

Original Article

Effect of different sources of zinc on immune system, antioxidant status, egg yield and enrichment in Leghorn laying hens (w36) at the end of production period (80-92 weeks)

Javad Irvani¹, Reza Vakili^{2*}, Nafisehe Rahmanian Sharifabad³

1. Research & Development, Makian Phosphate, Mashhad, Iran.

2. Department of Animal Science, Kash.C., Islamic Azad University, Kashmar, Iran.

3. Department of animal Science, Kash. C., Islamic Azad University, Kashmar, Iran.

Received: 2025.03.05

Accepted: 2025.06.12

Revised: 2025.06.11

Published: 2025.12.22

* E-mail: reza.vakili@iau.ac.ir

Abstract

Introduction: The role of minerals, particularly zinc, in enhancing performance and egg production in laying hens has been widely investigated. **Objective:** This study aimed to evaluate the effects of different zinc sources (organic and inorganic) on immune function, antioxidant activity, production performance, and egg enrichment in 80-week-old Leghorn laying hens using a completely randomized design with seven treatments and five replications. **Materials and Methods:** The study was carried out on 175 W36 White Leghorn laying hens, 80 weeks old, for 12 weeks at the research poultry farm of Islamic Azad University, Kashmar Branch, Khorasan Razavi Province. The experimental treatments were as follows: 1) control (basal diet), 2) basal diet + 15 mg/kg zinc sulfate, 3) basal diet + 30 mg/kg zinc sulfate, 4) basal diet + 45 mg/kg zinc sulfate, 5) basal diet + 15 mg/kg organic zinc, 6) basal diet + 30 mg/kg organic zinc, 7) basal diet + 45 mg/kg organic zinc. **Results:** Feed intake increased significantly ($p < 0.05$) with the inclusion of different zinc sources and levels. Treatments 4, 5, 6, and 7 showed higher egg weight and improved feed conversion ratio compared to other treatments. The highest egg number and mass were observed in treatment 4 relative to the control. Both zinc sources enhanced superoxide dismutase activity across all levels. Immunoglobulins G and M were significantly affected by the treatments ($p < 0.05$). Zinc deposition in the eggshell was not influenced, whereas zinc content in bone, egg yolk, serum, and liver was significantly affected by the treatments ($p < 0.05$). **Conclusion:** Both zinc sources enhanced feed intake, feed conversion ratio, production performance, antioxidant activity, bioavailability, and egg enrichment. Based on the results of this study, a supplementation level of 45 mg/kg from either organic or inorganic zinc is recommended.

Keywords: Antioxidant, Bioavailability, Organic source, Zinc sulfate



Authors retain the copyright and full publishing rights.

Published by [Razi Vaccine & Serum Research Institute](#) This article is an open access article licensed under the [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](#)

اثر منابع مختلف روی بر سیستم ایمنی، فعالیت پاداکسندگی، عملکرد تولید و غنی سازی تخم مرغ در مرغ های تخمگذار لگهورن (w63) در اواخر دوره تولید (۸۰ - ۹۲ هفتهگی)

جواد ایروانی^۱، رضا وکیلی^{۲*}، نفیسه رحمانیان شریف آباد^۳

۱. کارشناسی ارشد بیوشیمی/تحقیق و توسعه، شرکت ماکیان فسفات، مشهد، ایران.

۲. استاد تمام، گروه علوم دامی، واحد کاشمر، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشمر، ایران

۳. دانشجوی دکتری تخصصی، گروه علوم دامی، واحد کاشمر، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشمر، ایران.



تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۲۱

* E-mail: reza.vakili@iau.ac.ir

چکیده

مقدمه: اثربخشی مواد معدنی از جمله عنصر روی بر صنعت طیور، به ویژه پرندگان تخمگذار و تولید تخم بررسی شده است. **هدف:** بررسی منابع مختلف تأمین کننده روی (آلی و معدنی) بر سیستم ایمنی، فعالیت آنتی اکسیدانی، عملکرد و غنی سازی در مرغ های تخمگذار لگهورن در ۸۰ هفتهگی، با هفت تیمار و پنج تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. **مواد و روش ها:** آزمایش روی ۱۷۵ قطعه مرغ تخمگذار لگهورن سفید سویه های لاین w36 در ۸۰ هفتهگی به مدت ۱۲ هفته در محل مرغداری تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرستان کاشمر استان خراسان رضوی انجام گرفت. تیمارها شامل یک: شاهد (جیره پایه)؛ دو: جیره پایه + ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم (mg/kg) سولفات روی؛ سه: جیره پایه + ۳۰ mg در kg سولفات روی؛ چهار: جیره پایه + ۴۵ mg در kg سولفات روی؛ پنج: جیره پایه + ۱۵ mg در kg روی آلی؛ شش: جیره پایه + ۳۰ mg در kg روی آلی؛ هفت: جیره پایه + ۴۵ mg در kg روی آلی بودند. **یافته ها:** با توجه به نتایج مصرف خوراک با افزودن سطوح و منابع مختلف روی افزایش معناداری ($p < 0.05$) داشت. در تیمارهای چهار، پنج، شش و هفت وزن تخم مرغ و بهبود ضریب تبدیل بالاتر از سایر تیمارها مشاهده شد. بیشترین تعداد و توده تخم مرغ در تیمار چهار نسبت به تیمار شاهد بود. هر دو مکمل در تمام سطوح باعث افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز شدند. ایمنوگلوبولین های G و M به طور معناداری ($p < 0.05$) تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند. میزان ذخیره روی، در پوسته تخم مرغ تحت تأثیر قرار نگرفت، اما در استخوان، زرده تخم مرغ، سرم خون و کبد به طور معناداری ($p < 0.05$) تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. **نتیجه گیری:** هر دو منبع روی باعث بهبود مصرف خوراک، ضریب تبدیل خوراک، عملکرد، فعالیت آنتی اکسیدانی، زیست فراهمی و غنی سازی تخم مرغ می شوند، ولی سطح قابل توصیه این آزمایش استفاده از ۴۵ mg در kg منبع آلی و معدنی عنصر روی است.

واژگان کلیدی: پاداکسایشی، زیست فراهمی، سولفات روی، منبع آلی.

مقدمه

تخم مرغ را می توان جزئی از ارزشمندترین مواد غذایی دانست (۱). به طوری که در بررسی های انجام شده نشان داده شد که در سال ۲۰۲۰، سرانه مصرف تخم مرغ ۲۸۵ عدد بود؛ به عبارت دیگر یعنی هر فرد در هر چهار روز سه عدد تخم مرغ مصرف می کند (۲)، از طرفی با افزایش جمعیت جهانی و افزایش تمایل به استفاده از پروتئین حیوانی پیش بینی شده که مصرف تخم مرغ همچنان افزایش یابد (۳)؛ از آنجاکه انسان ها به دنبال سبک زندگی سالم نیز هستند کیفیت تولید و کیفیت تخم مرغ بسیار مهم است، چون بخش جدایی ناپذیری از رژیم غذایی انسان هاست (۱)، بنابراین، استفاده از ابزارهایی که به تولیدکنندگان کمک کند تقاضای مصرف کننده را برآورده کند و باعث بهبود تولید و کیفیت تخم مرغ شود باید شناسایی و به کار گرفته شود (۲). کیفیت تخم مرغ تحت تأثیر ژنوتیپ (۴)، سن مرغ (۱)، سیستم نگهداری (۵) و تغذیه مرغ ها (۶) قرار می گیرد (۱). ترکیب مواد مغذی و نوع و میزان آن (پروتئین ها، کربوهیدرات ها، لیپیدها، ویتامین ها و مواد معدنی) باعث تغییر کیفیت تخم مرغ می شود (۷). مواد معدنی ضروری و غیرضروری برای حیوانات و انسان ها مهم اند، زیرا این مواد باعث بهبود عملکرد رشد، افزایش تولید تخم مرغ و متابولیسم استخوان می شوند (۸-۱۳). عنصر روی ماده ای ضروری و مهم است که باعث عملکردهای متفاوت در پرندگان می شود (۱۴). عنصر روی جزئی از متالوآنزیم کربنیک انیدراز نیز هست که این آنزیم برای تشکیل پوسته تخم مرغ ضروری است (۱۵-۱۶). همچنین روی برای رشد فیزیکی و ماهیچه ای (۱۷)، تولید مثل، تولید تخم مرغ و کیفیت پوسته تخم مرغ (۱۸) ضروری است. علاوه بر این ها نیز عنصر روی در سنتز یا تجزیه کربوهیدرات، پروتئین، لیپید و اسیدهای نوکلئیک نقش ایفا می کند (۱۹). مکمل روی را می توان به صورت آلی (سولفات ها، اکسیدها، کربنات ها یا کلریدها) و معدنی تولید و استفاده کرد (۲۰)؛ اما معمولاً در خوراک طیور مکمل روی به شکل سولفات روی ($ZnSO_4$) و اکسید روی (ZnO) استفاده می شوند (۲۱). پژوهش ها نشان داده برای داشتن تولید بالا و سودآوری زیاد جیره غذایی بهینه و متعادل، افزودن ریزعناصر در شکل و دزهای مناسب در جیره بسیار مهم است (۲۲). از طرفی زیست فراهمی عناصر نیز مهم است و روش های متفاوتی برای تعیین زیست فراهمی و جذب عناصر معدنی کمیاب در بافت

وجود دارد. در نتیجه می توان با تغییر در جیره غذایی مرغ های تخم گذار تخم مرغ را با مواد معدنی غنی سازی کرد تا این تخم مرغ غنی سازی شده با مواد معدنی کمیاب و مواد فعال زیستی منبعی عالی در رژیم غذایی انسان ها باشد (۲۳). در این راستا مطالعات متعددی تاکنون به بررسی اثربخشی مواد معدنی از جمله عنصر روی بر صنعت طیور، به ویژه پرندگان تخم گذار و تولید تخم پرداخته اند، اما نتایج متفاوت و متنوع در مورد سودمندی اشکال معدنی و آلی روی موجب شد تا به بررسی و مقایسه عملکرد مرغ های تخم گذار و ذخایر روی در بافت های بدن و تخم مرغ مرغ های تخم گذار لگهورن در مرحله آخر تخم گذاری پرداخته شود.

مواد و روش ها

این آزمایش روی ۱۷۵ قطعه مرغ تخم گذار لگهورن سفید سویه های لاین w³⁶ در سن ۸۰ هفتگی به مدت ۱۲ هفته در محل مرغداری تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرستان کاشمر استان خراسان رضوی انجام گرفت. مرغ ها به هفت تیمار آزمایشی با پنج تکرار و پنج قطعه مرغ در هر تکرار تقسیم شدند. مرغ ها با وزن های یکسان در قفس های سیمی در سه طبقه با حداکثر دمای ۲۵°C، رطوبت ۲۶٪ و دوره روشنایی ۱۶ ساعته نگهداری می شدند. در طول آزمایش آب و خوراک آزادانه در اختیار مرغ ها قرار داشت. تیمارهای آزمایشی استفاده شده در این آزمایش عبارت اند از تیمار یک: شاهد (جیره پایه)، تیمار دو: جیره پایه + میلی گرم در کیلوگرم (mg/kg) ۱۵ سولفات روی، تیمار سه: جیره پایه + ۳۰ mg/kg سولفات روی، تیمار چهار: جیره پایه + ۴۵ mg/kg سولفات روی، تیمار پنج: جیره پایه + ۱۵ mg/kg روی آلی، تیمار شش: جیره پایه + ۳۰ mg/kg روی آلی، تیمار هفت: جیره پایه + ۴۵ mg/kg روی آلی. شایان ذکر است که در این آزمایش سولفات روی پنج آبه (۳۴/۱۲٪ روی) به عنوان مکمل معدنی و از زینک پرو (کمپلکس پروتئین- روی، ۱۲٪ روی، سندام پارس، ایران) به عنوان مکمل روی آلی استفاده شد. ترکیبات جیره پایه در جدول ۱ آمده است.

صفات عملکردی

در طول آزمایش مصرف خوراک روزانه (گرم)، تعداد و تولید تخم مرغ (day/hens/g) و ضریب تبدیل خوراک محاسبه شد. مصرف خوراک

جدول ۱- اجزا و ترکیبات جیره پایه

ماده خوراکی	درصد (%)
ذرت	۵۳
سویا	۲۵
کربنات کلسیم	۱۰
روغن گیاهی	۱۴
سیوس گندم	۶
دی کلسیم فسفات	۲.۲
نمک	۰.۲۵
جوش شیرین	۰.۱۵
مکمل ویتامینه*	۰.۲۵
مکمل معدنی**	۰.۲۵
دی آل متیونین	۰.۲
لازین	۰.۱
تحلیل محاسباتی جیره	
انرژی قابل متابولیسم (kcal/kg)	۲۸۱۰
پروتئین خام (درصد)	۱۵.۱۵
کلسیم (درصد)	۴.۶۵
فسفر در دسترس (درصد)	۰.۴
سدیم (درصد)	۰.۱۸
متیونین (درصد)	۰.۳۸
متیونین - سیستئین (درصد)	۰.۶۵
لازین (درصد)	۰.۸
آرژنین (درصد)	۰.۹
ترئونین (درصد)	۰.۵۹

* ترکیب مکمل ویتامینه برای هر kg جیره شامل: ۳۲۰۰۰۰۰ g/kg ویتامین A، ۱۳۲۰۰۰۰ g/kg ویتامین D_۳، ۸۰۰۰ g/kg ویتامین E، ۱۰۰۰ mg/kg ویتامین K_۱، ۱۰۰۰ mg/kg ویتامین B_۱، ۲۲۰۰ mg/kg ویتامین B_۲، ۳۲۰۰ mg/kg ویتامین کالبان، ۱۲۰۰۰ mg/kg نیاسین، ۱۶۰۰ mg/kg B_۶، ۳۶۰ mg/kg B_{۱۲}، ۳۰ mg/kg بیوتین، ۴۴۰۰۰ mg/kg کولین، آنتی اکسیدان ۳۰۰۰ mg/kg.

** مکمل معدنی بدون روی برای هر کیلوگرم جیره پایه شامل: ۳۶۰۰۰۰ mg منگنز، ۳۲۰۰۰ mg مس، ۴۸۰۰ mg ید، ۸۸ mg سلنیوم، ۱۶۰۰۰ mg آهن. میزان روی جیره پایه اندازه گیری شده در آزمایشگاه ۶۳/۵۸ mg/kg به دست آمد.

روزانه هر تیمار، با اندازه گیری باقی مانده خوراک مصرفی در روز بعد و کسر آن از مقدار کل خوراک در نظر گرفته شده برای هر تیمار (حدود سه کیلوگرم در روز) محاسبه شد. وزن تخم مرغ با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ اندازه گیری می شد. درصد (%) تولید، وزن تخم مرغ و ضریب تبدیل خوراک با استفاده از فرمول های زیر به دست آمد.

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

Pd: درصد (%) تولید روزانه

Te: تعداد تخم مرغ هر واحد آزمایشی

n: تعداد مرغ هر واحد آزمایشی

وزن تخم مرغ

$$EW = EWT/n$$

EW: میانگین وزن تخم مرغ روزانه

EWT: وزن کل تخم مرغ هر واحد آزمایشی

n: تعداد تخم مرغ تولیدی هر واحد آزمایشی

ضریب تبدیل

$$FCR = FI/Em$$

FCR: ضریب تبدیل خوراک هر واحد آزمایشی

FI: مصرف خوراک هر واحد آزمایشی

Em: توده تخم مرغ هر واحد آزمایشی (درصد (%)) تولید ضربدر

میانگین وزن تخم مرغ تقسیم بر ۱۰۰)

اثرات آنتی اکسیدانی

به منظور بررسی وضعیت آنتی اکسیدانی، در هر تکرار دو قطعه پرنده انتخاب و بعد از خون گیری، ۱۰ CC خون لخته شده را برای جداسازی سرم با دور ۳۰۰۰ در دقیقه و مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ انجام شد. فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز (SOD) سرم با استفاده از کیت تشخیصی رانسل (راندوکس، کروملین، انگلستان) در آزمایشگاه بخش خصوصی با روش برادفورد در طول موج ۵۹۵ نانومتر ارزیابی شد.

سیستم ایمنی

به منظور بررسی ایمنی همورال از آنتی ژن گلبول قرمز گوسفندی (SRBC) استفاده و پاسخ ایمنی علیه آن با اندازه گیری میزان ایمنوگلوبولین های سرم بررسی شد. به این منظور ۲۰ CC میلی لیتر

استفاده شده 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 و e_{ij} اثر خطای آزمایشی است.

نتایج

اثرات سطوح افزایشی مکمل معدنی و آلی روی بر صفات عملکردی مرغ های تخم گذار مسن در جدول دو گزارش شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، مصرف خوراک، تعداد تخم مرغ، وزن تخم مرغ، توده تخم مرغ و ضریب تبدیل به طور معناداری ($P < 0.05$) تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. به طوری که کمترین میزان مصرف خوراک در تیمار شاهد مشاهده شد و با افزودن مکمل معدنی و آلی میزان مصرف خوراک به طور معناداری ($P < 0.05$) افزایش یافت. همچنین تعداد تخم مرغ در تیمار شاهد کمترین و در تیمار چهار که حاوی 54 mg/kg سولفات روی است بیشترین مقدار تعداد تخم مرغ مشاهده شد. وزن تخم مرغ در تیمار شاهد کمترین و در تیمارهای چهار، پنج، شش و هفت بیشتر از سایر تیمارها بود. به علاوه در توده تخم مرغ تیمار شاهد کمترین و تیمارهای پنج و شش بیشتر از سایر تیمارها بود. همچنین زمانی که مکمل های معدنی و آلی روی به جیره مرغ ها افزوده شد ضریب تبدیل خوراک به طور معناداری ($P < 0.05$) بهبود یافت و بیشترین آن در تیمار شاهد و در تیمارهای

چهار، پنج، شش و هفت کمتر از سایر تیمارها بود

اثرات سطوح افزایشی مکمل معدنی و آلی روی بر شاخص آنتی اکسیدانی سرم خون مرغ های تخم گذار مسن در جدول ۳ گزارش شده است. نتایج نشان داد که تیمارهای آزمایشی باعث افزایش معنادار ($P < 0.05$) سطح سوپراکسید دسموتاز سرمی می شود. اثرات سطوح افزایشی مکمل معدنی و آلی روی بر میزان گلوبولین های سرم خون مرغ های تخم گذار مسن در جدول ۴ گزارش شده است. نتایج نشان داد که ایمنوگلوبولین های G و M به طور معناداری ($P < 0.05$) تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند، به طوری که تیمار شاهد و تیمار پنج که حاوی 15 mg/kg روی آلی بود بیشترین مقدار را نسبت به سایر تیمارها به خود اختصاص دادند.

اثرات سطوح افزایشی مکمل معدنی و آلی روی بر ذخایر روی در بافت های بدن در مرغ های تخم گذار مسن در جدول ۵ گزارش شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، میزان ذخیره روی در

خون گوسفند تهیه و در لوله حاوی EDTA پنج درصد ریخته شد. گلوبول های قرمز سه مرتبه با بافر نمکی فسفات (PBS) شسته شدند و در نهایت یک محلول پنج درصد از گلوبول قرمز در بافر نمکی فسفات تهیه شد و یک هفته قبل از کشتار و اتمام طرح، از هر تکرار دو قطعه مرغ انتخاب و به آن ها محلول مورد نظر تزریق شد و مرغ ها با رنگ نشانه گذاری شدند. در روز کشتار از هر قطعه مرغ انتخابی، 10 CC خون گرفته شد و برای اندازه گیری ایمنوگلوبولین ها به آزمایشگاه بخش خصوصی فرستاده و ایمنوگلوبولین های G و M (IgM , IgG) به روش تست آزمایش خون اندازه گیری شد.

زیست فراهمی روی

به منظور بررسی میزان زیست فراهمی روی در پایان دوره آزمایش از هر تکرار دو قطعه پرند انتخاب و از هر مرغ 10 CC خون در هنگام کشتار گرفته شد. قبل از کشتار تمامی مرغ های آزمایشی به مدت ۱۰ ساعت به حالت ناشتا نگهداری شدند تا صحت و دقت اندازه گیری های فاکتورهای خونی بالا رود و برای جداسازی سرم با سانتریفیوژ دور 3000 در دقیقه و مدت ۱۰ دقیقه سرم نمونه ها گرفته شد و تا زمان آنالیز در دمای 20°C نگهداری شدند. همچنین به منظور بررسی میزان روی در استخوان، استخوان درشت نی راست مرغ ها جدا شد و بعد از جداسازی بخش های نرم، استخوان درشت نی در آون به مدت 24 h خشک شد، سپس برای تهیه خاکستر در کوره با دمای 550°C قرار داده شدند. به منظور تعیین میزان روی، نمونه خون، استخوان درشت نی، تخم مرغ و کبد از هر تکرار دو نمونه انتخاب و برای اندازه گیری به آزمایشگاه جوانه خراسان منتقل شدند و به روش طیفسنجی جذب اتمی (24) میزان روی نمونه ها اندازه گیری شد. میزان روی سرم و دیگر بافت ها با استفاده از دستگاه طیفسنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry) (شرکت واریان، آمریکا) در آزمایشگاه پرتو آزمون جوانه خراسان اندازه گیری شد.

تحلیل داده ها

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

جدول ۲- اثرات سطوح افزایشی مکمل معدنی و آلی روی بر صفات عملکردی مرغ‌های تخم‌گذار مسن

تیمارها	مصرف خوراک (gr)	تعداد تخم‌مرغ	وزن تخم‌مرغ (gr)	توده تخم‌مرغ (gr)	ضریب تبدیل
۱	۱۰۷/۵۶ ^b	۱۵/۶۶ ^b	۶۵/۳۸ ^b	۴۰/۹۷ ^a	۲/۶۲ ^a
۲	۱۰۸/۷۸ ^a	۱۶/۳۳ ^{ab}	۶۶/۴۰ ^{ab}	۴۳/۳۷ ^{ab}	۲/۵۱ ^{ab}
۳	۱۰۸/۶۸ ^{ab}	۱۶/۱۶ ^{ab}	۶۶/۵۹ ^{ab}	۴۳/۰۶ ^{ab}	۲/۵۲ ^{ab}
۴	۱۰۹/۳۲ ^a	۱۸ ^a	۶۷/۴۵ ^a	۴۵/۵۸ ^{ab}	۲/۲۶ ^b
۵	۱۰۹/۴۳ ^a	۱۷/۵۰ ^{ab}	۶۷/۹۲ ^a	۴۷/۵۹ ^a	۲/۳۲ ^b
۶	۱۰۹/۰۲ ^a	۱۷/۵۰ ^{ab}	۶۸/۳۶ ^a	۴۷/۸۸ ^a	۲/۳۰ ^b
۷	۱۰۸/۹۲ ^a	۱۶/۱۷ ^{ab}	۶۸/۴۰ ^a	۶۴/۹۷ ^{ab}	۲/۳۲ ^b
SEM	۰/۲۷۴	۰/۴۸۴	۰/۳۸۸	۱/۴۲	۰/۰۶۵
P-value	>۰/۰۰۹	>۰/۰۱۵۱	>۰/۰۰۰۱	>۰/۰۰۲۳	>۰/۰۰۱۲

a,b میانگین‌های با حرف غیرمشابه در هر ستون، از نظر آماری تفاوت معناداری دارند ($P<0.05$). SEM: میانگین خطای معیار. تیمار یک: شاهد (جیره پایه)، تیمار دو: جیره پایه + ۱۵mg/kg سولفات روی، تیمار سه: جیره پایه + ۳۰mg/kg سولفات روی، تیمار چهار: جیره پایه + ۴۵mg/kg سولفات روی، تیمار پنج: جیره پایه + ۱۵gm/kg روی آلی، تیمار شش: جیره پایه + ۳۰mg/kg روی آلی، تیمار هفت: جیره پایه + ۴۵mg/kg روی آلی سولفات روی، تیمار هشت: جیره پایه + ۴۵mg/kg روی آلی. تیمار شش: جیره پایه + ۳۰mg/kg روی آلی، تیمار هفت: جیره پایه + ۴۵mg/kg روی آلی.

جدول ۳- اثرات سطوح افزایشی مکمل معدنی و آلی روی بر شاخص آنتی‌اکسیدانی سرم خون مرغ‌های تخم‌گذار مسن.

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

a,b میانگین‌های با حرف غیرمشابه، از نظر آماری تفاوت معناداری دارند ($P<0.05$). تیمار یک: شاهد (جیره پایه)، تیمار دو: جیره پایه + ۱۵mg/kg سولفات روی، تیمار سه: جیره پایه + ۳۰mg/kg سولفات روی، تیمار چهار: جیره پایه + ۴۵mg/kg سولفات روی، تیمار پنج: جیره پایه + ۱۵mg/kg روی آلی، تیمار شش: جیره پایه + ۳۰mg/kg روی آلی، تیمار هفت: جیره پایه + ۴۵mg/kg روی آلی. SEM: انحراف معیار میانگین.

پوسته تخم‌مرغ تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت، اما میزان ذخایر روی در استخوان، زرده تخم‌مرغ، سرم خون و کبد به‌طور معناداری ($P<0.05$) تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند، به‌طوری که ذخایر روی در استخوان و زرده تخم‌مرغ با افزودن مکمل معدنی و آلی به‌طور معناداری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. همچنین ذخیره روی در سرم خون در تیمار شاهد کمترین و در تیمارهای چهار و هفت که به‌ترتیب حاوی ۴۵mg/kg سولفات روی و ۴۵mg/kg روی آلی بودند مقدار بالاتر را به خود اختصاص دادند. به‌علاوه ذخیره روی در کبد در تیمار شاهد کمترین میزان و در تیمارهای دو و چهار مقدار بالاتر گزارش شد.

بحث

روی نقش مهمی در مصرف خوراک، عملکرد تولید، سنتز پروتئین و متابولیسم کربوهیدرات‌ها به عنوان کوفاکتور ایفا می‌کند (۲۵). مطابق با نتایج این آزمایش، پژوهشگران نشان دادند که استفاده از نانواکسید روی در جیره مرغ‌های تخم‌گذار باعث بهبود تولید تخم‌مرغ می‌شود (۲۶). میزان ۸۰mg/kg مکمل نانواکسید روی باعث افزایش عملکرد و توده تخم‌مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار شده است (۲۷). همچنین

جدول ۴- اثرات سطوح افزایشی مکمل معدنی و آلی روی بر میزان گلوبولین‌های سرم خون مرغ‌های تخم‌گذار مسن

	تیمار ۱	تیمار ۲	تیمار ۳	تیمار ۴	تیمار ۵	تیمار ۶	تیمار ۷	P-value	SEM
IgG	^a ۲۳۲/۳۰	^b ۲۲۹/۷۰	^b ۱۴۵/۳۰	^b ۲۱۳/۸۰	^a ۲۳۶/۱۰	^b ۱۷۵/۱۰	^b ۱۴۸	>۰/۰۰۰۱	۰/۵۵
IgM	^a ۹۵/۱۰	^b ۹۳	^b ۶۱	^b ۸۶/۴۰	^a ۹۶/۸۰	^b ۷۳/۳۰	^b ۶۱/۱۰	>۰/۰۰۰۱	۰/۴۹

a,b میانگین‌های با حرف غیرمشابه در هر ردیف، از نظر آماری تفاوت معناداری دارند ($P<0.05$). تیمار یک: شاهد (جیره پایه)، تیمار دو: جیره پایه + ۱۵mg/kg سولفات روی، تیمار سه: جیره پایه + ۳۰mg/kg سولفات روی، تیمار چهار: جیره پایه + ۴۵mg/kg سولفات روی، تیمار پنج: جیره پایه + ۱۵mg/kg روی آلی، تیمار شش: جیره پایه + ۳۰mg/kg روی آلی، تیمار هفت: جیره پایه + ۴۵mg/kg روی آلی. SEM: انحراف معیار میانگین.

جدول ۵- اثرات سطوح افزایشی مکمل معدنی و آلی روی بر ذخایر روی در بافت‌های بدن مرغ‌های تخم‌گذار مسن

تیمارها	کبد	سرم خون	پوسته تخم‌مرغ	زرده تخم‌مرغ	استخوان
۱	^b ۸۳/۴۶	^b ۶/۴۷	۰/۵۶	^b ۱۷/۳۵	^b ۱۷۳/۳۸
۲	^a ۱۱۱/۵۱	^a ۶/۹۴	۰/۵۷	^{ab} ۲۹/۵۰	^a ۲۱۳/۹۷
۳	^{ab} ۸۱/۶۳	^{ab} ۷/۳۴	۰/۶۳	^a ۴۰/۵۸	^a ۲۱۶/۴۵
۴	^a ۱۳۷/۹۹	^a ۵/۳۸	۰/۵۶	^a ۵۴/۲۳	^a ۲۰۵/۰۲
۵	^{ab} ۱۰۱/۲۸	^{ab} ۶/۹۳	۰/۶۱	^a ۴۶/۱۹	^a ۲۳۶/۲۳
۶	^{ab} ۷۴/۳۹	^{ab} ۶/۱۶	۱/۰۱	^a ۳۷/۵۸	^a ۱۹۳/۱۵
۷	^{ab} ۶۴/۶۱	^a ۷/۳۶	۱/۱۸	^a ۶۵/۲۷	^a ۲۱۰/۰۴
SEM	۵/۱۱	۰/۲۰	۰/۲۰	۳/۰۸	۳/۵۶

a,b میانگین‌های با حرف غیرمشابه در هر ستون، از نظر آماری تفاوت معناداری دارند ($P<0.05$). تیمار یک: شاهد (جیره پایه)، تیمار دو: جیره پایه + ۱۵mg/kg سولفات روی، تیمار سه: جیره پایه + ۳۰mg/kg سولفات روی، تیمار چهار: جیره پایه + ۴۵mg/kg سولفات روی، تیمار پنج: جیره پایه + ۱۵mg/kg روی آلی، تیمار شش: جیره پایه + ۳۰mg/kg روی آلی، تیمار هفت: جیره پایه + ۴۵mg/kg روی آلی. SEM: انحراف معیار میانگین.

باعث افزایش وزن تخم‌مرغ می‌شود (۲۶). در پژوهش دیگری که درباره مرغ‌های تخم‌گذار لوهمن انجام گرفت، نتایج نشان داد که افزودن ۴۰mg/kg مکمل روی باعث کاهش ضریب تبدیل خوراک و افزایش وزن تخم‌مرغ و توده تخم‌مرغ نسبت به گروه شاهد شده است (۳۱). ازسوی دیگر، مطالعات کمی نشان داد که زمانی که به جیره مکمل روی اضافه شود ضریب تبدیل خوراک کاهش می‌یابد که این تفاوت در نتایج به دلیل روش‌های مختلف آزمایش یا شرایط محیطی متفاوت است (۲۶). مکمل نانوروی به میزان ۸۰mg/kg جیره مرغ‌های تخم‌گذار قهوه‌ای باعث افزایش معنادار میانگین مصرف خوراک نسبت به تیمار شاهد می‌شود (۳۱). همچنین در مطالعه مشابهی بیان شد که افزودن مکمل ۱۲۰mg/kg نانوروی به جیره

بیان شد که تیمار حاوی ۸۰mg/kg متیونین- روی در جیره باعث افزایش مصرف خوراک و وزن تخم‌مرغ می‌شود (۲۸). علاوه بر این در پژوهش دیگری نشان داده شد که افزودن مکمل روی به میزان ۳۵mg/kg در جیره مرغ‌های تخم‌گذار باعث افزایش تولید تخم‌مرغ و عملکرد نسبت به تیمار شاهد می‌شود (۲۹). همچنین گزارش شد که افزودن ۴۰mg/kg مکمل روی در جیره جوجه‌های گوشتی نر در سن ۱ تا ۲۱ روزگی عملکرد را به طور چشمگیری بهبود بخشید (۳۰). به علاوه افزودن مکمل نانوآکسید روی به میزان ۰/۴mg و ۰/۸mg در kg در جیره مرغ‌های تخم‌گذار HyLine W36 باعث افزایش معنادار توده تخم‌مرغ و مصرف خوراک در مقایسه با تیمار شاهد شد (۲۷). افزودن مکمل روی در سطوح مختلف در جیره مرغ‌های تخم‌گذار

روی و متیونین - روی باعث بهبود سیستم ایمنی می‌شوند (۳۸). همچنین در مطالعات مشابهی با بررسی اثرات شکل و غلظت روی جیره در جوجه‌های گوشتی نشان دادند که 120 mg/kg مکمل روی باعث بهبود سیستم ایمنی از طریق تولید سیتوکین شد (۴۳). همچنین مکمل روی - پلی‌ساکارید یا نانوذرات روی باعث بهبود ایمنی سلولی و همورال در جوجه‌های گوشتی می‌شود و وزن اندام‌های لنفاوی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴۱)، که احتمالاً این بهبود به دلیل افزایش فعالیت تیموس، افزایش بلوغ لنفوسیت‌های T و فعال شدن لنفوسیت‌های B است (۴۴). از طرفی روی برای رشد طبیعی لنفوسیت‌ها نیز لازم است (۴۵). از آنجا که متابولیسم سلولی نیز بر سیستم ایمنی تأثیر می‌گذارد (۴۱)، روی در متابولیسم همه سلول‌های بدن نقش ایفا می‌کند (۴۶).

افزودن مقدار $60 \mu\text{g/g}$ روی به جیره مرغ‌ان تخم‌گذار باعث افزایش معنادار غلظت روی زرده تخم‌مرغ شد (۴۷). همچنین گزارش شده که افزودن 80 mg/kg نانوآکسید روی به جیره مرغ‌ان تخم‌گذار در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور چشمگیری باعث افزایش غلظت روی سرم شد (۳۱). به‌علاوه پژوهشگران در مطالعه مشابهی بیان کردند که افزودن 40 mg/kg ، 80 و 120 نانوآکسید روی به جیره مرغ‌های تخم‌گذار در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنادار غلظت روی سرم خون شد (۳۸). پژوهشگران بیان کردند که افزودن 140 mg/kg منابع مختلف روی (اکسید روی، سولفات روی، کربنات روی و پروتئین روی) در جیره مرغ‌های تخم‌گذار به‌طور معناداری غلظت روی پلاسما را افزایش داد (۴۸). علاوه بر این پژوهش‌ها، مشخص شد افزودن مکمل روی به جیره باعث افزایش معنادار غلظت روی پلاسما در مقایسه با تیمار شاهد می‌شود (۳۱). همچنین بیان شد که منبع آلی روی نسبت به روی معدنی زیست‌فراهمی بیشتری دارند (۳۹).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده هر دو منبع عنصر روی باعث بهبود ضریب تبدیل خوراک، عملکرد، سیستم ایمنی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، زیست‌فراهمی و غنی‌سازی تخم‌مرغ در مرغ‌ان تخم‌گذار لگهورن (W336) در مرحله آخر تولید می‌شوند، اما منبع آلی مؤثرتر از منبع معدنی است و سطح قابل توصیه این آزمایش استفاده از 45 mg/kg منبع آلی و معدنی عنصر است.

مرغان تخم‌گذار به‌طور معناداری باعث افزایش مصرف خوراک می‌شود (۳۲). پژوهشگران در پژوهشی که به‌منظور بررسی اثرات مکمل‌های غذایی ویتامین C و سولفات روی در مرغ‌های تخم‌گذار پرورش‌یافته در شرایط تنش سرما انجام شد بیان کردند که جیره حاوی روی در مرغ تخم‌گذار باعث افزایش وزن تخم‌مرغ و توده تخم‌مرغ و همچنین کاهش ضریب تبدیل خوراک می‌شود (۳۳). همچنین افزودن نانوروی به جیره مرغ‌های تخم‌گذار باعث افزایش تولید تخم‌مرغ و توده تخم‌مرغ و بهبود ضریب تبدیل خوراک می‌شود (۳۴). از طرفی این بهبود عملکرد به‌وسیله عنصر روی ممکن است به دلیل اثر حفاظتی آن بر پانکراس باشد (۳۵) و همچنین عنصر روی باعث بهبود عملکرد لوزالمعده و بهبود در ترشح آنزیم‌های گوارشی و در نتیجه بهبود قابلیت هضم مواد مغذی می‌شود (۳۳). به‌علاوه افزایش تولید تخم‌مرغ به این دلیل است که روی در سنتز و ترشح هورمون‌های LH و FSH نقش مهمی دارد (۳۶).

افزودن مکمل نانوروی (۳۷) و مکمل روی (۱۷) به جیره باعث بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود. نتایج بررسی تأثیر نانوذرات اکسید روی و مکمل روی - متیونین بر فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در مرغ‌های تخم‌گذار در اواخر مرحله تولید نشان داد که پرندگان که جیره آن‌ها حاوی مکمل نانوذرات روی و متیونین - روی بودند فعالیت SOD بیشتری در کبد، پانکراس و پلاسما در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایشی داشتند (۳۸). به‌علاوه استفاده از دو منبع روی که شامل روی آلی (اسید آمینه - روی) و سولفات روی به‌عنوان منبع معدنی روی در دو سطح 35 mg/kg و 70 در جیره مرغ‌های تخم‌گذار در تیمارهای دریافت‌کننده روی باعث افزایش غلظت سوپراکسید دیسموتاز و بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شد (۳۹). بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به این دلیل است که عنصر روی کوفاکتور آنزیم اصلی آنتی‌اکسیدانی است (۳۳)؛ و اثرات مثبتی بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی دارد (۴۰). روی در پرندگان باعث مهار رادیکال‌های آزاد و حفاظت سلول‌ها در برابر آسیب اکسیداتیو با کاهش تشکیل OH از H_2O_2 می‌شود (۴۱). استفاده از سطوح 20% و 24% روی سبب افزایش معنادار فعالیت آنزیم SOD در جوجه‌های بلدرچین نیز شده است (۴۲).

روی ماده معدنی‌ای است که در پرندگان باعث تعدیل سیستم ایمنی می‌شود (۴۱)، به‌طوری که تیمارهای تغذیه‌شده با مکمل نانوذرات

ing the environment and poultry product quality. *Poult Sci*, 2018; 74(2):225-238. doi.org/10.1017/S0043933918000016

12. Gaffney-Stomberg E, Stomberg E. The impact of trace minerals on bone metabolism. *Biol Trace Elem Res*, 2019; 188(1):26-34. doi.org/10.3389/fphar.2017.00077

13. Zita L, Tůmová E, Štolc L. Effects of genotype, age and their interaction on egg quality in brown-egg laying hens. *Geospat Health*, 2009; 78(1):85-91. doi.org/10.2754/avb200978010085

14. El-Katcha M, Soltan MA, El-Badry M. Effect of Dietary Replacement of Inorganic Zinc by Organic or Nanoparticles Sources on Growth Performance, Immune Response and Intestinal Histopathology of Broiler Chicken. *Vet Med Sci*, 2017; 55(2). DOI: 10.5455/ajvs.266925

15. Rodríguez-Navarro AB, Marie P, Nys Y, Hincke M T, Gautron J. Amorphous calcium carbonate controls avian eggshell mineralization: a new paradigm for understanding rapid eggshell calcification. *Acta Crystallogr D Struct Biol*, 2015; 190(3):291-303. doi.org/10.1016/j.jsb.2015.04.014

16. Supuran CT. Carbon-versus sulphur-based zinc binding groups for carbonic anhydrase inhibitors?. *J Enzyme Inhib Med Chem*, 2018;33(1):485-495. doi.org/10.1080/14756366.2018.1428572

17. Liu ZH, Lu L, Wang RL, Lei HL, Li SF, Zhang LY, Luo XG. Effects of supplemental zinc source and level on antioxidant ability and fat metabolism-related enzymes of broilers. *Br Poult Sci*, 2015; 94(11):2686-2694. doi.org/10.3382/ps/pev251

18. Hoang BX, Han B, Shaw DG, Nimni M. Zinc as a possible preventive and therapeutic agent in pancreatic, prostate, and breast cancer. *Eur J Cancer Prev*, 2016; 25(5):457-461. DOI: 10.1097/CEJ.0000000000000194

19. Liu ZH, Lu L, Li SF, Zhang LY, Xi L, Zhang KY, Luo XG. Effects of supplemental zinc source and level on growth performance, carcass traits, and meat quality of broilers. *Br Poult Sci*, 2011; 90(8):1782-1790. doi.org/10.3382/ps.2010-01215

20. Attia YA, Abd Al-Hamid A E, Zeweil H S, Qota EM, Bovera F, Monastra G, Sahledom MD. Effect of dietary amounts of inorganic and organic zinc on productive and physiological traits of White Pekin ducks. *Animal Model Exp Med*, 2013; 7(6):895-900. doi.org/10.1017/S1751731113000050

21. Hussan F, Krishna D, Preetam VC, Reddy PB, Gurram S. Dietary supplementation of nano zinc oxide on performance, carcass, serum and meat quality parameters of commercial broilers. *Biol Trace Elem Res*, 2022; 200(1):348-353. DOI:10.1007/s12011-021-02635-z

22. Ligas B, Izydorczyk G, Mikula K, Skrzypczak D, Konkol D, Korczyński M, Witek-Krowiak A, Chojnacka K. Valorization of postextraction residues—analysis of the influence of new feed additives with micronutrients on eggs quality parameters. *Br Poult Sci*, 2021; 100(11):101416.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند هیچ‌گونه تعارض منافی وجود ندارد.

منابع

1. Zita LM, Okrouhlá O, Krunt A, Kraus L, Stádník J, Čítek R. Changes in Fatty Acids Profile, Health Indices, and Physiological Characteristics of Organic Eggs from Laying Hens at the Beginning of the First and Second Laying Cycles. *Animal*, 2022; 12(1):125. doi.org/10.3390/ani12010125
2. Malheiros RD, Moraes KE, Anderson FLS, Castro JE, Ferrel. Influence of dietary dacitic tuff breccia on laying hen performance and egg quality parameters and bone structure at 85 weeks of age after a non-anorexic molt program at 73 to 77 weeks. *Poult Sci*, 2022; P.101718. doi.org/10.1016/j.psj.2022.101718
3. Conway A. Global egg consumption to rise worldwide through. *Worlds Poult Sci J*, 2024; 2015; 23. doi.org/10.1079/WPS20010005
4. Rey AIA, De-Cara A, Rebolé D, I Arija. Short-Term Spirulina (*Spirulina platensis*) Supplementation and Laying Hen Strain Effects on Eggs' Lipid Profile and Stability. *Animal*, 2021; 11(7):1944. doi.org/10.3390/ani11071944
5. Kraus AL, Zita O, Krunt H, Härtlová B, Chmelíková E. Determination of selected biochemical parameters in blood serum and egg quality of Czech and Slovak native hens depending on the housing system and hen age. *Poult Sci*, 2021; 100(2):1142-1153. doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.039
6. Abo Ghanima M M, Elsadek A E, Taha A El-Hack, Mohamed M. Alagawany B M, Ahmed M M, Elshafie K, El-Sabrou. Effect of housing system and rosemary and cinnamon essential oils on layers performance, egg quality, haematological traits, blood chemistry, immunity, and antioxidant. *BRIT Poult Sci*, 2020; 10(2):245. doi.org/10.3390/ani10020245
7. Huopalahti R, López FR, Anton M, Schade R. Bioactive Egg Compounds; Springer: Neurosurg Rev, 2007; 298p. log in via an institution
8. Spears JW. Reevaluation of the metabolic essentiality of the minerals-Review. *Animal Model Exp Med*, 1999; 12(6):1002-1008. doi.org/10.5713/ajas.1999.1002
9. Soetan KO, Olaiya CO, Oyewole OE. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants-A review. *J Food Drug Anal*, 2010; 4(5):200-222.
10. Richards JD, Zhao J, Harrell RJ, Atwell CA, Dibner JJ. Trace mineral nutrition in poultry and swine. *Animal Model Exp Med*, 2010; 23(11):1527-1534. https://doi.org/10.5713/ajas.2010.r.07
11. Nys YN, Schlegel S, Durosoy CDurosoy C, Jondreville A. Adapting trace mineral nutrition of birds for optimis-

23. Schiavone A, Barroeta AC. Egg enrichment with vitamins and trace minerals. In Improving the safety and quality of eggs and egg products. Int J Prison Health. 2011; pp. 289-320. doi.org/10.1533/9780857093929.3.289
24. AOAC International. Official Methods of Analysis. 15th ed. AOAC Int., Arlington, VA. 1995.
25. Salim HM, Jo C, Lee BD. Zinc in broiler feeding and nutrition. Cancer Res Commun, 2008; 1(1):5-18. doi.org/10.3184/175815508X334
26. Fawaz MA, Südekum KH, Hassan HA, Abdel-Wareth AA. Effects of nanoparticles of zinc oxide on productive performance of laying hens—a review. J Environ Sci Health B, 2019; 1(1):13-20. DOI: 10.21608/svuijas.2019.67076
27. Abedini M, Shariatmadari F, Torshizi MK, Ahmadi H. Effects of a dietary supplementation with zinc oxide nanoparticles, compared to zinc oxide and zinc methionine, on performance, egg quality, and zinc status of laying hens. Top Companion Anim Med, 2017; 203:30-36. doi.org/10.1016/j.livsci.2017.06.010
28. Li LL, Gong YJ, Zhan HQ, Zheng YX, Zou XT. Effects of dietary Zn-methionine supplementation on the laying performance, egg quality, antioxidant capacity, and serum parameters of laying hens. Br Poult Sci, 2019; 98(2):923-931. doi.org/10.3382/ps/pey440
29. Gerzilov V, Bozakova N, Petrov P. Influence of dietary zinc and vitamin c supplementation on some blood biochemical parameters and egg production in free-range laying hens. Recent Adv Food Nutr Agric, 2015; 16(1). DOI:10.5513/JCEA01/16.1.1566
30. Rao SR, Prakash B, Raju MV, Panda AK, Kumari RK, Reddy EPK. Effect of supplementing organic forms of zinc, selenium and chromium on performance, anti-oxidant and immune responses in broiler chicken reared in tropical summer. Biol Trace Elem Res, 2016; 172(2):511-520. DOI: 10.1007/s12011-015-0587-x
31. Torki M, Akbari M, Kaviani K. Single and combined effects of zinc and cinnamon essential oil in diet on productive performance, egg quality traits, and blood parameters of laying hens reared under cold stress condition. Int J Biometeorol, 2015; 59(9):1169-1177. DOI:10.1007/s00484-014-0928-z
32. Ahmadi F, Ebrahimnezhad Y, Sis NM, Ghiasi J. The effects of zinc oxide nanoparticles on performance, digestive organs and serum lipid concentrations in broiler chickens during starter period. Int J Biosci, 2013; 3(7):23-29. http://dx.doi.org/10.12692/ijb/3.7.23-29
33. Rajabi M, Torki M. Effect of dietary supplemental vitamin C and zinc sulfate on productive performance, egg quality traits and blood parameters of laying hens reared under cold stress condition. Animal Model Exp Med, 2021; 49(1):309-317. doi.org/10.1080/09712119.2021.1949999
34. Ayoup W, Tawfeek M, Rashwan A, Abd El Rahim M, Bealish A. Impact of feed restricted system and zinc forms on some productive performance traits, egg quality parameters and economic efficiency of mandarah laying hens. Animal Model Exp Med, 2021; 26(4):1017-1031. DOI:10.21608/jpd.2021.207605
35. Onderci M, Sahin, N, Sahin, K, Kilic N. Antioxidant properties of chromium and zinc: in vivo effects on digestibility, lipid peroxidation, antioxidant vitamins, and some minerals under a low ambient temperature. Biol Trace Elem Res, (2003). 92, 139-149. doi: 10.1385/BTER:92:2:139.
36. Bedwal RS, Bahuguna A. Zinc, copper and selenium in reproduction. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 1994; 50(7):626-640. DOI: 10.1007/BF01952862
37. Ahmadi F, Ebrahimnezhad Y, Ghalehkandi JG, Sis NM. The effect of dietary zinc oxide nanoparticles on the antioxidant state and serum enzymes activity in broiler chickens during starter stage. In International Conference on Biological, Civil and Environmental Engineering. Dubai. 2014; PP. 26-28. DOI:10.15242/iicbe.c0314120
38. Abedini M F, Shariatmadari MA, Ahmadi H. 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. J Anim Physiol Anim Nutr (Berl), 2018;102(3):736-745. doi.org/10.1111/jpn.12871
39. Yu Q, Liu H, Yang K, Tang X, Chen S, Ajuwon KM, Degen A, Fang R. 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. Br Poult Sci, 2020; 99(11):6233-6238. doi.org/10.1016/j.psj.2020.06.029
40. Zhang Y, Deng Y, Jin Y, Zhuang Z, Huang X, Li K, Wang S, Xia W, Ruan D, Wang S, Zheng C. Dietary zinc supplementation affects eggshell quality and ultrastructure in commercial laying ducks by influencing calcium metabolism. Br Poult Sci, 2022; 101(1):101539. doi.org/10.1016/j.psj.2021.101539
41. Mao SY, Lien TF. Effects of nanosized zinc oxide and γ -polyglutamic acid on eggshell quality and serum parameters of aged laying hens. Arch Anim Nutr, 2017; 71(5):373-383. doi.org/10.1080/1745039X.2017.1355600
42. Elsayed A, Abol-Ela A, Askar SS, Mohamed AA, El-Sayed LA, Ahmed SA, Alagawany M. Supplementation of different zinc sources to low-CP diets and its effect on performance, carcass traits, liver and kidney functions, immunological, and antioxidant parameters of quail chicks. Br Poult Sci, 2021; 100(11), 101463. doi.org/10.1016/j.psj.2021.101463
43. Ng TT, Mortada M, Akerele G, Oxford JH, Blanchard A, Selvaraj RK. Effects of zinc glycinate on growth, immunity, and intestinal health in broiler chickens. Arch Anim Nutr, 2022; 115207. doi.org/10.1016/j.anifeeds.2022.115207
44. Hudson BP, Dozier III WA, Wilson JL, Sander JE, Ward

- TL. Reproductive performance and immune status of caged broiler breeder hens provided diets supplemented with either inorganic or organic sources of zinc from hatching to 65 wk of age. *Avian Pathol*, 2004; 13(2):349-359. doi.org/10.1093/japr/13.2.349
45. Fawzy MM, El-Sadawi HA, El-Dien MH, Mohamed WAM. Hematological and biochemical performance of poultry following zinc oxide and sodium selenite supplementation as food additives. *Ann Lab Med*, 2016; 4(4):1076. doi.org/10.47739/2373-9282/1076
46. O'Dell BL. Zinc plays both structural and catalytic roles in metalloproteins. *Nutr Res Rev*, 1992;50(2):48-50. doi.org/10.1111/j.1753-4887.1992.tb02513.x
47. Plaimast H, Sirchakwal P, Puwastien P, Kijparkorn S. Effect of supplementary zinc form organic sources on zinc deposition in eggs and laying performance. *Vet Med Sci*, 2008; 38(3):47-53. DOI:10.56808/2985-1130.2131
48. Idowu OMO, Ajuwon RO, Oso AO, Akinloye OA. Effects of zinc supplementation on laying performance, serum chemistry and Zn residue in tibia bone, liver, excreta and egg shell of laying hens. *J Anim Sci*, 2011;10(3):225-230. DOI:10.3923/ijps.2011.225.230