۳	۰/۲۷	۲/۲۳	۳/۴۰	۴۹/۲۴	۱۸/۹۸	۵/۲۰
۴	۰/۲۷	۲/۰۵	۳/۹۸	۵۲/۸۶	۱۹/۷۰	۵/۶۹
۵	۰/۲۷	۱/۷۶	۳/۷۸	۵۲/۹۴	۲۰/۱۴	۵/۳۲
۶	۰/۲۸	۲/۱۶	۴/۱۲	۵۲/۰۲	۲۰/۱۰	۵/۹۴
۷	۰/۲۷	۲/۲۱	۳/۷۲	۵۱/۸۸	۱۸/۴۳	۵/۸۳
	۰/۰۱۰	۰/۲۸۸	۰/۴۶۵	۵/۵۵۸	۰/۶۹۰	۰/۲۵۳
	۰/۴۵۲۶	۰/۲۷۰۳	۰/۸۴۶۳	۰/۹۳۸۱	۰/۳۶۳۶	۰/۲۷۱۲

SEM: میانگین خطای معیار تیمار ۱: شاهد (جیره پایه)، تیمار ۲: جیره پایه + ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم سولفات روی، تیمار ۳: جیره پایه + ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم سولفات روی، تیمار ۴: جیره پایه + ۴۵ میلی گرم در کیلوگرم سولفات روی، تیمار ۵: جیره پایه + ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم روی آلی، تیمار ۶: جیره پایه + ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم روی آلی، تیمار ۷: جیره پایه + ۴۵ میلی گرم در کیلوگرم روی آلی

SOD و GSH-Px تخمدانی در ۴۸ میلی گرم در کیلوگرم روی افزایش یافته است. براساس گزارش El-katcha و همکاران (۲۰۱۸)، افزودن ۶۰ میلی گرم در کیلوگرم روی آلی و یا ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم نانو روی در جیره به طور قابل توجهی ($P < 0.05$) فعالیت سوپراکسید دیسموتاز سرم (SOD) را افزایش می دهد در حالی که، بر فعالیت MDA و GPx سرمی در مقایسه با گروه های تغذیه شده با روی غیر آلی اثری نداشت. روی به عنوان عنصر کمیاب ضروری برای ساختار و عملکرد Cu - Zn-SOD مهم است، زیرا که بیش از ۹۰٪ SOD را تشکیل می دهد و بدن را از تنش اکسیداتیو و رادیکال های آزاد محافظت می کند (Noor و همکاران، ۲۰۰۲). استفاده از روی در جیره مرغ تخمگذار با افزایش محتوای Cu - Zn-SOD که از اکسیداسیون خودکار گلوتاتیون (GSH) جلوگیری می کند، رادیکال های آزاد را از بین می برد. بهبود عملکرد آنتی اکسیدانی را می توان با حذف رادیکال اکسیژن از طریق افزایش Cu / Zn-SOD توضیح داد، بنابراین Zn از GSH در خون و بافت محافظت می کند (Reid & Tervit, ۱۹۹۹).

نتایج نشان داد که تیمارهای دریافت کننده مکمل معدنی و آلی روی باعث افزایش معنی دار سطح سوپراکسید دیسموتاز سرمی نسبت به تیمار شاهد شدند ($P < 0.05$) (جدول ۳). Abedini و همکاران (۲۰۱۸) گزارش دادند که تیمارهای تغذیه شده با مکمل نانوذرات روی و متیونین-روی دارای فعالیت SOD بیشتری در کبد، پانکراس و پلاسما نسبت به دیگر تیمارهای آزمایشی می باشند ($P < 0.05$) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. در تحقیقی، تیمارهای دریافت کننده اکسید روی و متیونین-روی فقط میزان فعالیت Cu-Zn-SOD را تحت تأثیر قرار دادند (Abd El-Hack و همکاران، ۲۰۱۸). YU و همکاران (۲۰۲۰) دو منبع روی شامل روی آلی (اسید آمینه-روی) و سولفات روی به عنوان منبع معدنی روی را در دو سطح ۳۵ و ۷۰ میلی گرم در کیلوگرم مورد آزمایش قرار دادند آن ها بیان کردند که تیمارهای دریافت کننده روی، غلظت سرمی Zn^{+2} و کمپلکس آنزیمی مس-روی سوپراکسید دیسموتاز را افزایش داده و تمایل به افزایش محتوای سوپراکسید دیسموتاز دارد ($P = 0.065$). Li و همکاران (۲۰۱۹) گزارش دادند که فعالیت سرمی Cu-Zn-SOD در ۷۲ میلی گرم بر کیلوگرم روی و فعالیت Cu-Zn-

جدول ۵: اثرات سطوح افزایشی مکمل معدنی و آلی روی بر شاخص آنتی اکسیدانی سرم خون مرغ‌های تخمگذار مسن

P-value	SEM	تیمار ۷	تیمار ۶	تیمار ۵	تیمار ۴	تیمار ۳	تیمار ۲	تیمار ۱	SOD (U/mL)
<۰/۰۰۰۱	۰/۶۹۴	۳۰۶/۶۰ ^b	۲۷۹/۲۰ ^b	۳۱۴/۲۰ ^b	۳۴۱/۴۰ ^b	۳۳۲ ^b	۲۸۵/۷۰ ^b	۲۲۱/۲۰ ^a	

^{a,b} میانگین‌های با حرف غیرمشابه در هر ردیف، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری دارند ($P < 0/05$). تیمار ۱: شاهد (جیره پایه)، تیمار ۲: جیره پایه + ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات روی، تیمار ۳: جیره پایه + ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات روی، تیمار ۴: جیره پایه + ۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات روی، تیمار ۵: جیره پایه + ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم روی آلی، تیمار ۶: جیره پایه + ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی آلی، تیمار ۷: جیره پایه + ۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم روی آلی. SEM: انحراف معیار میانگین.

درشت‌نی، به عنوان پارامترهای مکانیکی استخوان درشت‌نی نداشت ($P > 0/05$). جایگزینی اکسید روی و منگنز با کمپلکس‌های اسیدآمینه این عناصر نیز تأثیری بر پارامترهای فیزیکی و هندسی درشت‌نی، محتوای خاکستر در استخوان درشت‌نی و انگشتان پا نداشت (Swiatkiewicz & Koreleski, ۲۰۰۸). Manang و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود نشان دادند که استفاده از مواد معدنی کلسیم، روی، مس و منگنز منجر به بیشترین مقدار استحکام استخوان شده است. نتایج در جدول ۴ آورده شده است.

با توجه به افزایش معنی‌دار خمش و ضخامت استخوان در تیمار دریافت‌کننده ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌توان گفت مرغ‌های تیمار مذکور استحکام استخوانی بیشتری نسبت به دیگر تیمارها داشتند. Li و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه بر روی ۵۷۶ قطعه مرغ مادر گوشتی سویه لینگنان^۱ در سن ۵۸ هفته‌ای گزارش کردند که مرغ‌های دریافت‌کننده ۲۴ تا ۴۸ میلی‌گرم در کیلوگرم روی، میزان استحکام و مقاومت به شکست در استخوان تیبیا بیشتری نسبت به دیگر تیمارهای آزمایشی دارند. Cufadar و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند سطوح مختلف روی و اثر متقابل آن‌ها هیچ تأثیری بر وزن استخوان درشت‌نی، فشار درشت‌نی و قدرت شکستگی

جدول ۶: اثرات مکمل معدنی و آلی روی بر استحکام استخوان درشت‌نی مرغ‌های تخمگذار مسن

تیمار	انرژی شکست (N/mm)	نیروی شکست (N)	کار انجام شده تا نقطه شکست (J)	خمش شکست (mm)	ضخامت قشر (mm)
۱	۲۱۲/۲۵	۲۲۳/۳۰	۰/۱۴۶	۱/۷۵ ^a	۲/۰۰ ^a
۲	۱۴۳/۲۰	۱۸۹/۸۵	۰/۱۴۷	۱/۸۸ ^a	۲/۶۱ ^a
۳	۱۹۳/۸۰	۲۰۰/۸۰	۰/۱۲۴	۱/۷۷ ^a	۳/۱۰ ^a
۴	۱۴۸/۵۵	۱۷۹/۳۰	۰/۱۴۸	۱/۷۵ ^a	۱/۸۵ ^a
۵	۲۲۹/۱۰	۱۷۷/۵۰	۰/۱۰۹	۱/۴۱ ^a	۲/۲۹ ^a
۶	۱۳۱/۶۰	۱۹۷/۹۵	۰/۱۹۲	۴/۴۴ ^b	۵/۹۴ ^b
۷	۲۱۲/۳۰	۲۲۴/۸۰	۰/۱۳۸	۱/۷۲ ^a	۱/۸۲ ^a
SEM	۲۲/۸۰۶	۳۳/۵۵۶	۰/۰۲۲	۰/۲۶۶	۰/۲۰۹
	۰/۰۸۸	۰/۹۰۴	۰/۳۴۸	۰/۰۰۱	<۰/۰۰۰۱

^{a,b} میانگین‌های با حرف غیرمشابه در هر ستون، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری دارند ($P < 0/05$). تیمار ۱: شاهد (جیره پایه)، تیمار ۲: جیره پایه + ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات روی، تیمار ۳: جیره پایه + ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات روی، تیمار ۴: جیره پایه + ۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات روی، تیمار ۵: جیره پایه + ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم روی آلی، تیمار ۶: جیره پایه + ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی آلی، تیمار ۷: جیره پایه + ۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم روی آلی. SEM: انحراف معیار میانگین.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج، استفاده از مکمل روی در هر دو شکل آلی و معدنی می تواند مصرف خوراک و فعالیت آنتی اکسیدانی را در مرغ های تخمگذار مسن بهبود بخشد. روی آلی ضریب تبدیل خوراک را بهبود می دهد و استفاده از ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم روی آلی در فاز آخر تخمگذاری می تواند باعث بهبود استحکام استخوانی در مرغ های تخمگذار مسن شود.

پانویس ها

1. Lingnan

منابع

حسینی، س.ج.، کرمانشاهی، ح.، نصیری مقدم، ح.، نبی پور، ا. و حسن آبادی، ا. (۱۳۹۴). تأثیر ۲۵ و ۱۰۰ دی هیدروکسی کوله کلسیفرول و عصاره هیدروالکلی پودر شده پنیرباد (Withania Coagulans) بر عملکرد و استحکام استخوان درشتنی جوجه های نر گوستی. پژوهش های تولیدات دامی، سال ششم شماره یازده، ص ۱۸-۹.

پوررضا، ج. (۱۳۸۴). اصول علمی و عملی پرورش طیور. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد اصفهان.

نظری، م.، سالاری، س.، و قربانی، م.ر. (۱۳۹۹). اثر مکمل روی و جایگزینی بتائین جیره با متیونین بر عملکرد و فراسنجه های خونی مرغان تخمگذار در شرایط استرس گرمایی. تحقیقات دامپزشکی و فرآورده های بیولوژیک. شماره ۱۲۶ ص ۷۰-۶۱.

Abd El-Hack, M. E., Alagawany, M., Salah, A. S., Abdel-Latif, M. A., & Farghly, M. F. (2018). Effects of dietary supplementation of zinc oxide and zinc methionine on layer performance, egg quality, and blood serum indices. *Biological trace element research*, 184(2): 456-462.

Abedini, M., Shariatmadari, F., Karimi Torshizi, M. A., & Ahmadi, H. (2018). Effects of zinc oxide nanoparticles on the egg quality, immune response, zinc retention, and blood parameters of laying

- hens in the late phase of production. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 102(3): 736-745. <https://doi.org/10.1111/jpn.12871>
- Cao, J., Henry, P. R., Guo, R., Holwerda, R. A., Toth, J. P., Littell, R. C., ... & Ammerman, C. B. (2000). Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic zinc sources for poultry and ruminants. *Journal of animal science*, 78(8), 2039-2054.
- Croteau, M.N., Dybowska, A.D., Luoma, S.N., & Valsami-Jones, E. (2011). A novel approach reveals that zinc oxide nanoparticles are bioavailable and toxic after dietary exposures. *Nanotoxicology*, 5:79-90.
- Cufadar, Y., Göçmen, R., Kanbur, G., & Yıldırım, B. (2020). Effects of dietary different levels of nano, organic and inorganic zinc sources on performance, eggshell quality, bone Mechanical parameters and mineral contents of the tibia, liver, serum and excreta in laying hens. *Biological trace element research*, 193(1): 241-251.
- El-katcha, M. I., Mosaad, A., Soltan, Mahmoud, M., Arafa, karima, N., El-Sayed R. K. (2018). Impact of Dietary Replacement of Inorganic Zinc by Organic or Nano Sources on Productive Performance, Immune Response and Some Blood Biochemical Constituents of Laying Hen. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*, 59(1): 48-59.
- Gregory, N.G., & Wilkins, L.J. (1989). Broken bones in domestic fowl: handling and processing damage in end-of-lay battery hens. *Br Poult Sci*. 30: 555-62.
- Haase, H., Mocchegiani, E., & Rink, L. (2006). Correlation between zinc status and immune function in the elderly. *Biogerontology*, 7(5): 421-428.

- Jialing, Q., Xintao, L., Lianxiang, M., Chuanchuan, H., Junna, H., Bing, L., Dongyou, Y., Gang, L., & Jiming, X. (2020). Low-dose of organic trace minerals reduced fecal mineral excretion without compromising performance of laying hens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(4): 588-596.
- Li, L. L., Gong, Y. J., Zhan, H. Q., Zheng, Y. X., & Zou, X. T. (2019). Effects of dietary Zn-methionine supplementation on the laying performance, egg quality, antioxidant capacity, and serum parameters of laying hens. *Poultry science*, 98(2): 923-931.
- Manangi, M. K., Vazques-Anon, M., Richards, J. D., Carter, S., & Knight, C. D. (2015). The impact of feeding supplemental chelated trace minerals on shell quality, tibia breaking strength, and immune response in laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 24(3): 316-326.
- Marie, P., Labas, V., Brionne, A., Harichaux, G., Hennequet-Antier, C., Nys, Y., et al. (2015). Quantitative proteomics and bioinformatic analysis provide new insight into protein function during avian eggshell biomineralization. *J Proteomics*. 113: 178-93.
- Nitrayova, S., Windisch, W., Von Heimendahl, E., Müller, A., & Bartelt, J. (2012). Bioavailability of zinc from different sources in pigs. *Journal of animal science*, 90(suppl_4): 185-187.
- Noor, R., Mittal, S., & Iqbal, J. (2002). Superoxide dismutase-applications and relevance to human diseases. *Medical Science Monitor*, 8(9): RA210-RA215.
- Nys, Y. (1999). Nutritional factors affecting eggshell quality. *czech journal of animal science*. 14: 135-143.
- Pizzolante, C.C., Saldanha, E.S.P.B., Lagana, C., Kakimoto, S.K., & Toghashi, C.K. (2009). Effect of calcium levels and limestone particle size on the egg quality of semi-heavy layers in their second production cycle. *Braz J Poult Sci*. 11: 79-86.
- Reid, G. M., & Tervit, H. (1999). Sudden infant death syndrome: oxidative stress. *Medical hypotheses*, 52(6): 577-580.
- Roland, DA. (1986). Egg shell quality III: calcium and phosphorus requirements of commercial Leghorns. *Worlds Poult Sci J*. 42:154-65.
- Saunders-Blades, J.L., & Korver, D.R. (2015). Effect of hen age and maternal vitamin D source on performance, hatchability, bone mineral density, and progeny *in vitro* early innate immune function. *Poult Sci*. 94: 1233-46.
- Saunders-Blades, J.L., MacIsaac, J.L., & Korver, D.R., & Anderson, D.M. (2009). The effect of calcium source and particle size on the production performance and bone quality of laying hens. *Poult Sci*. 88: 338-53.
- Swiatkiewicz, S., & Koreleski, J. (2008). The effect of zinc and manganese source in the diet for laying hens on eggshell and bones quality. *Veterinarni Medicina*, 53(10): 555-563.
- Viera, S.L. (2008). Chelated minerals for poultry. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 10:73-79.
- Whitehead, C. C., & Fleming, R. H. (2000). Osteoporosis in cage layers. *Poultry science*, 79(7): 1033-1041. Available at <http://ps.oxfordjournals.org/content/79/7/1033.abstract>.
- Yang, H., Liu, C., Yang, D., Zhang, H., & Xia, Z. (2009). Comparative study of cytotoxicity, oxidative stress and genotoxicity induced by four typical nanomaterials: the role of particle size, shape and composition. *Journal of Applied Toxicology*, 29: 69-78.
- Yu, Q., Liu, H., Yang, K., Tang, X., Chen, S., Ajuwon, K. M., ... & Fang, R. (2020). Effect of the level and source of supplementary dietary zinc on egg production, quality, and zinc content and on serum antioxidant parameters and zinc concentration in laying hens. *Poultry Science*, 99(11): 6233-6238.
- Zhan, H.Q., Li, L.L., Gong, Y.J., Zheng, Y.X.,

& Zou, X.T. (2018). Effects of dietary Zn-methionine supplementation on the laying performance, egg quality, antioxidant capacity,

and serum parameters of laying hens. *Poult. Sci.* 98: 923–931.