DOI: 10.22092/vj.2025.369259.2227 No:150 Spring 1405 *Veterinary Research & Biological Products*

Original Article

Study of the effect of zinc hydrochloride on functional traits, storage of the zinc element in the tibia, liver, and breast muscle of broiler chickens at high altitude from 1 to 22 days of age

Khadije Habibi[1], Behnam Ahmadipour[2]*, Samira Abaszadeh[2], Fariborz Khajali[2]

1. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord 88186-34141, Iran
2. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord 88186-34141, Iran.

Submited: 2025.04.28 Accepted: 2025.07.10
Revised: 2025.06.21 Published: 2026.03.20

* Corresponding author: behnam.ahmadipour@gmail.com

Abstract

Introduction: The antagonistic effect of inorganic mineral sources and the high cost of organic minerals have created the need to find alternatives to these two common forms. The introduction of a new inorganic source of zinc hydroxychloride prompted this study to compare its effects at different levels for broiler chickens raised in high environmental conditions.**Objectives**: The aim of the present study was to investigate the effect of zinc hydroxychloride on functional, serum and blood traits, zinc storage in tibia, liver, breast muscle and the effect on ascites in reared broiler chickens. METHODS: In this experiment, 300 broiler chickens (Rass strain) from 1 to 22 days of age were used. Experimental treatments included basal diet and 25, 50 and 75 mg zinc hydroxychloride per kg added to the control diet. Body weight parameters, feed intake and blood-serum parameters and sampling of relevant tissues were investigated to measure zinc storage and examine intestinal morphology. **Results**: The effect of the addition of zinc hydroxycloride on the feed conversion coefficient and growth performance over the entire breeding period has been meaningful and positive. The percentage of carcass yield in experimental treatments compared to the group saw a significant increase and decrease in liver weight ($p<0.05$). In serum, zinc and nitric oxide concentrations increased significantly, while Malone dialdehyde, hematocrit, and heterophile-lymphocyte concentrations decreased significantly ($p<0.05$). Increased levels of zinc hydroxy in the ration saved as much of this mineral as possible in breast, liver and bone tissue ($p<0.05$). **Conclusions:** The results of this study indicate the high efficiency of zinc hydrochloride in improving the growth and health of chickens, along with the economic potential for the poultry industry, and ultimately this substance can play a significant role in lowering pulmonary blood pressure due to its antioxidant properties.

Key words: Zinc hydroxychloride, mineral supplement, broiler chickens, high altitude

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)

تحقیقات دامپزشکی و فرآوردهای بیولوژیک شماره ۱۵۰، بهار ۱۴۰۵ DOI: 10.22092/vj.2025.369259.2227

مقاله کامل

بررسی اثر هیدروکسی‌کلراید روی بر روی صفات عملکردی، ذخیره عنصر روی در استخوان درشت‌نی، کبد و ماهیچه سینه جوجه‌های گوشتی پرورشی در ارتفاع بالا از سن ۱ تا ۲۲ روزگی

خدیجه حبیبی[۱]، بهنام احمدی پور*[۲]، سمیرا عباس زاده[۲]، فریبرز خواجعلی[۱]

۱. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۲. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱

* نویسنده مسئول: behnam.ahmadipour@gmail.com

چکیده

زمینه مطالعه: اثر آنتاگونیستی منابع معدنی با فرم‌های غیر آلی و همچنین قیمت بالای مواد معدنی به شکل آلی نیاز به پیداکردن جایگزینی برای این دو شکل رایج را به وجود آورد. معرفی منبع غیر آلی جدید هیدروکسی کلراید روی سبب شد، این بررسی برای مقایسه اثر آن در سطوح مختلف برای جوجه‌های گوشتی پرورشی در شرایط محیطی مرتفع از سطح دریا طراحی گردد. **هدف:** بررسی اثر هیدروکسی‌کلراید روی بر صفات عملکردی، سرمی و خونی، ذخیره عنصر روی در استخوان درشت‌نی، کبد، ماهیچه سینه و تأثیر بر عارضه آسیت در جوجه‌های گوشتی پرورشی، هدف این مطالعه مذکورمی‌باشد. **روش کار:** در این آزمایش از ۳۰۰ قطعه جوجه گوشتی (سویه راس۳۰۸) از سن ۱ تا ۲۲ روزگی استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل جیره پایه و ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم هیدروکسی‌کلراید روی در هر کیلوگرم که به جیره شاهد اضافه گردید. پارامترهای وزن بدن، خوراک مصرفی و فراسنجه‌های خونی ـ سرمی و نمونه‌برداری از بافت‌های مربوطه به‌منظور اندازه‌گیری ذخیره روی و مورفولوژی روده موردبررسی قرار گرفت. **نتایج:** تأثیر هیدروکسی‌کلراید روی بر ضریب تبدیل خوراک و عملکرد رشد در کل دوره پرورش با اهمیت بود. درصد بازدهی لاشه در تیمارهای آزمایشی نسبت به گروه شاهد افزایش و وزن کبد کاهش معنی‌دار نشان داد ($p < ۰/۰۵$). غلظت عنصر روی و نیتریک اکساید در سرم تیمارهای حاوی هیدروکسی‌کلرید افزایش معنی‌داری یافت، درحالی‌که غلظت مالون‌دی‌آلدئید، هماتوکریت و نسبت هتروفیل به لنفوسیت کاهش معنی‌دار نشان داد ($p < ۰/۰۵$). افزایش سطح هیدروکسی روی در جیره باعث ذخیره هر چه بیشتر این ماده معدنی در بافت سینه، کبد و استخوان گردید($p < ۰/۰۵$). **نتیجه‌گیری نهایی:** نتایج حاکی از کارایی بالای هیدروکسی‌کلراید روی در بهبود رشد و سلامت جوجه‌ها، و درنهایت این ماده به دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی که دارد، می‌تواند نقش زیادی در کاهش فشارخون ریوی ایفا نماید.

کلیدواژه‌ها: هیدروکسی‌کلراید روی، مکمل معدنی، جوجه‌های گوشتی، ارتفاع بالا

مقدمه

علاوه بر کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و چربی‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی نیز در تغذیه حیوانات اهمیت بسیار زیادی دارند. وجود عناصر معدنی به مقدار موردنیاز جهت رشد، نگهداری و تولید محصولات مختلف دام و طیور ضروری است(۱). عناصر معدنی به شکل خاکستر تقریباً ۲ تا ۵ درصد وزن خشک موجودات زنده را تشکیل داده که حدود ۸۵ درصد آن به‌صورت ذخیره در اسکلت وجود دارد. به‌علاوه نقش فیزیولوژیکی و اساسی این عناصر بسیار متنوع و مهم است و شناسایی نقش آن‌ها جهت پرورش دام، طیور و تنظیم برنامه‌های غذایی اهمیت بسیاری دارد. به همین علت در تغذیه دام و طیور حدود ۱ تا ۲ درصد مواد معدنی برای جیره در نظر گرفته می‌شود(۲).

روی (Zn) یک عنصر کم‌نیاز ضروری برای جوجه‌های گوشتی است که نقش مهمی در رشد، عملکرد ایمنی و سلامت پرنده دارد و در تعداد زیادی از فعالیت‌های آنزیمی، متابولیکی، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و جمع‌آوری رادیکال‌های آزاد حضور دارد(۳). این عنصر نقش مؤثری در سیستم ایمنی، کیفیت لاشه، پر درآوری، عملکرد آنزیم‌های آلکالین فسفاتاز، کربنیک آنهیدراز، کاتالاز (۴) و بهبود عملکرد روده کوچک طیور ایفا می‌کند(۵) و با توجه به عدم ذخیره کافی روی در بافت‌های بدن، تأمین نیاز این عنصر باید به شکل روزانه صورت پذیرد(۶).

این عنصر دارای سه نقش کاتالیزوری، ساختاری و تنظیم بیولوژیک در بدن می‌باشد(۷). عنصر روی در آنزیم‌های بسیاری نقش ایفا می‌کند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها در ارتباط با سیستم آنتی‌اکسیدانی است(۸). بطوریکه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) و گلوتاتیون پراکسیداز (GPx) را افزایش می‌دهد این آنزیم‌ها برای خنثی کردن گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS) بسیار مهم هستند، لذا کمبود آن سبب اختلال در سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی بدن و افزایش استرس اکسیداتیو می‌گردد(۹).

استفاده از این عنصر به‌عنوان مکمل با منشأ آلی و غیر آلی در خوراک طیور رایج است. اشکال غیر آلی روی شامل سولفات، کلرید و اکسید و شکل آلی به‌صورت کیلات شده با لایزین، ترئونین، متیونین و سایر اسیدهای آمینه موجود می‌باشد. تحقیقات نشان داده مواد معدنی غیر آلی به شکل سولفات، قابلیت زیست‌فراهمی کمتری نسبت به سایر منابع معدنی موجود در بازار دارند(۱۰). مجاوریان و همکاران بیان کردند شکل آلی روی نسبت به همتای غیر آلی خود در مرغ‌های مادر قابلیت دسترسی زیستی بالاتری داشته و طیور می‌توانند آنها را به طور موثری جذب و استفاده کنند. آنها نشان دادند روی آلی موجب افزایش درصد تولید، وزن و توده تخم‌مرغ هم چنین موجب افزایش درصد تخم قابل جوجه کشی، درصد نرخ باروری و وزن جوجه‌های تولیدی می‌گردد(۱۱).

اثر آنتاگونیستی استفاده از منابع معدنی با فرم غیر آلی و همچنین قیمت بالای مواد معدنی به شکل آلی نیاز به پیدا کردن جایگزینی برای این دو شکل رایج را به وجود آورده است.

در سال‌های اخیر هیدروکسی‌کلراید روی ($Zn_5(OH)_8C_{12}\cdot H_2O$) به‌عنوان یک منبع نسبتاً جدید، توجه زیادی به خود جلب کرده است و مزایای بالقوه‌ای نسبت به منابع غیر آلی مانند سولفات روی برای آن تعریف گردیده است(۱۲). همان‌طور که اشاره شد عنصر روی در ایمنی و فرآیندهای آنزیمی و به دنبال آن بهبود عملکرد رشد مؤثر می‌باشد(۱۳ و ۱۴)؛ بنابراین کمبود روی می‌تواند مشکلات عمده‌ای ایجاد کند. پیشرفت‌های حاصله در امر تغذیه و اصلاح نژاد جوجه‌های گوشتی در دهه اخیر باعث افزایش سرعت رشد گردیده که همه این عوامل بر نیازمندی سویه‌های تجاری تأثیرگذار بوده درحالی‌که جیره‌های عملی حاوی ذرت ـ کنجاله سویا مقادیر کمتری از عنصر روی را تأمین می‌کنند و زیست‌فراهمی این عناصر نیز در این جیره‌ها تحت تأثیر فیتات، فیبر و یون‌های دو ظرفیتی قرار داشته و بسیار پایین است(۹)؛ بنابراین برای جلوگیری از پیامدهای کمبود، اضافه کردن روی به جیره با مقادیر بیشتر از توصیه شورای ملی تحقیقات (NRC) (۱۵)، یک عمل مرسوم و تجاری شده است. این افزایش سطح در جیره غذایی منجر به دفع بیشتر این ماده معدنی به محیط‌زیست می‌شود. اخیراً EFSA (سازمان ایمنی مواد غذایی اروپا) دستورالعمل‌هایی را در راستای اهمیت کاهش مقادیر فلزات سنگین در محیط‌زیست ارائه داده است (۱۶)؛ بنابراین، انتخاب منبع و استفاده از سطح

بهینه روی در خوراک جوجه‌های گوشتی امری ضروری است چراکه انتظار می‌رود کاهش سطح آن در خوراک مصرفی، باعث کاهش دفع آن به محیط‌زیست شود(۱۷). به‌طورکلی مواد معدنی به شکل هیدروکسی کلرید دارای یک ساختار کریستالی منحصربه‌فرد هستند که ثبات و کاربرد قابل‌توجهی در محیط با PHهای خاص نشان می‌دهند و همین ویژگی باعث ایجاد فرصتی می‌شود تا در طول لوله گوارش به‌صورت تدریجی آزاد شوند(۱۸) بعلاوه بسیار کمتر از نوع سولفاته با عوامل ضد تغذیه‌ای مانند فیتات واکنش نشان می‌دهند(۱۹). هر دو ویژگی تفاوت حلالیت در محیط و احتمال واکنش بین منابع مختلف ممکن است منجر به ایجاد مقادیر مختلف روی در بخش‌های مختلف دستگاه گوارش شود.

همچنین روی برای فعالیت چندین میکروب در دستگاه گوارش ضروری است و منبع و سطح متفاوت استفاده‌از آن ممکن است میکروبیوتای روده را تحت تأثیر قرار دهد(۲۰). هدف از مطالعه حاضر بررسی اثرات سطوح مختلف هیدروکسی کلراید روی بر عملکرد رشد، صفات لاشه، مورفولوژی روده و ذخیره عنصر روی در بافت‌های بدن جوجه‌های گوشتی پرورش‌یافته در محیط مرتفع (استان چهارمحال و بختیاری) است. ازآنجاکه ارتفاع بالا از سطح دریا و کاهش فشار اکسیژن یک عامل بروز عارضه‌ی فشارخون ریوی در جوجه‌های گوشتی به شمار می‌رود، بررسی تأثیر هیدروکسی‌کلراید روی بر عملکرد رشد و سندرم آسیت مورد آزمایش قرار گرفت.

مواد و روش کار

این مطالعه در ایستگاه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد ۲۱۰۰ متری سطح دریا اجرا گردید. برای این منظور ۳۰۰ قطعه جوجه گوشتی سویه راس ۳۰۸ با میانگین وزنی ۱±۳۸ در ۲۰ واحد آزمایشی (۴ تیمار، هر تیمار دارای ۵ تکرار و ۱۵ قطعه جوجه یک‌روزه در هر تکرار) به‌صورت تصادفی قرار داده شدند و جیره‌های آزمایشی را دریافت کردند. جیره‌ها بر پایه ذرت و کنجاله سویا مطابق با نیازهای توصیه‌شده سویه راس با کمک نرم‌افزارUFFDA تنظیم گردید؛ برای دو دوره ۱ تا ۱۰ روزگی و ۲۲-۱۱ روزگی تهیه (جدول ۱) و به‌طور آزاد در اختیار پرندگان قرار گرفت. در طول دوره پرورش، از برنامه نوری ۲۳ ساعت روشنایی و ۱ ساعت تاریکی استفاده شد. طول دوره‌ی پرورش ۲۲ روز و دمای سالن بر اساس توصیه سویه تنظیم شد.

جدول ۱: ترکیب جیره پایه جوجه‌های گوشتی

اجزاء جیره (درصد)	دوره آغازین (۱۰-۱ روزگی)	دوره رشد (۲۲-۱۱ روزگی)
ذرت	۵۷	۶۲
کنجاله سویا (۴۴٪ پروتئین خام)	۳۵/۶	۳۰/۳
روغن سویا	۳	۳/۳۵
دی کلسیم فسفات	۱/۷	۱/۷
صدف	۱/۳	۱/۲
نمک	۰/٤	۰/٤
DL - متیونین	۰/۳۵	۰/۳۵
L - لیزین	۰/۲۰	۰/۲۰
مکمل ویتامینی*	۰/۲۵	۰/۲۵
مکمل معدنی**	۰/۲۵	۰/۲۵
ترکیب مواد مغذی		
انرژی قابل سوخت‌وساز (kcal ME/kg)	۳۰۰۰	۳۰۸۵
پروتئین خام (٪)	۲۱	۱۹
متیونین	۰/۵	۰/۵
متیونین + سیستئین	۰/۹	۰/۸۹
لیزین	۱/۳۳	۱/۱۹
ترئونین	۱	۰/۸۸
آرژنین	۱/۳۸	۱/۲۵
سدیم	۰/۱۸	۰/۱۸
کلر	۰/۲۰	۰/۲۰
پتاسیم	۰/۷۰	۰/۷۰
Na+K-Cl (mEq/kg)	۲۰۰	۲۰۰

*هر کیلوگرم از جیره شامل: ۳۶۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A (ترانس رتینول)، ۸۰۰ واحد بین‌المللی D_3، ۷/۲ میلی‌گرم ویتامین E، ۱/۶ میلی‌گرم ویتامین K_3، ۰/۷۲ میلی‌گرم ویتامین B_1، ۳/۳ میلی‌گرم ویتامین B_2، ۱/۲ میلی‌گرم ویتامین B_6، ۰/۶ میلی‌گرم ویتامین B_{12}، ۰/۵ میلی‌گرم فولیک اسید، ۲۰۰ میلی‌گرم کولین کلراید بود.

** هر کیلوگرم از جیره شامل: ۴۰ میلی‌گرم منگنز، ۲۰ میلی‌گرم آهن، ۴۰ میلی‌گرم روی، ۴ میلی‌گرم مس، ۰/۶۴ میلی‌گرم ید، ۰/۰۸ میلی‌گرم سلنیوم

تیمارهای آزمایشی مورداستفاده در این طرح شامل:

۱. جیره پایه
۲. جیره پایه + ۲۵ میلی‌گرم هیدروکسی‌کلراید روی در هر کیلوگرم جیره (سطح ۱)
۳. جیره پایه + ۵۰ میلی‌گرم هیدروکسی‌کلراید روی در هر کیلوگرم جیره (سطح ۲)
۴. جیره پایه + ۷۵ میلی‌گرم هیدروکسی‌کلراید روی در هر کیلوگرم جیره (سطح ۳)

صفات موردبررسی

عملکرد رشد

اندازه‌گیری مصرف خوراک و افزایش وزن برای دوره آغازین، رشد و کل دوره، محاسبه شدند. ضریب تبدیل غذایی نیز به‌صورت دوره‌ای محاسبه و بر اساس وزن تلفات تصحیح شد.

صفات خونی و سرمی

در سن ۲۲ روزگی با توجه به میانگین وزنی هر تکرار، یک قطعه جوجه از هر تکرار انتخاب و از ورید بال هر پرنده ۳ میلی‌لیتر خون‌گیری و سپس کشتار شدند. نمونه‌های خون به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ (مدل HB705) و سرم به‌دست‌آمده برای تعیین غلظت فاکتورهای سرمی و خونی در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان آنالیز نگهداری شد. جهت اندازه‌گیری غلظت نیتریک اکساید (NO) سرم از روش Behrooj و همکاران (۲۱) و اندازه‌گیری غلظت مالون‌دی‌آلدئید (MDA) از روش Nair و Turner (۲۲) استفاده شد.

صفات لاشه

پس از کشتار لاشه‌ها وزن‌کشی شدند و عملیات خارج کردن امعاء و احشاء روی آن‌ها صورت گرفت و وزن قلب، کبد، طحال، بورس فابریسیوس به‌وسیله ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم (AND ژاپن مدل HT120) اندازه‌گیری شد. همچنین با تجزیه لاشه وزن ران و سینه با ترازویی با دقت ۱ گرم (مدل G240) به دست آمد. برای کشتار و تقسیم‌بندی اجزاء لاشه از روش استاندارد توصیه‌شده در منابع علمی استفاده شد (۲۳).

بررسی ریخت‌شناسی بافت روده

برای این منظور از هر تکرار یک پرنده انتخاب شد. پس از کشتار پرنده‌ها، از ۳ قسمت روده کوچک، شامل دئودنوم، ژژنوم و ایلئوم قطعات ۲ سانتی‌متری برش داده و بافت جداشده ابتدا توسط محلول نرمال سالین (PH=7) شستشو داده شد و برای فیکس شدن به مدت ۴۵ دقیقه در داخل محلول کلارک (اسیدسیتریک ۲۵٪ و الکل اتانول ۷۵٪) قرار داده شد، سپس نمونه‌ها از محلول کلارک خارج و در داخل محلول الکل اتانول ۵۰٪ + ۵۰٪ آب مقطر تا زمان تهیه مقطع نگهداری شدند. به‌منظور رنگ‌آمیزی، قطعه‌های ۵ میلی‌متری از نمونه‌ها به‌صورت حلقوی برش داده شد و به مدت ۱۰ دقیقه داخل پریودیک اسید شیف قرارگرفته و بعدازآن با آب مقطر شستشو داده شدند. به‌منظور تهیه مقطع و مشاهده نمونه با میکروسکوپ از نمونه‌های رنگ‌شده زیر دستگاه لوپ (استریو میکروسکوپ) با استفاده از تیغ جراحی، مقطع بافتی به ضخامت حدود ۵ میکرون گرفته شد. سپس مقطع‌های تهیه‌شده روی لام میکروسکوپ قرار گرفت و ارتفاع پرز، عرض پرز و عمق کریپت اندازه‌گیری شد. جهت به دست آوردن سطح مقطع پرزها از فرمول زیر استفاده گردید (۲۴).

عرض پرز × طول پرز × (۳/۱۴) π = سطح پرز (میلی‌متر مربع)

اندازه‌گیری غلظت ذخیره‌سازی روی در بافت کبد، سینه و استخوان

در روز کشتار از هر تکرار به‌طور تصادفی یک قطعه مرغ انتخاب شد. استخوان درشتنی پای راست، قسمتی از سینه و کبد برداشت و بعد از شماره زنی در داخل کیسه پلاستیکی قرار داده شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون (مدل UN55 کمپانی Memert) در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شده و سپس به مدت شش ساعت در کوره با دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، قرار داده شد. به این ترتیب درصد خاکستر نسبت به وزن خشک هر بافت تعیین گردید. با استفاده از دستگاه Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (*ICP-OES* Analysis) میزان عنصر روی در هر بافت ارزیابی شد (۲۵).

اندازه‌گیری ضربه شکست استخوان درشت‌نی جوجه گوشتی

برای تعیین ویژگی‌های مقاومت استخوان درشت‌نی، استخوان درشت‌نی، پای چپ هر پرنده توسط چاقو گوشت اطراف ساق جدا شد. سپس استخوان‌ها بعد از برچسب و شماره زنی به مدت ۱۰ دقیقه در داخل آب جوش (۱۰۰ ^{o}C) قرار داده شد. بعد از سرد شدن در دمای اتاق، گوشت اطراف استخوان‌ها توسط دست پاک شد و کشکک نیز جدا گردید. استخوان‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق خشک گردید. طول و عرض (قطر دیافیز) استخوان درشت‌نی با کولیس دیجیتال (مدل P150) و وزن آن با ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم (AND ژاپن مدل HT120) ثبت شد. بعد از سنجش مورفومتریک، استخوان درشت‌نی هر جوجه به سنجش قدرت شکست آن (به کمک نیروسنج دیجیتال) اختصاص داده شد که برحسب کیلوگرم نیروی لازم برای شکستن این استخوان بیان گردید (۲۶).

آنالیز آماری

کلیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار اکسل ویرایش و جهت تجزیه‌وتحلیل آماری در یک طرح کاملاً تصادفی با استفاده از روش GLM توسط نرم‌افزار آماری SAS نسخه 9.1 (۲۷) انجام گردید. برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده شد.

نتایج

جدول ۲ تأثیر مصرف سه سطح هیدروکسی‌کلراید روی را بر عملکرد رشد، مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک جوجه‌های گوشتی را نشان می‌دهد. در دوره ۱۱-۲۲ روزگی و کل دوره (۱-۲۲ روزگی)، ضریب تبدیل خوراک در گروه‌های دریافت‌کننده هیدروکسی‌کلراید روی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < ۰/۰۵$). بهترین نتیجه در سطح ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد.

جدول ۲: مقایسه اثر سطوح مختلف هیدروکسیکلراید روی بر روی افزایش وزن، مصرف خوراک و ضریب تبدیل در جوجه‌های گوشتی (۱ تا ۲۲ روزگی)

* در هر ردیف میانگین‌های با حروف نامشابه، ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌دار دارند($p < ۰/۰۵$)

** SEM: Standard Error of Mean (اشتباه معیار میانگین)

فراسنجه‌ها	سطوح هیدروکسی‌کلراید روی در جیره (میلی‌گرم در کیلوگرم)				SEM**	P-value*
	شاهد (۰)	۲۵	۵۰	۷۵		
افزایش وزن (g)						
۱ تا ۱۰ روزگی	۱۷۵/۹۴۰	۱۷۶/۳۶۰	۱۷۳/۹۲۰	۱۸۲/۷۸۰	۳/۵۲	۰/۳۴۵
۱۱ تا ۲۲ روزگی	۶۴۳/۹۸	۶۸۶/۴۸	۶۶۳/۶۸	۶۶۹/۶۴	۱۳/۵۲	۰/۲۱۰
۱ تا ۲۲ روزگی	۸۱۹/۹۲	۸۶۲/۸۲	۸۳۷/۶۰	۸۵۲/۴۲	۱۵/۷۲	۰/۲۷۷
مصرف خوراک (g)						
۱ تا ۱۰ روزگی	۲۲۹/۶۶۰	۲۲۸/۷۰۰	۲۲۴/۹۶	۲۳۱/۴۰۰	۶/۰۴	۰/۸۹۳
۱۱ تا ۲۲ روزگی	۹۸۶/۵۴	۹۷۷/۵۰	۹۷۱/۶۲	۹۶۷/۱۴	۱۳/۹۰	۰/۴۱۶
۱ تا ۲۲ روزگی	۱۲۱۵/۱۸	۱۲۲۶/۲۰	۱۱۹۶/۵۸	۱۱۹۸/۵۸	۱۵/۵۹	۰/۴۹۳
ضریب تبدیل خوراک						
۱ تا ۱۰ روزگی	۱/۳۰۶۰۰	۱/۳۰۲۰۰	۱/۲۹۲۰۰	۱/۲۶۶۰۰	۰/۰۳۶	۰/۸۶۸
۱۱ تا ۲۲ روزگی	۱/۵۳۴۰۰ a	۱/۴۵۴۰۰ b	۱/۴۶۴۰۰ b	۱/۴۴۴۰۰ b	۰/۰۲۰	۰/۰۲۸۰
۱ تا ۲۲ روزگی	۱/۴۸۶۰۰ a	۱/۴۲۰۰۰ b	۱/۴۳۰۰۰ b	۱/۴۰۴۰۰ b	۰/۰۱۴	۰/۰۰۶۰

در جدول ۳ تأثیر سطوح مختلف هیدروکسی‌کلراید روی بر خصوصیات لاشه جوجه‌های گوشتی نشان داده‌شده است. نتایج شامل درصد بازدهی لاشه، اجزای لاشه (مانند سینه و ران‌ها)، وزن کبد، قلب، بطن راست و بورس و طحال می‌باشد. افزایش معنی‌دار در بازدهی لاشه با افزایش سطح هیدروکسی‌کلراید روی مشاهده شده است ($p < ۰/۰۵$)؛ بطوریکه گروه مصرف‌کننده ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بالاترین بازدهی را داشته است. بازدهی سینه در سطح ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌طور معنی‌داری بهتر از گروه شاهد است ($p < ۰/۰۵$). و بازدهی ران‌ها تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف نشان نداد. با افزایش سطح روی وزن کبد کاهش نشان داد هرچند این کاهش تنها با مصرف بالاترین سطح هیدروکسی روی نسبت به گروه شاهد معنی‌دار بوده است ($p < ۰/۰۵$). وزن بورس و طحال در گروه مصرف‌کننده ۷۵ میلی‌گرم نسبت به گروه شاهد تفاوت معنی‌دار نشان داده است ($p < ۰/۰۵$).

جدول ۳. مقایسه تأثیرات سطوح مختلف هیدروکسی‌کلراید روی بر خصوصیات لاشه جوجه‌های گوشتی در ۲۲ روزگی

تیمار ۱: جیره شاهد، تیمار ۲: جیره شاهد + ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلراید روی، تیمار ۳: جیره شاهد + ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلراید روی، تیمار ۴: جیره شاهد + ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلراید روی.

* در هر ردیف میانگین‌های با حروف نامشابه، ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌دار دارند (P/۰۵>)،

** SEM: Standard Error of Mean (اشتباه معیار میانگین)

فراسنجه	سطوح هیدروکسی روی در جیره (میلی‌گرم در کیلوگرم)					
	شاهد (۰)	۲۵	۵۰	۷۵	**SEM	*P-value
بازدهی لاشه (٪)	۶۹/۷۳۶۰ c	۷۰/۵۴۰۰ bc	۷۲/۲۱۰۰ ab	۷۳/۳۶۲۰ a	۰/۰۵۹۹۸	۰/۰۰۲۵
بازدهی سینه (٪)	۲۳/۰۷۴۰ b	۲۴/۳۴۸۰ bc	۲۴/۶۵۶۰ a	۲۵/۵۰۶۰ a	۰/۰۴۴۳۰	۰/۰۱۰۹
بازدهی ران‌ها (٪)	۲۵/۵۵۰۰	۲۵/۹۸۲۰	۲۶/۵۱۲۰	۲۶/۹۳۶۰	۰/۵۴۵۷۰	۰/۳۳۰۵
وزن کبد به وزن زنده بدن (٪)	۲/۸۰۲۰ a	۲/۷۴۲۰ bc	۲/۵۲۸۰ ab	۲/۴۱۴۰ b	۰/۱۰۵۵۲	۰/۰۶۳۷
وزن طحال به وزن زنده بدن (٪)	۰/۰۸۲۰۰۰ b	۰/۰۸۸۰۰۰ ab	۰/۰۹۴۰۰۰ ab	۰/۱۰۲۰۰۰ a	۰/۰۰۵۱۹	۰/۰۸۰۲
وزن قلب به وزن زنده بدن (٪)	۰/۷۱۰۰۰	۰/۶۸۸۰۰	۰/۶۵۸۰۰	۰/۶۵۰۰۰	۰/۰۲۸۲۷	۰/۴۳۶۲
وزن بطن راست به وزن بطن‌ها (٪)	۰/۱۸۰۷۵ a	۰/۱۲۱۴۶ b	۰/۱۲۶۷۴ b	۰/۱۲۲۳۲ b	۰/۰۱۲۴۵	۰/۰۰۹۹
وزن بورس به وزن زنده (٪)	۰/۲۱۰۰۰ b	۰/۲۱۸۰۰ ab	۰/۲۴۸۰۰ ab	۰/۲۶۶۰۰ a	۰/۰۱۲۱۱	۰/۰۲۲۶
وزن بطن راست به وزن زنده بدن (٪)	۰/۰۸۵۵۹ a	۰/۰۵۵۱۵ b	۰/۰۵۴۰۸ b	۰/۰۵۲۱۷ b	۰/۰۰۷۴۶	۰/۰۱۷۲
وزن بطن‌ها به وزن زنده بدن (٪)	۰/۴۶۹۷۹	۰/۴۵۰۹۴	۰/۴۳۲۸۶	۰/۴۲۶۸۰	۰/۰۳۳۵۵	۰/۸۰۰۹

جدول ۴ تأثیر مصرف سطوح مختلف هیدروکسی‌کلراید روی بر روی فراسنجه‌های خونی سرمی آورده شده است.

با افزایش سطح هیدروکسی‌کلراید روی، در هماتوکریت کاهش معنی‌داری مشاهده شد ($p < ۰/۰۵$). کمترین میزان هماتوکریت مربوط به سطح ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی روی بود. سطوح بالاتر هیدروکسی‌کلراید روی منجر به کاهش قابل‌توجه مالون‌دی‌آلدئید شد. بیشترین مقدار مالون دی آلدهید در گروه شاهد می‌باشد که با تیمارهای دریافت‌کننده هیدروکسی روی دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد ($p < ۰/۰۵$). با بالا رفتن میزان هیدروکسی روی در جیره، میزان نیتریک اکساید نسبت به گروه شاهد افزایش معنی‌دار پیدا کرد و بیشترین میزان نیتریک اکساید در تیمار با بالاترین سطح آن مشاهده شد ($p < ۰/۰۵$).

جدول ۴. مقایسه اثر سطوح مختلف هیدروکسی‌کلراید روی بر روی فراسنجه‌های خونی و سرمی جوجه‌های گوشتی

تیمار ۱: جیره شاهد، تیمار ۲: جیره شاهد + ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلراید روی، تیمار ۳: جیره شاهد + ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلراید روی، تیمار ۴: جیره شاهد + ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلراید روی

* در هر ردیف میانگین‌های با حروف نامشابه، ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌دار دارند ($p < ۰/۰۵$).

** SEM: Standard Error of Mean (اشتباه معیار میانگین)

فراسنجه	سطوح هیدروکسی‌کلراید روی در جیره (میلی‌گرم در کیلوگرم)				**SEM	*P-value
	شاهد (۰)	۲۵	۵۰	۷۵		
هماتوکریت (٪)	۳۸/۸۸۰ a	۳۳/۸۰۰ b	۳۲/۰۰۰ b	۳۱/۶۰۰ b	۱/۱۲۲۴۹	۰/۰۰۱۲
مالون دی‌الدئید (µmol/L)	۲/۷۵۴۰ a	۲/۰۳۸۰ b	۱/۲۱۸۰ c	۱/۰۶۶۰ c	۰/۱۶۹۰۴	۰/۰۰۰۱
نیتریک اکساید (µmol/L)	۱/۹۸۸۰ b	۳/۱۵۸۰ a	۳/۰۰۰۰ a	۳/۱۸۲۰ a	۰/۲۶۹۵۰	۰/۰۱۸۷
هتروفیل واحد (٪)	۳۹/۶۰۰ a	۲۸/۲۰۰ b	۲۵/۰۰۰ b	۲۴/۸۰۰ b	۲/۶۴۷۶۴	۰/۰۰۳۳
لنفوسیت (٪)	۵۸/۴۰۰ b	۷۱/۴۰۰ a	۷۱/۸۰۰ a	۰۷۵/۲۰۰ a	۲/۷۲۰۲۹	۰/۰۰۲۵
نسبت هتروفیل به لنفوسیت	۰/۶۹۰۰۰ a	۰/۴۰۶۰۰ b	۰/۳۵۴۰۰ b	۰/۳۳۲۰۰ b	۰/۰۵۶۳۸	۰/۰۰۱۲
غلظت روی (µg/dL)	۲۹۳/۷۳۰ c	۳۱۰/۲۳۰ bc	۳۲۳/۸۲۰ ab	۳۳۳/۷۴۰ a	۶/۰۲۱۷	۰/۰۰۱۷

نتایج استفاده از سطوح مختلف هیدروکسی‌کلراید روی (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) بر ساختار روده کوچک جوجه‌های گوشتی در سه بخش دئودنوم، ژئوژنوم و ایلئوم در جدول ۵ نشان داده‌شده است.

در هر سه بخش روده، افزایش هیدروکسی روی در جیره غذایی باعث افزایش ارتفاع پرز نسبت به گروه شاهد گردید. همچنین در قسمت دئودنوم و ژژنوم افزایش عرض پرز به‌صورت معنی‌دار ثبت شد و بیشترین مقدار آن برای سطح ۷۵ مشاهده شد. عمق کریپت در گروه‌های حاوی هیدروکسی روی نسبت به گروه شاهد کاهش نشان داد، بطوریکه این کاهش در گروه مصرف‌کننده ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم معنی‌دار بوده است ($p < ۰/۰۵$). سطح جذب پرز در همه گروه‌های مصرف‌کننده هیدروکسی‌کلراید روی و هر سه قسمت روده به شکل معنی‌داری نسبت به گروه شاهد افزایش نشان داد ($p < ۰/۰۵$). بیشترین مقدار برای گروه مصرف‌کننده سطح ۷۵ میلی‌گرم بوده است.

جدول ۵. مقایسه هیدروکسی روی بر ریخت‌شناسی روده کوچک جوجه‌های ۱ تا ۲۲ روزگی

تیمار ۱: جیره شاهد، تیمار ۲: جیره شاهد + ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلراید روی، تیمار ۳: جیره شاهد + ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلراید روی، تیمار ۴: جیره شاهد + ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلراید روی.

* در هر ردیف میانگین‌های با حروف نامشابه، ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌دار دارند ($p < ۰/۰۵$)،

** SEM: Standard Error of Mean (اشتباه معیار میانگین)

فراسنجه (mm)	سطوح هیدروکسی روی در جیره (میلی‌گرم در کیلوگرم)				**SEM	*P-value
	شاهد (۰)	۲۵	۵۰	۷۵		
دئودنوم						
ارتفاع پرز	۰/۶۴۸ b	۰/۶۵۳۳۳ ab	۰/۶۷۲۰۰ ab	۰/۶۸۹۳۳ a	۰/۰۱۳۳۲۷	۰/۰۲۲۶
عرض پرز	۰/۳۰۲ b	۰/۳۵۶۰۰ a	۰/۳۶۸۰۰ a	۰/۳۷۸۶۷ a	۰/۰۱۳۱۰	۰/۰۰۰۷
عمق کریپت	۰/۷۰۶ a	۰/۶۷۲۰۰ ab	۰/۶۵۸۶۷ b	۰/۶۴۱۳۳ b	۰/۰۱۳۶۴	۰/۰۱۰۴
سطح پرز (mm^2)	۰/۶۱۴ b	۰/۷۳۲۴۷ a	۰/۷۸۱۵۳ a	۰/۸۲۵۳۳ a	۰/۰۳۵۸۷	۰/۰۰۰۸
ژژنوم						
ارتفاع پرز	۰/۵۴۹ b	۰/۵۶۹۳ ab	۰/۵۸۲۶۷ ab	۰/۶۱۰۶۷ a	۰/۰۱۴۴۷	۰/۰۳۶۸
عرض پرز	۰/۲۸۹ c	۰/۳۱۲۰۰ b	۰/۳۴۲۰۰ a	۰/۳۴۳۳۳ a	۰/۰۰۷۳۷	۰/۰۰۰۱
عمق کریپت	۰/۵۱۲ a	۰/۵۰۷۳۳ a	۰/۴۸۴۰۰ ab	۰/۴۷۲۶۷ b	۰/۰۱۱۰۱	۰/۰۴۲۸
سطح پرز (mm^2)	۰/۴۹۷ c	۰/۵۰۷۰۷ b	۰/۶۲۴۵۳ a	۰/۶۶۰۶۰ a	۰/۰۲۰۸۲	۰/۰۰۰۱
ایلئوم						
ارتفاع پرز	۰/۵۰۴ b	۰/۵۵۸۶۷ a	۰/۵۶۲۶۷ a	۰/۵۷۴۶۷ a	۰/۰۱۴۷۳	۰/۰۰۶۴
عرض پرز	۰/۳۱۶	۰/۳۲۲۰۰	۰/۳۵۰۶۷	۰/۳۶۶۶۷	۰/۰۱۹۸۹	۰/۲۴۵۹
عمق کریپت	۰/۵۵۴ a	۰/۵۲۶۰۰ a	۰/۵۰۲۶۷ b	۰/۵۰۳۳۳ b	۰/۰۱۳۶۹	۰/۰۳۲۷
سطح پرز (mm^2)	۰/۵۰۳ b	۰/۵۶۹۰ ab	۰/۶۲۳۶۰ ab	۰/۶۶۶۴۷ a	۰/۰۴۴۲۵	۰/۰۴۵۳

نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد با افزایش سطح مصرف روی، غلظت ذخیره این عنصر در بافت کبد، سینه و استخوان نسبت به گروه شاهد افزایش معنی‌دار داشته است ($p < ۰/۰۵$). با افزایش سطوح هیدروکسی روی در جیره، غلظت ذخیره‌سازی در هر سه بافت افزایش می‌یابد($p < ۰/۰۵$).

بیشترین میزان ذخیره‌سازی عنصر روی با مصرف بالاترین سطح هیدروکسی‌کلراید روی و کمترین آن در گروه شاهد مشاهده شد هرچند تفاوت گروه شاهد و گروه مصرف‌کننده ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم هیدروکسی روی معنی‌دار نبود.

جدول ۶. مقایسه تأثیر سطوح هیدروکسی روی بر غلظت ذخیره‌سازی در بافت کبد، سینه و استخوان جوجه گوشتی ۱ تا ۲۲ روزگی

تیمار ۱: جیره شاهد، تیمار ۲: جیره شاهد + ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلراید روی، تیمار ۳: جیره شاهد + ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلراید روی، تیمار ۴: جیره شاهد + ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلراید روی.

* در هر ردیف میانگین‌های با حروف نامشابه، ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌دار دارند (P >۰/۰۵)،

** SEM: Standard Error of Mean (اشتباه معیار میانگین)

بافت هدف	سطوح هیدروکسی روی در جیره (میلی‌گرم در کیلوگرم)				**SEM	*P-value
	شاهد (۰)	۲۵	۵۰	۷۵		
کبد (mg/kg)	۸۵/۹۶۸ c	۹۱/۵۱۶ c	۱۲۷/۹۵۰ b	۱۴۶/۹۰۲ a	۵/۰۹۴۷	۰/۰۰۰۱
سینه (mg/kg)	۲۹/۰۲۴ c	۳۴/۸۷۸ bc	۳۸/۲۵۸ b	۴۷/۲۰۲ a	۲/۰۶۰۸	۰/۰۰۰۱
استخوان (mg/kg)	۱۶۲/۲۶ c	۱۸۷/۳۶ c	۲۲۲/۰۳ b	۲۴۸/۱۴ a	۸/۰۹۷۴	۰/۰۰۰۱

داده‌های جدول ۷ نشان می‌دهد که افزودن هیدروکسی روی می‌تواند مقاومت استخوان را در برابر شکست بهبود بخشد. گروه شاهد (بدون افزودن هیدروکسی روی) کمترین میزان انرژی شکست، درحالی‌که گروه مصرف‌کننده ۷۵ میلی‌گرم بالاترین مقدار را نشان داده است. تغییرات سختی ضربه بین گروه‌های مختلف معنی‌دار نبود هرچند با افزایش سطح مکمل روند آن افزایشی بوده است. قطر استخوان درشت‌نی نیز با افزایش سطح هیدروکسی روی افزایش پیدا کرد هرچند این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبوده است.

جدول ۷. مقایسه تأثیر سطوح هیدروکسی روی بر ضربه شکست استخوان درشت‌نی جوجه گوشتی ۱ تا ۲۲ روزگی

تیمار ۱: جیره شاهد، تیمار ۲: جیره شاهد + ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلراید روی، تیمار ۳: جیره شاهد + ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلراید روی، تیمار ۴: جیره شاهد + ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلراید روی.

* درهر ردیف میانگین‌های با حروف نامشابه، ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌دار دارند ($p < ۰/۰۵$).

** SEM: Standard Error of Mean (اشتباه معیار میانگین)

	سطوح هیدروکسی روی در جیره (میلی‌گرم در کیلوگرم)					
فراسنجه ها	شاهد	۲۵	۵۰	۷۵	**SEM	*P-value
انرژی شکست ($Kj.m^{-3}$)	۱/٤٤۰۰ ^{b}	۱/۵۸۰۰ ^{ab}	۱/۷۰۰۰ ^{a}	۱/۷۲۰۰ ^{a}	۰/۱۸۳۰	۰/۰۱۲٦
سختی ضربه (N/mm)	۰/۰٤۰۱	۰/۰٤۲۰	۰/۰٤٤۳۸۲	۰/۰٤٤۳۳۵	۰/۰۰۲	۰/٤۰۷٤
قطر استخوان (mm)	٦/۷۷۸۰	٦/۹۲۸۰	۷/۰۰۲۰	۷/۰۳۰۰	۰/۱۰۹۷	۰/۳۹٤۵

بحث

بهبود عملکرد رشد و کاهش ضریب تبدیل غذایی در تیمارهای مصرف‌کننده هیدروکسی روی هم سو با نتایج سایر محققین بوده است(۲۸ و ۲۹). در این مطالعات مصرف سطوح بین ۷۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلراید روی بهبود افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک مشاهده شد. عنصر روی نقش مؤثری در فرایندهای بیولوژیکی داشته و اجزای ضروری بسیاری از آنزیم‌هاست، این عنصر فاکتور مؤثری در رشد نرمال بدن، عملکرد آنزیم‌ها، پر درآوری، رشد و نمو استخوان، ایمنی و اشتها در همه گونه‌های پرندگان محسوب می‌شود(۳۰). یکی از دلایل بهبود افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک افزایش سطح جذب در روده جوجه‌های آزمایشی بوده است(۳۱). عنصر روی در فعالیت آنزیم کربوکسی پپتیداز A نقش ویژه‌ای در هضم اسید آمینه‌های آروماتیک و شاخه دار ایفا می‌کند، همچنین از طریق حضور در آنزیم کربوکسی پپتیداز B به کاتالیز و هضم، جذب اسید آمینه‌های از جمله لیزین، متیونین، آرژنین و اورنیتین از سمت کربوکسیل کمک می‌کند(۳۲). عنصر روی به عنوان یک عامل اصلی در رشد و نمو موجودات زنده نقش ایفا می‌کند(۳۳). روی با نقش در سنتز RNA و DNA پلی مراز در روند رونویسی سلولی نقش دارد(۳۴) به نظر می‌رسد با افزایش سطوح مختلف هیدروکسی کلرید روی در جیره، توسعه، رشد و تکثیر سلول‌های روده‌ای و بهره‌وری از مواد مغذی خوراک به واسطه فعالیت بیشتر آنزیم‌های پروتئاز افزایش و سبب بهبود ضریب تبدیل خوراک گردیده است. افزودن هیدروکسی‌کلراید روی به‌ویژه در سطوح بالاتر (۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) باعث بهبود بازدهی لاشه، سینه و برخی پارامترهای سلامت اندام‌ها شد. بهبود وزن سینه می‌تواند از دیدگاه اقتصادی اهمیت زیادی داشته باشد، زیرا سینه ارزش تغذیه‌ای و اقتصادی بالایی دارد. افزایش میانگین وزنی طحال به‌منزله توان بالاتر پرنده جهت مقاومت و مبارزه با بیماری‌ها و تنش‌ها است(۳۵)؛ بنابراین با افزایش وزن بورس فابرسیوس و طحال در این پرندگان این‌چنین برداشت می‌شود که تغذیه پرندگان با هیدروکسی‌کلراید روی، افزایش پاسخ ایمنی و بهبود مقاومت پرندگان در شرایط هایپوکسی را به همراه داشته است چون میزان زیادی از عنصر روی به‌عنوان کوفاکتور در آنزیم‌های مؤثر در دفاع علیه پاتوژن‌ها استفاده می‌شود (۳۶).

نسبت وزن بطن راست به‌کل بطن‌ها (RV/TV) شاخصی

برای تعیین فشارخون ریوی در مرغ‌های گوشتی می‌باشد. چنانچه این نسبت از ۲۵ درصد بالاتر باشد، نشان‌دهنده این است که جوجه‌های گوشتی درگیر عارضه فشارخون ریوی می‌باشند (۳۷). در این پژوهش با افزایش سطح هیدروکسی روی وزن بطن راست به کل بطن‌ها (RV) کاهش معنی داری نشان داد. کاهش نسبت وزن قلب به وزن زنده بدن و RV/TV در پرندگانی که سطوح بالاتر هیدروکسی روی دریافت کردند، مزایای سلامتی این شکل از عنصر روی را تأیید کرد. مطالعات Guo و همکاران (۳۸) نشان داد که در جوجه‌هایی که در معرض آسیت هستند، میزان هماتوکریت بیشتر از مقدار آن در جوجه‌های سالم می‌باشد. در گروه‌های مصرف‌کننده هیدروکسی‌کلراید روی هماتوکریت کاهش نشان داد. روی می‌تواند با افزایش قدرت اتصال اکسیژن به هموگلوبین و کاهش فرآیند اریتروپوز، سطح هماتوکریت را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، روی نقش مهمی در فرآیندهای متابولیک مختلف، از جمله اریتروپوئز که در آن به‌عنوان یک کاتالیزور و یون تنظیم‌کننده عمل می‌کند، بر سنتز هموگلوبین و رشد سلول‌های اریتروئید تأثیر می‌گذارد. این مکانیسم‌ها به‌طور جمعی به تعدیل سطوح هماتوکریت در حضور روی کمک می‌کنند(۳۹).

در تیمارهای مصرف‌کننده سطح بالاتر هیدروکسی‌کلراید روی، کاهش معنی‌دار در نسبت هتروفیل به لنفوسیت در جوجه‌ها حاصل‌شده است که نشان‌دهنده سطح ایمنی بالاتر می‌باشد، افزایش این نسبت در طیور شاخصی از بروز تنش در پرنده می‌باشد. کاهش غلظت مالون‌دی‌آلدئید در تیمارهای مصرف‌کننده هیدروکسی‌کلراید روی نشان‌دهنده نقش آن در جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدی است. مالون‌دی‌آلدئید ترکیب حاصل از واکنش پراکسید شدن لیپیدها در بدن پرنده بوده و شاخصی از تنش‌های اکسیداتیو است. در طیور، بالا بودن نرخ سوخت‌وساز، شرایط را جهت استرس‌های اکسیداتیو و تولید MDA مهیا می‌کند. همچنان که ارتفاع بالا و کاهش فشار اکسیژن باعث تنش و افزایش غلظت سرمی MDA می‌گردد، کاهش غلظت آن حاکی از کاهش پراکسیداسیون لیپیدی در بدن پرندگان با مصرف هیدروکسی‌کلراید روی بوده است.

نیتریک اکساید مقاومت عروقی ریوی را از طریق اتساع عروق و همچنین کاهش عکس‌العمل آن‌ها نسبت به عوامل منقبض کننده وابسته به اندوتلیال مانند ترمبوکسان A_2 و اندوتلین ۱ کاهش می‌دهد(۴۰). مطالعات خواجعلی و وایدمن(۴۱) نشان داد که غلظت نیتریک اکساید پلاسمایی در جوجه‌هایی که با فشارخون ریوی درگیر هستند کاهش پیدا می‌کند که در این آزمایش نیز غلظت نیتریک اکساید گروه شاهد کمتر و با مصرف هیدروکسی‌کلراید روی به‌تدریج افزایش‌یافته است. احتمالاً افزایش غلظت نیتریک اکساید سرمی در گروه دریافت‌کننده ۷۵ میلی‌گرم هیدروکسی روی یکی از دلایل کاهش هایپوتروفی بطن راست و کاهش نسبت RV/TV بوده است. بهبود عملکرد و سلامت روده کوچک جوجه‌های تغذیه‌شده با هیدروکسی روی باعث افزایش جذب مواد غذایی و افزایش در قابلیت دسترسی مواد مغذی برای جوجه‌ها می‌باشد که این عامل شاید دلیلی برای بهبود ضریب تبدیل غذایی در پژوهش حاضر باشد. Ronco و همکاران(۴۲) گزارش کردند که ترکیبات آنتی‌اکسیدانی می‌توانند آثاری مانند تکثیر سلولی، جلوگیری از تخریب و مرگ سلولی و اثرات اکسیداتیو را از خود به‌جای بگذارند. شاید همین اثرات باعث افزایش رشد پرزها باشد که در این پژوهش مشاهد شد.

عنصر روی نقش موثری در تغییرات مورفولوژیکی دستگاه گوارش ایفا می‌کند. بطوریکه این عنصر به آسیاب دستگاه گوارش معروف است که باعث تغییرات مورفولوژیکی و بهبود ظرفیت جذب، کاهش اسهال و افزایش عملکرد رشد می‌گردد(۴۳ و ۴۴).

در هر سه بخش روده، افزایش هیدروکسی‌کلراید روی در جیره غذایی باعث بهبود سطح جذب و سلامت روده جوجه‌های گوشتی شد. سلول‌های اپیتلیایی منشا کریپت در روده در طول سطح ویلی حرکت کرده و از نوک آن در طول ۴۸ تا ۹۶ ساعت به فضای روده آزاد می‌شوند(۳). احتمالا افزایش طول عمر و مقاومت سلول‌های اپیتلیال در برابر آسیب ناشی از اختلالات روده، می‌تواند به طور قابل توجهی ارتفاع پرز را برای هضم و جذب بهتر مواد مغذی نسبت به گروه شاهد بهبود دهد. نتایج ما تایید می‌کند که مصرف روی، با افزایش ارتفاع پرز و سطح جذب، ظرفیت روده را برای هضم و جذب مواد مغذی افزایش می‌دهد(۳). سایر بررسی‌ها نشان داد کمبود روی با کاهش ارتفاع ویلی‌های ژژنوم همراه است که مدت کوتاهی بعد از عمل

مکمل سازی با روی سبب برگشت وضعیت نرمال روده در موش‌ها گردید(۴۵). بطور مشابه رضاپور و همکاران نشان دادند افزودن روی (شکل آلی) باعث افزایش عرض پرزها در بخش ژژنوم روده گردید و باعث بهبود عملکرد و سلامت جوجه‌های گوشتی گردیده است(۴۶).

تحقیقات نشان داده سطوح مناسب روی می‌تواند محتوای این عنصر را در اندام‌ها افزایش دهد و ذخیره آن را بهبود بخشد که این اثر بر سلامت کلی و عملکرد جوجه‌های گوشتی بسیار تاثیرگذار است. همچنین سطوح بالاتر روی می‌تواند غلظت آن را در کبد بدون تأثیر منفی بر سایر مواد معدنی افزایش دهد(۴۷).

ژنگ و همکاران نشان دادند افزایش سطح روی به طور مثبت بر محتوای روی خاکستر استخوان درشت نی تأثیر و افزایش قابل توجهی حاصل می‌گردد(۴۷)؛ بنابراین مکمل روی منجر به افزایش رسوب روی در استخوان درشت نی می‌شود که این امر به افزایش معدنی سازی و تراکم استخوان کمک می‌کند(۴۸). بیشترین میزان روی در خاکستر عضله سینه در جیره آغازین با ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خوراک ثبت گردید(۴۷) تفاوت سطوح بهینه بسته نوع منبع و شرایط آزمایشی ممکن است تغییر کند.

انرژی شکست معیاری از توانایی استخوان در مقاومت در برابر نیروهای مکانیکی است. این پارامتر نشان می‌دهد که استخوان تا چه حد می‌تواند نیروی وارد شده را جذب کند، پیش از آنکه دچار شکست شود. Scrimgeour و همکاران نشان داد(۴۹) ویژگی‌های مکانیکی استخوان درشت نی (Tibia) نسبت به استخوان ران (Femur) به مصرف سطوح مختلف روی حساس تر می‌باشد. با افزایش سطح هیدروکسی روی انرژی شکست به طور معنی‌داری افزایش یافته است. این روند افزایشی نشان‌دهنده تأثیر مثبت روی در تقویت ساختار و استحکام استخوان است(۵۰). افزودن هیدروکسی روی احتمالاً باعث بهبود فرآیندهای زیستی مرتبط با متابولیسم مواد معدنی در استخوان، از جمله رسوب کلسیم و فسفر شده است. روی یک عنصر ضروری در تشکیل ماتریکس استخوانی است و می‌تواند باعث بهبود ساختار کریستالی هیدروکسی آپاتیت (جزء معدنی اصلی استخوان) شود. مصرف روی با بهبود خواص مکانیکی مانند انرژی شکست، قابلیت انعطاف و سختی ضربه، مقاومت استخوان در مرغ را افزایش می‌دهد بطوریکه افزایش سطح روی در رژیم غذایی منجر به معدنی شدن بهتر استخوان و یکپارچگی ساختاری می‌شود و خطر اختلالات حرکتی را کاهش می‌دهد(۵۱).

سختی ضربه بیانگر توانایی استخوان جهت مقاومت در برابر نیروی ضربه‌ای ناگهانی است. این پارامتر با ساختار داخلی استخوان و توزیع مواد معدنی در ارتباط است. تغییرات سختی ضربه بین گروه‌های مختلف معنی‌دار نیست هر چند روند آن افزایشی بوده است. این بدان معناست که افزودن سطوح مختلف هیدروکسی روی تأثیر قابل توجهی بر مقاومت استخوان در برابر ضربه مستقیم نداشته است. سختی ضربه بیشتر از آنکه با تراکم مواد معدنی بستگی داشته باشد به کیفیت ساختاری ماتریکس استخوانی (مانند آرایش کلاژن و تخلخل) مرتبط است. به نظر می‌رسد که اثر هیدروکسی روی در بهبود این پارامتر محدود بوده است یا ممکن است به سطوح بالاتری نیاز باشد تا تأثیر مشهودتری دیده شود. تنظیم سطح مکمل روی با توجه به مرحله رشد و شرایط محیطی برای بهینه سازی سلامت استخوان و عملکرد، همچنین کاهش لنگش و سایر اختلالات حرکتی در مرغ امری حیاتی است. از طرفی سطوح بیش از حد می‌تواند منجر به عوارض جانبی شود؛ بنابراین، یک رویکرد متعادل برای دستیابی به این هدف بسیار ضروری است(۵۲).

قطر استخوان نشان‌دهنده رشد فیزیکی و توسعه ابعاد استخوان است. این پارامتر می‌تواند شاخصی از رشد کلی جوجه و میزان تأثیر هیدروکسی روی بر متابولیسم استخوان باشد. با افزایش سطح مکمل روی قطر استخوان درشت نی افزایش چشمگیر نشان داده باعث بهبود رشد و استحکام ساختار اسکلتی می‌گردد (۴۸ و ۴۹). در پژوهش حاضر با افزایش سطح هیدروکسی روی قطر استخوان افزایشی ولی این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبوده است. تغییرات محسوس در قطر استخوان ممکن است نیازمند مدت‌زمان بیشتری برای بروز باشند، زیرا رشد فیزیکی استخوان فرآیندی کندتر از تغییرات ترکیب شیمیایی یا استحکام آن است. همچنین این احتمال وجود دارد که تأثیر هیدروکسی‌کلراید روی بر تراکم مواد معدنی بیشتر از اثر آن بر رشد ابعادی باشد. بطور کلی می‌توان گفت روی نقش مهمی در فعالیت آنزیم‌های مرتبط با تشکیل استخوان (مانند آلکالین فسفاتاز) و تحریک سلول‌های استئوبلاست ایفا و متابولیسم استخوان را بهبود

دهد. عنصر روی فعالیت فسفاتاز قلیایی را افزایش می دهد و به طور بالقوه شیوع بیماری و مسائل مرتبط مانند لنگش در جوجه‌های گوشتی را کاهش می‌دهند(۵۳) هم سو با نتایج حاضر مطالعات نشان داد افزایش سطح روی در رژیم غذایی منجر به افزایش قطر استخوان، خاکستر استخوان درشت نی و محتوای معدنی (کلسیم و فسفر) در بوقلمون می‌شود(۵۴). هم سو با نتایج این پژوهش، ارزیابی‌های اقتصادی سایر محققین نشان داد که مکمل هیدروکسی‌کلراید روی در ۷۰-۸۰ میلی‌گرم/کیلوگرم می‌تواند ضریب تبدیل خوراک، افزایش وزن روزانه، معدنی شدن استخوان را بهبود، هزینه‌های تولید را کاهش دهد و آن را به یک جایگزین مقرون به صرفه برای منابع سنتی روی تبدیل کند (۲۸، ۵۴ و ۵۵).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این پژوهش حاکی از کارایی بالای ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم هیدروکسی‌کلراید روی در بهبود عملکرد رشد و سلامت جوجه‌ها، بهبود پارامترهای ریخت شناسی روده و افزایش ذخیره عنصر روی در بافت کبد، سینه و استخوان می‌گردد. همچنین به دلیل خاصیت آنتی اکسیدانی می تواند نقش قابل ملاحظه ای در کاهش فشار خون ریوی ایفا نماید.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از کمک‌ها و مساعدت‌های مالی دانشگاه شهرکرد تقدیر و تشکر نمایند.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌نمایند که در این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

منابع

1. Underwood E, Suttle N. The mineral nutrition of livestock 3rd edition. CABI; 1999.

2. Davis G. Copper, inTrace Elements in Human and Animal Nutrition, W. Mertz, ed. Academic Press, San Diego, CA; 1987.

3.Prasad AS, Kucuk O. Zinc in cancer prevention. Cancer Metastasis Rev.291-295 :21 ;2002 . https://doi.org/10.1023/a:1021215111729

4. Huang YL, Lu L, Luo XG, Liu B. An optimal dietary Zinc level of broiler chicks fed a corn-soybean meal diet. Poult Sci. 2007; 86: 2582-25891. https://doi.org/10.3382/ps.2007-00088

5.Wenqiang M, Haihua N, Feng J, Wang Y, Feng Ji. Effects of Zinc glycine chelate on oxidative Stress, content of trace elements and intestinal morphology in broilers. Biol Trace Elem Res. 2010; 142:564-556. https://doi.org/10.1007/s12011-010-8824-9

6. Pal D, Gowda N, Prasad C, Amarnath R, Bharadwaj U, Babu GS, et al. Effect of copper-and zinc-methionine supplementation on bioavailability, mineral status and tissue concentrations of copper and zinc in ewes J Trace Elem. Med. Biol. 2010; 24(2):89-94. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2009.11.007

7. Stefanidou M, Maravelias C, Dona A, Spiliopoulou C. Zinc: a multipurpose trace element. Arch. Toxicol.80:1-9 ;2006 . https://doi.org/10.1007/s00204-005-0009-5

8. Martin KM. The effects of zinc supplementation from two sources on egg quality and bone health in laying hens.2016 .

9. Zhang Y, Xie L, Ding X, Wang Y, Xu Y, Li D, et al. Mechanisms underlying the protective effect of maternal zinc (ZnSO4 or Zn-Gly) against heat stress-induced oxidative stress in chicken embryo. Antioxid, 2022; 11(9): 1699. https://doi.org/10.3390/antiox11091699

10. Leeson, S. Trace mineral requirements of poultry,validity of the NRC recommendations. In: Re-defining Mineral Nutrition. Taylor-Pick-

ard, J.A., Tucker, L.A. (eds.). Nottingham University Press, Nottingham, UK. 2005; p. 113-117

11. Mojaverian, S. A., Gharahveysi, S., & Hajipour, M. (2025). Investigating the organic and mineral forms of copper, zinc, and manganese on the productive and reproductive performance of broiler breeder hens. Journal of Animal Production, Print ISSN: 2008-6776., Online ISSN: 2382-994X, 27(1), 93-105.10.22059 / jap.2025.381902.623804

12. Afshar bakeshlo A, Ahmadipour B, Khajali F, Pirany N. Investigating the effect of different sources and levels of zinc on the immune performance and antioxidant capacity of laying hens. Iran J clinic Sci. 2003; 17 (2): 81-90. 10.22034/ijvcs.2023.14546.1062

13. Salim HM, Jo C, Lee BD. Zinc in broiler feeding and nutrition. Avian Biol Res. 2008;1(1):5-18. https://doi.org/10.3184/175815508X334578

14. Prasad AS. Zinc: role in immunity, oxidative stress and chron inammation. Curr Opin Clin Nutr Metab Car..646-52 :12;2009 10.1097/MCO.0b013e3283312956. https://doi.org/10.1097/mco.0b013e3283312956

15. National Research Council. Nutrient Requirements of Poultry. 1994; 9th rev. ed. Natl Acad Press, Washington, DC.

16. EFSA FEEDAP Panel (EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed). Scientic opinion on the potential reduction of the currently authorized maximum zinc content in complete feed. EFSA J. 2014;12(5):3668-745.

17. Bao YM, Choct M, Iji PA, Bruerton K. Effect of organically complexed copper, iron, manganese, and zinc on broiler performance, mineral excretion, and accumulation in tissues. J Appl Poult Res. 2007;16:448-55. https://doi.org/10.1093/japr/16.3.448

18. Miles RD, O'Keefe SF, Henry PR, Ammerman CB, Luo XG. The effect of dietary supplementation with copper sulfate or tribasic copper chloride on broiler performance, relative copper bioavailability, and dietary prooxidant activity. Poult Sci416-25 :77 ;1998. . https://doi.org/10.1093/ps/77.3.416

19. Lu L, Wang RL, Zhang ZJ, Steward FA, Luo X, Liu B. Effect of dietary supplementation with copper sulfate or tribasic copper chloride on the growth performance, liver copper concentration of broilers fed in oor pens, and stabilities of vitamin E and phytase in feed. Bio Trace Elem Res. 2010;138:181-9. https://doi.org/10.1007/s12011-010-8623-3

20. Gielda LM, DiRita VJ.. Zinc competition among the intestinal microbiota. MBio. 2012; 3(4): 00171-12. https://doi.org/10.1128/mbio.00171-12

21.Behrooj N, Khajali F, and Hassanpour H. Feeding reduced-protein diets to broilers subjected to hypobaric hypoxia is associated with the development of pulmonary hypertension syndrome. Br Poult Sci. 2012; 53: 658–664. https://doi.org/10.1080/00071668.2012.727082

22. Nair, V. and Turner, G. The thiobarbituric acid test for lipid peroxidation: Structure of the adduct with malondialdehyde. Lipid. 1984; 19: 804–805. https://doi.org/10.1007/BF02534475

23. Khajali F, Tahmasebi M, Hasanpour H, Akbari MA, Qujeeq D, Wideman RF. Effects of supplementation of canola meal-based diets with arginine on performance, plasma nitric oxide, and carcass characteristics of broiler chickens grown at high altitude. Poult Sci.:90 ;2011

102287-2294. https://doi.org/10.3382/ps.2011-01618

24. Hassanpour H, Moghaddam AKZ, Khosravi M, Mayahi M. Effects of synbiotic on the intestinal morphology and humoral immune response in broiler chickens. Livest Sci153 ;2013 . 116-122 :(1-3). https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.02.004

25. Kumaravel S, & Alagusundaram K. Determination of mineral content in Indian spices by ICP-OES. Orient. J Chem. 2014; 30(2): 631-636. http://dx.doi.org/10.13005/ojc/300231

26. Rowland JR, L O, Harms RH, Wilson HR, Ross IJ, & Fry JL. Breaking strength of chick bones as an indication of dietary calcium and phosphorus adequacy. Proc Soc Exp Biol Med. 1967; 126(2): 399-401. https://doi.org/10.3181/00379727-126-32458

27. SAS Institute. SAS User's Guide in Statistics. 9th Edition, SAS Institute, Inc., Cary. 2007.

28. van Kuijk SJ, Han Y, Garcia-Ruiz AI, & Rodiles A. Hydroxychloride trace minerals have a positive effect on growth performance, carcass quality and impact ileal and cecal microbiota in broiler chickens. J Anim Sci Biotechnol . 2021; 12: 1-13. https://doi.org/10.1186/s40104-021-00553-7

29.Bao YM, Choct M, Iji P A, & Bruerton K. Optimal dietary inclusion of organically complexed zinc for broiler chickens. Br Poult Sci. 2009; 50(1): 95-102. https://doi.org/10.1080/00071660802590377

30. O'Dell BL. Zinc plays both structural and catalytic roles in metalloproteins. Nutr Rev. 1992; 50: 48-50

31. Awad WA, Ghareeb K, Abdel-Raheem S, Bohm J. Effects of dietary inclusion of probiotic and synbiotic on growth performance, organ weights, and intestinal histomorphology of broiler chickens. Poult Sci. 2009; 88: 49-56. https://doi.org/10.3382/ps.2008-00244

32. Folk J. 2 Carboxypeptidase B. The enzymes. 3: Elsevier; 1971. p. 57-79.

33. Lilburn MS, McIntyre DR. An historical overview of zinc in poultry nutrition. Poultry Science. 2024;103(12):104294.

34. Hudson B, Dozier III W, Fairchild B, Wilson J, Sander J, Ward T. Live performance and immune responses of straight-run broilers: influences of zinc source in broiler breeder hen and progeny diets and ambient temperature during the broiler production period. Journal of applied poultry research. 2004;13(2):291-301.

35. Lister S. Poultry diseases-their control and effects on nutritional requirements. World's Poult Sci J. 2010; 66: 633-639. https://doi.org/10.1017/S0043933910000619

36. Park SY, Birkhold SG, Kubena LF, Nisbet DJ, Ricke SC. Review on the role of dietary Zinc in poultry nutrition, immunity and reproduction. Biol Trace Elem Res. 2004; 101: 147-163. https://doi.org/10.1385/bter:101:2:147

37. Izadinia M, Nobakht M, Khajali F, Faraji M, Zamani F, Qujeq D, and Karimi I. Pulmonary hypertension and ascites as affected by dietary protein source in broiler chickens reared in cool temperature at high altitudes. Anim. Feed Sci Technol. 2010. 155(2-4); 194-200. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2009.12.009

38. Guo D, Zhang J, Han Y, Cui L, Wang H, Wang K, et al. Transcriptomic Study on the Lungs of Broilers with Ascites Syndrome. Animal. 2023. 13(1): 175. https://doi.org/10.3390/ani13010175

39. Hanson Z D, Mirshahidi H, Brothers J, Mirshahidi S, Pham B, Samaeekia R, & Akhtari M. Hemoglobin response to zinc supplementation in patients with zinc deficiency and chronic anemia. Blood. 2023; 142: 5222. https://doi.org/10.1182/blood-2023-191197

40. Odom T W, Martinez-Lemus LA, Hester RK, Becker EJ, Jeffrey JS, Meininger GA, and Ramirez G. A. In vitro hypoxia differentially affects constriction and relaxation responses of isolated pulmonary arteries from broiler and leghorn chickens. Poult Sci. 2004; 83(5): 835-841. https://doi.org/10.1093/ps/83.5.835

41. Khajali F, & Wideman RF. Nutritional approaches to ameliorate pulmonary hypertension in broiler chickens. J Anim Physiol Anim Nutr. 2016; 100(1): 3-14. https://doi.org/10.1111/jpn.12315

42. Ronco M. deAlvarez M. Monti J. Carrillo M. Pisani G. Lugano M. and Carnovale C. Modulation of balance between apoptosis and proliferation by lipid peroxidation (LPO) during rat liver regeneration. Mol Med. 2002; 8:808–817. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2039965/

43. Houdijk JGM, Bosch MW, Tamminga S, Verstegen MWA, Berenpas EJ, Knoop H. Apparent ileal and total tract nutrient digestion by pigs as affected by dietary non-digestible oligosaccharides. J Anim Sci. 1999; 77:148-15. https://doi.org/10.2527/1999.771148x

44. Katouli M, Melin L, Jensen-Waern M, Wallgren P, Möllby R. The effect of Zinc oxide supplementation on the stability of the intestinal flora with special reference to composition of coliforms in weaned pigs. J Appl Microb. 1999; 87: 564-573. https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.1999.00853.x

45. Stahl JL, Greger JL, Cook ME. Zinc, copper and iron utilisation by chicks fed various concentrations of Zinc. Br Poult Sci. 1989; 30: 123-134. https://doi.org/10.1080/00071668908417131

46. Rezapour, A Gharahveysi, S Khorshidi, KJ Abdolahpour, R. "Effects of Organic Mineral Chelates of Zinc, Manganese, and Chromium on Growth Performance, Physiological, Hematological, Intestinal Microflora, Immunological, and Bone Traits in Broiler Chickens" . Brazilian journal of poultry science. 26(4), 2024: 001-011. https://doi.org/10.1590/1806-9061-2024-1992

47. Zhang TY, Liu JL, Zhang JL, Zhang N, Yang X, Qu H X, et al. Effects of dietary zinc levels on the growth performance, organ zinc content, and zinc retention in broiler chickens. Braz J Poult Sci. 2018; 20(01): 127-132. https://doi.org/10.1590/1806-9061-2017-0604

48. Azad SK, Shariatmadari F, Torshizi MAK, & Chiba LI. Comparative effect of zinc concentration and sources on growth performance, accumulation in tissues, tibia status, mineral excretion and immunity of broiler chickens. Braz J Poult Sci.. 2020; 22(02): eRBCA-2019. https://doi.org/10.1590/1806-9061-2019-1245

49. Scrimgeour AG, Stahl CHH, McClung JP, Marchitelli LJ, Young AJ. Moderate zinc deficiency negatively affects biomechanical properties of tibiae independently of body composition. J Nutr. Bioch. 2007; 18: 813-819. https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2006.12.018

50. Shelton JL, Southern LL. Interactive Effect of Zinc, Copper and Manganese in Diets for Broilers. Int. J. Poult Sci. 2007; 6: 466-469.

51. Štofaníková J, Šály J, Molnár L, Sesztáková E, & Vrabec V. The mechanical properties of broiler chicken bones affected by different di-

etary zinc levels. Afr j biotechnol. 2012; 11(20): 4681-4686.

52. Lima LADA, Moraes TDA, Morais LKDC, de Amorim, MLCM, Veríssimo, TNS, Dos Santos, JDC, et al. Effect of zinc level and the thermal environment on the zootechnical performance and tibia-breaking strength of Japanese quails. Front. vet. sci. 2025; 11: 1467487. https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1467487

53. Qin S, Zhang L, Ma F, Che Y, Wang H, & Shi Z. Dietary zinc and growth, carcass characteristics, immune responses, and serum biochemistry of broilers. Anim Prod Sci 2020; 60(6): 815-822. https://doi.org/10.1071/AN18763

54. Santos TD, Augusto KVZ, Han Y, Sartori MMP, Denadai JC, Santos CT, et al. High levels of copper and zinc supplementation in broiler diets on growth performance, carcase traits and apparent ileal mineral absorption. Br Poult. Sci. 2021; 62(4): 579-588. https://doi.org/10.1080/00071668.2021.1887453

55. Sadr V, Nguyen HTT, Pineda L, Han Y, & Toghyani M. Synergistic Effects of Hydroxychloride and Organic Zinc on Performance, Carcass Characteristics, Liver and Tibia Mineral Profiles of Broiler Chickens.
Biol. Trace Elem Res.. 2024; 1-10. https://doi.org/10.1007/s12011-024-04385-0