استفاده از مکمل کیلاته در جیره چوچه‌های گوشتی آرین و راس بر پاسخ ایمنی و فراسنجه‌های خونی.

سرور سهیل

علوم حیوانی، زراعت، پوهنتون غور. (نویسنده مسئول)، ایمیل آدرس:@sarwarsohail1397

تاریخ دریافت: ۱۳/ ۱۴۰۴/۵ – تاریخ پذیرش: ۲۴/ ۶ /۱۴۰۴ – تاریخ نشر: ۱۴۰۴/۱۰/۹

چکیده

مکمل کیلاته مواد معدنی کم‌مصرف به دلیل قابلیت دسترسی بالا در مقایسه با اشکال غیرعضوی و داشتن مسیرهای جذب متفاوت در سیستم هاضمه، سبب افزایش جذب و کاهش اثرات متقابل با سایر مواد مغذی و کاهش دفع این عناصر می‌شوند. هدف از این مطالعه بررسی اثرات استفاده مکمل کیلاته مواد معدنی کم‌مصرف(بن‌زاچیکن) در جیره چوچه‌های گوشتی راس و آرین بود. بدین منظور ۵۲۰ قطعه چوچه گوشتی از دوسویه آرین و راس با ۸ تیمار و ۵ تکرار به مدت ۴۲ روز با جیره پایه و سطوح مختلف مکمل کیلات تغذیه شدند. ایمنی هومورال از طریق اندازه‌گیری عیار انتی بادی سرم در پاسخ به تزریق گلبول سرخ گوسفندی (SRBC) در روزهای ۲۱ و ۳۵ ارزیابی شد. در پایان دوره، متابولیت‌های خونی شامل پروتئین کل، آلبومین، گلوکز، اسید اوریک، کلسیم و فسفر اندازه‌گیری گردید. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که عیار انتی بادیی علیه (SBRC) بین ترتمنت‌های مختلف ازنظر ایمنوگلوبولین (کل، G و M سرم)، در ۲۷ روزگی تفاوت معنی‌داری نداشته، اما در ۴۲ رزوگی دارای تفاوت معنی‌دار (P <۰/۰۵) بوده. نتایج فراسنجه‌های خونی شامل گلوکوز و البومین معنی‌دار (P <۰/۰۵) بوده، درحالی‌که سایر شاخص‌ها ازنظر آماری معنی‌دار نبودند. اثر نژاد بر متابولیت‌های خونی معنی‌دار نبود؛ هرچند سویه راس پاسخ بهتری نشان داد.

کلمات کلیدی: پاسخ ایمنی، فراسنجه‌های خونی، مکمل کیلاته

استناد: سهیل، سرور. (۱۴۰۴). استفاده از مکمل کیلاته در جیره چوچه‌های گوشتی آرین و راس بر پاسخ ایمنی و فراسنجه های خونی. *مجله علمی- تحقیقی پوهنتون غور*، **۲(۱)**، ۲۱۷-۲۳۶.

Investigating the effects of using chelate supplements in the diets of Arian and Ross broiler chickens on immune response and blood parameters.

Sarwar Sohail
Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Ghor University. (Corresponding author),
Email address: sarwarsohail1397@gmail.com

Received: 4/8/2025 | Accepted: 15/9/2025 | Published

Abstract

Chelated supplements of trace minerals, due to their high availability compared to inorganic forms and having different absorption pathways in the digestive system, increase absorption, reduce interactions with other nutrients, and reduce excretion of these elements. The aim of this study was to investigate the effects of using a chelated supplement of trace minerals (benzachicon) in the diet of Ross and Arian broiler chickens. For this purpose, 520 broiler chickens from two Arian and Ross strains were fed with a basal diet and different levels of chelated supplements in 8 treatments and 5 replicates for 42 days. Humoral immunity was assessed by measuring serum antibody titers in response to sheep red blood cell (SRBC) injection on days 21 and 35. At the end of the period, blood metabolites, including total protein, albumin, glucose, uric acid, calcium, and phosphorus, were measured. The results showed that the antibody titer against (SBRC) between different treatments in terms of immunoglobulin (total, serum G, and M) did not differ significantly at 27 days of age, but there was a significant difference at 42 days of age ($P < 0.05$). The results of blood parameters, including glucose and albumin, were significant ($P < 0.05$), while other indicators were not statistically significant. The effect of breed on blood metabolites was not significant; however, the Ross strain showed a better response.

Keywords: blood parameters, chelation supplement and Immune response.

Cite: Sohail, Sarwar .(2025). Investigating the effects of using chelate supplements in the diets of Arian and Ross broiler chickens on immune response and blood parameters. *Scientific research journal of Ghor Institute of Higher Education*, *2(1)*, 217-236.

مقدمه

مواد معدنی کم‌مصرف برای رشد و عملکرد چوچه‌های گوشتی ازجمله حفظ سلامت و همچنین تولید انساج استخوانی ضروری بوده (Echeverry et al., 2016; M'Sadeq et al., 2018) ، و علائمی مانند کاهش مصرف خوراک، تأخیر در رشد و حتی مرگ می‌تواند ناشی از کمبود آن‌ها باشد (Liu et al., 2014). فعال کردن سیستم‌های انزایم‌های انتی‌اکسیدانی، مانند، سلنیوم درگلوتاتیون پراکسیداز (GSH-PX)، و جست، مس و منگنز فعال‌کننده سوپر اکساید دیسموتاز هستند. آهن به‌عنوان بخشی از کاتالاز (CAT) معمولاً به شکل غیرعضوی در جیره طیور برای تأمین نیازهای تغذیه‌ای استفاده می‌شود (Sun et al., 2015; wang et al., 2019).

اشکال غیرعضوی مواد معدنی کم‌مصرف به‌راحتی از نمک‌های معدنی جدا و در معرض pH اسیدی در بخش بالایی سیستم هاضمه (GIT) موجب افزایش بروز تعامل با سایر ترکیبات جیره در GIT شده، دسترسی آن‌ها را برای جذب کاهش داده و درنتیجه دفع در خاک و آب افزایش‌یافته که نتیجه آن آلودگی محیطی خواهد شد (Zhu et al., 2019).

عناصر کم‌مصرف از منابع عضوی و منابع غیرعضوی تشکیل می‌شوند. منابع غیرعضوی مانند سولفات‌های معمولی، اکسایدها، کلوریدها و کاربونیت‌ها دارای قابلیت دسترسی پایین هستند. کیلات‌ها ترکیبی از امینواسیدها، پروتئین‌های هایدرولیز شده و پلی‌ساکاریدها بانمک‌های محلول قابل‌دسترس می‌باشند. باتوجه به پایداری کیمیاوی و ناهمگونی فیزیکی آن-ها در شکل کیلات، مواد معدنی عضوی کمیاب قابلیت زیستی بالاتری را برای حیوانات نسبت به مواد معدنی غیرعضوی دارند (Ghasemi et al., 2020). علت اصلی افزایش قابلیت دسترسی مواد معدنی، سیستم انتقال امینو اسید یا پپتاید است که برای جذب مواد معدنی کم‌مصرف عضوی استفاده می‌شود (Muszyński et al., 2017). شکل عضوی مواد معدنی کم‌مصرف به دلیل قابلیت دسترسی بالاتر نسبت به اشکال غیرعضوی مانند سولفات‌ها، اکسایدها، کاربونیت‌ها و فسفات‌ها به‌طورمعمول در جیره‌های چوچه‌های گوشتی بیش‌تر مورداستفاده قرار می‌گیرند (Nollet et al., 2008; Singh et al., 2015; Ramos-Vidales et al., 2019).

عناصر کم‌مصرف عضوی به دلیل ساختار پایداری‌شان، می‌توانند از جذب و رسوب مواد معدنی از طریق عوامل انتی گونی است (مانند هیومیک اسید) در مجرای روده، جلوگیری کنند.

مکمل‌ها یا کیلات‌های آمینو اسید شکل اصلی جذب و انتقال آیون فلزی موجودات زنده و هم-چنین واسطه‌های سنتز پروتئین موجودات هستند که می‌توانند بسیاری از فرایندهای بیو کیمیاوی را کاهش دهند، سرعت جذب را تسریع کنند و باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی شوند. نیازهای تغذیه‌ای حیوانات نیز می‌تواند با مصرف کم‌تر مواد معدنی عضوی به‌عنوان مکمل تأمین شود (Nollet et al., 2007; Richards et al., 2010). امروزه فناوری‌های جدید تولیدکیلات‌های پیشرفته می‌تواند ساختارهای کارآمد در زمینه‌های مختلف علوم ازجمله طب، زراعت، حیوانات فارم و طیور داشته باشد، تولید و عرضه می شو (Hafizi et al., 2015; Fakharzadeh et al., 2020). در این نوع محصولات، تعدادی از تیزاب‌های عضوی به‌طور کنترل‌شده پلمیریزه شده و عناصر معدنی به دلیل میل ترکیبی به عوامل کلیت متصل می‌شوند. مطالعات متعددی تاکنون اثربخشی مکمل‌های معدنی کیلات را برای استفاده در جیره غذایی حیوانات و طیور گزارش کرده‌اند (Seyfori et al., 2019; Seyfori et al., 2018; Mohammadi et al., 2015).

هدف از این تحقیق ارزیابی اثرات جایگزینی مواد معدنی کم‌مصرف به شکل کیلات (بانام تجاری بنزاچیکن)، در سطوح مشابه و یا کاملاً جایگزینی با مواد معدنی غیرعضوی، بر فراسنجه‌های خونی و پاسخ ایمنی در چوچه‌های گوشتی تجاری با سرعت رشد متفاوت شامل نژاد راس و آرین بود.

مواد و روش کار

جوجه گوشتی و جیره آزمایشی

این طرح تحت نظر کمیته اخلاق استفاده از حیوانات آزمایشگاهی پوهنحی زراعت پوهنتون گیلان (RECUG) بر اساس شناسه IR. GUILAN.REC.1402.009 مورد تائید قرار گرفت.

تعداد ۵۲۰ قطعه چوچه گوشتی مربوط به نژاد آرین و راس ۳۰۸ به مدت ۴۲ روز استفاده شد. طرح آزمایشی کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل ۴×۲ با ۸ ترتمنت (چهار ترتمنت مربوط نژاد آرین و چهار ترتمنت مربوط به نژاد راس ۳۰۸) بوده، و هر ترتمنت شامل ۵ تکرار (۱۳ قطعه جوجه در هر تکرار) استفاده گردید. جیره آزمایشی هر دو نژاد برای تأمین مواد مغذی بر اساس کاتالوگ نژاد راس ۳۰۸ تنظیم شدند(جدول ۱). ترتمنت‌های آزمایشی برای نژاد راس و

آرین شامل: ۱) جیره بر پایه جواری و کنجاله سویا (CONT)، حاوی مکمل معدنی غیرکیلاته ۲) جیره پایه به‌علاوه ۲۵۰ گرام در تن خوراک مکمل‌کیلاته بنزا چیکن (SBC_{250}) به‌صورت سرک(On Top) ۳) جیره پایه بدون مکمل غیرعضوی به‌علاوه سطح ۱۰۰۰ گرام در تن خوراک مکمل‌کیلاته بنزا چیکن (SBC_{1000}) با مکمل معدنی غیرعضوی ۴) جیره پایه بدون مکمل غیرعضوی به‌علاوه سطح ۲۰۰۰ گرام در تن خوراک مکمل کیله بنزا چیکن (SBC_{2000}) با مکمل معدنی غیرعضوی .

فراسنجی‌های خونی

به‌منظور اندازه‌گیری فراسنجه‌های خونی در روز ۴۲ پرورش به‌صورت تصادفی از هر قفس دو پرنده انتخاب و از ورید بال خون‌گرفته شد. نمونه‌ها با استفاده از مواد ضد انعقاد خون به‌منظور جداسازی سرم از خون برای اندازه‌گیری گلوکوز، پروتئین کل، البومین اوریک‌اسید کلسیم و فاسفورس قرار داده شد. نمونه‌های خونی تهیه‌شده به مدت ۱۵ دقیقه در دور ۳۰۰۰ سنتریفیوژ شده و پلاسمای به‌دست‌آمده به میکروتیوب منتقل و تا زمان انجام مراحل لابراتواری فراسنجه‌های مربوطه در حرارت ۲۰- درجه سانتی‌گراد در داخل فریزر نگهداری گردید.

اندازه‌گیری فراسنجه‌های موردنظر که با استفاده از دستگاه آتو انالایزر و کیت‌های اختصاصی شرکت پارس آزمون آنالیز شدند (فتحی، ۱۳۹۴؛ Wng et al., 2019). اندازه‌گیری میزان سطح کلسیم (Ca) سرم و فاسفورس (P) سرم، با استفاده از کیت‌های شرکت کیمیاوی حیاتی با روش (Cresol Phthalein Complexone) و دستگاه آتو انالایزر انجام گردید (رودسری و همکاران، ۱۳۸۹) به‌منظور تغییر در میزان گلوکوز بلافاصله بعد از جداسازی سرم گلوکوز اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری سیستم ایمنی هومورال

جهت اندازه‌گیری سیستم ایمنی هومورال، از تست هموگلوتیناسیون که تستی برای تعیین حساسیت ایمنی در جوجه‌ها، با استفاده از انتی بادهای هماگلوتینه‌کننده گلبول‌های سرخ گوسفندی SRBC است، استفاده شد.

طرح آماری

طرح آماری مورداستفاده فاکتوریل ۲×۴ (چهار سطح از مکمل معدنی کیلاته و دو نژاد پرنده) در قالب طرح کاملاً تصادفی بوده و مدل آماری به شرح زیر بود:

$$Xijk = \mu + Ai + Bj + ABij + eijk$$

بر اساس رابطه بالا، Xijk نشان‌دهنده مشاهده آزمایش، μ نشان‌دهنده میانگین کل داده‌ها، Ai نشان‌دهنده اثر عامل مکمل معدنی کیلاته (در چهار سطح صفر، ۲۵۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰)، Bj نشان‌دهنده اثر عامل نژاد پرنده (آرین و یا راس)، ABij نشان‌دهنده اثر متقابل بین دو عامل و eijk نشان‌دهنده خطای آزمایش است. اطلاعات جمع‌آوری‌شده با روش GLM نرم‌افزار SAS تجزیه‌وتحلیل شده و مقایسه معنی‌دار بودن تفاوت اوسط‌ها با استفاده از روش توکی در سطح خطای نوع اول برابر با ۰/۰۵ انجام شد.

جدول۱: اجزا و ترکیبات کیمیاوی جیره غذایی در دوره‌های آغازین، رشد و پایانی

انرژی قابل سوخت‌وساز (kcal/kg)	۲۸۵۰	۲۹۵۰	۳۰۵۰
پروتئین خام	۲۲/۱۷	۲۰/۴۶	۱۸/۵۹
متیونین	۰/۶۴	۰/۵۸	۰/۵۳
متیونین + سیستین	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۸۴
لیزین	۱/۳۴	۱/۲۰	۱/۰۸
ترئونین	۰/۹۵	۰/۸۵	۰/۷۶
والین	۱/۰۳	۰/۹۶	۰/۸۷
آرژنین	۱/۴۴	۱/۳۶	۱/۲۲
ایزولوسین	۰/۹۳	۰/۸۶	۰/۷۸
متیونین قابل‌هضم	۰/۶۱	۰/۵۶	۰/۵۱
متیونین+سیستین قابل‌هضم	۰/۹۰	۰/۸۳	۰/۷۶
لیزین قابل‌هضم	۱/۲۲	۱/۰۹	۰/۹۸
ترئونین قابل‌هضم	۰/۸۲	۰/۷۳	۰/۶۶
وعضوین قابل‌هضم	۰/۹۱	۰/۸۵	۰/۷۷
آرژنین قابل‌هضم	۱/۳۳	۱/۲۷	۱/۱۴
ایزولوسین قابل‌هضم	۰/۸۳	۰/۷۸	۰/۷۰

چربی خام	۴/۴۹	۶/۰۱	۶/۸۰
لینولئیک اسید	۲/۱۳	۲/۹۸	۳/۴۳
فیبر خام	۳/۱۴	۳/۰۹	۲/۹۴
کلسیم	۰/۹۶	۰/۸۷	۰/۷۹
فسفورس قابل‌دسترس	۰/۴۸	۰/۴۴	۰/۴۰
سدیم	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵
پتاشیم	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۷۸
کلورین	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۰
توازن الکترولیت‌ها (mEq/kg)	۲۲۸	۲۲۳	۲۱۰

نتایج و بحث

پاسخ‌های ایمونولوژیک (عیار انتی بادی کل و عیار ایمنوگلوبولین‌های M و G علیه گلبول سرخ گوسفند)

در تحقیق حاضر اثر سطوح مختلف مکمل کیلاته مواد معدنی کم‌مصرف بر میزان عیار انتی بادی کل، IgG و IgM در روزهای ۲۷ و ۴۲ روزگی در (جدول۲) نشان داده‌شده است. نتایج مطالعه‌ای حاضر نشان داد که در روز ۲۷ پرورش تفاوت معنی‌داری برای عیار انتی بادی کل و ایمنوگلوبولین نوع M (IgM) به دست نیامد (P>۰/۰۵) ولی برای عیار IgG معنی‌دار بود (P <۰/۰۵). برعکس در روز ۴۲ پرورش اختلاف معنی‌داری برای عیار انتی بادی کل، ایمنوگلوبولین نوع (IgM) و نوع IgG بین سطوح مختلف مکمل کیلاته مواد معدنی کم‌نیاز نسبت به ترتمنت CONTمعنی‌دار بوده (P <۰/۰۵)، و بالاترین میزان برای ترتمنت SBC2000 ثبت گردید.

نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر، با یافته‌های قالخانباز (۲۰۱۸) مطابقت نداشت. در تحقیق قالخانباز (۲۰۱۸) پرنده‌ها از سن ۲۹ الی ۴۲ روزگی با جیره بدون مواد معدنی و جیره تأمین‌کننده ۳۳٪، ۶۶٪ و ۱۰۰٪ نیاز مواد معدنی تغذیه‌شده و در پایان تفاوت معنی‌داری در میزان ایمنوگلوبولین کل سرم و اختصاصی ایمنوگلوبولین (IgG, IgM) سرم علیه گلبول سرخ گوسفند بین سطوح مختلف مکمل‌ها به دست نیامد. نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های زمانی و

همکاران (۲۰۲۳) که در آن پرنده‌ها از سن ۳۵ تا ۴۲ روزگی با جیره حاوی مکمل کیلاته در سطوح ۳۳٪، ۶۶٪ و ۱۰۰٪ نیاز تغذیه شدند و هیچ اختلاف معنی‌داری در میزان ایمنوگلوبولین کل سرم و اختصاصی (IgG, IgM) علیه گلبول سرخ گوسفند بین واحدهای آزمایشی به دست نیامد، مطابقت ندارد. در تحقیقی دیگری (Jain et al., 2021) با استفاده از عناصر (جست سلنیوم و کروم) به شکل عضوی و غیرعضوی نتایج نشان داد که غلظت IgG پلاسما بین ترتمنت‌های مختلف دریافت‌کننده شکل عضوی مواد معدنی کم‌نیاز اختلاف معنی‌داری (۰/۰۵> P) نشان داد که با یافته‌های مطالعه حاضر مطابقت دارد.

به‌طوری کلی نتایج حاصله در این مطالعه حاکی از آن است که بالاترین سطوح ایمنی ایجادشده برای همه انتی بادی‌ها به ترتیب در روز ۲۷ و ۴۲ خون‌گیری مربوط به ترتمنت‌های SBC2000 و SBC1000 در مقایسه با ترتمنت CONT بوده و براین اساس می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از دو سطح مورداشاره مکمل کیلاته نسبت به شکل غیرعضوی در ایجاد سطح بهینه ایمنی برتری دارد.

جدول ۲ اثر مکمل کیلاته بر عیار انتی بادی کل و عیار ایمنوگلوبولین‌های M و G علیه گلبول سرخ گوسفند (بر اساس لوگاریتم پایه دو) در چوچه‌های گوشتی در سن ۲۷ روزگی و ۴۲ روزگی

مکمل کیلاته	ایمنوگلوبولین کل سرم		ایمنوگلوبولین نوع G سرم		ایمنوگلوبولین نوع M سرم	
	۲۷ روزگی	۴۲ روزگی	۲۷ روزگی	۴۲ روزگی	۲۷ روزگی	۴۲ روزگی
CONT	۱/۲۵	۱/۹۵^{b}	۰/۲۵^{b}	۰/۶۵^{b}	۱/۰۰	۱/۳۰^{b}
SBC_{250}	۱/۴۰	۲/۹۵^{a}	۰/۴۰^{ab}	۰/۸۰^{b}	۱/۰۰	۲/۱۵^{a}
SBC_{1000}	۱/۶۰	۳/۳۰^{a}	۰/۶۰^{ab}	۱/۲۰^{ab}	۱/۰۰	۲/۱۰^{a}
SBC_{2000}	۱/۷۰	۳/۶۵^{a}	۰/۸۰^{a}	۱/۶۰^{a}	۰/۹۰	۲/۰۵^{a}
SEM	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۱۷
P-value	۰/۰۹۶۵	<.۰۰۰۱	۰/۰۲۷۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۸۹۸	۰/۰۰۲۲

CONT: جیره شاهد. SBC_{250}، SBC_{1000} و SBC_{200} به ترتیب جیره شاهد به‌علاوه سطوح ۲۵۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ گرام در تن خوراک مکمل کیلاته مواد معدنی کم‌نیاز.

**حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح (۰/۰۵> P) است..

اثر نژاد بر عیار انتی بادی کل و عیار ایمنوگلوبولین‌های M و G علیه گلبول سرخ گوسفند.

داده‌های مربوط به اثر نژاد بر عیار انتی بادی کل و عیار ایمنوگلوبولین‌های M و G علیه گلبول سرخ گوسفند (بر اساس لوگاریتم پایه دو) در جوجه‌های گوشتی در سن ۲۷ روزگی و ۴۲ روزگی در (جدول ۳)، ارائه‌شده. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که عیار انتی بادی کل و عیار ایمنوگلوبولین‌های G و M علیه گلبول سرخ گوسفند در بین نژاد آرین و راس اختلاف معنی‌داری نداشتند (P>۰/۰۵).

زمانی در سال ۱۳۹۹ سطوح مختلف کیلاته معدنی را روی چوچه‌های آریوراکرز در طی ۴۲ روز بررسی کرد که تفاوت بین ترتمنت‌ها در عیار انتی بادی کل و ایمنوگلوبولین‌های M و G قابل‌ملاحظه نبودند. بین ترتمنت‌های حاضر در پارامترهای متذکره نیز تفاوت معنی‌دار نبود

جدول ۳ اثر نژاد بر عیار انتی بادی کل و عیار ایمنوگلوبولین‌های M و G علیه گلبول سرخ گوسفند (بر پایه لوگاریتم پایه دو) در چوچه‌های گوشتی در سن ۲۷ روزگی و ۴۲ روزگی

نژاد	ایمنوگلوبولین کل سرم		ایمنوگلوبولین نوع G سرم		ایمنوگلوبولین نوع M سرم	
	۲۷ روزگی	۴۲ روزگی	۲۷ روزگی	۴۲ روزگی	۲۷ روزگی	۴۲ روزگی
Arian	۱/۴۵	۳/۰۲	۰/۵۰	۱/۰۵	۰/۹۵	۱/۹۷
Ross 308	۱/۵۲	۲/۹۰	۰/۵۲	۱/۰۷	۱/۰۰	۱/۸۲
SEM	۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۱۲
P-value	۰/۵۸۳۵	۰/۶۱۴۰	۰/۸۵۱۵	۰/۸۷۹۸	۰/۱۳۸۰	۰/۳۹۰۴

اثرات متقابل نژاد و سطوح مختلف جیره بر عیار انتی بادی کل و اختصاصی (IgG, IgM)

یافته‌های اثرات متقابل، بین نژاد و سطوح مختلف جیره بر عیار انتی بادی کل و عیار ایمنوگلوبولین‌های M و G علیه گلبولی سرخ گوسفند در (جدول ۴) ارائه‌شده است. نتایج نشان داد که اثر معنی‌داری بین نژاد و سطوح مختلف مکمل کیلاته در ارتباط با عیار انتی بادی کل و اختصاصی در ۲۷ و ۴۲ روزگی پرورش وجود نداشته (P>۰/۰۵)، بالاترین میزان عیار انتی بادی

کل و اختصاصی در روزهای ۲۷ و ۴۲ پرورش برای هر دو نژاد برای ترتمنت SBC2000 به دست آمد.

بالا بودن مقدار نشان‌دهنده پاسخ و عملکرد بهتر سیستم ایمنی پرنده (بالا بودن میزان انتی بادی تولیدی) به آنتی‌ژن (SRBC) بوده و می‌توان نتیجه گرفت که سیستم ایمنی از شرایط مناسب و مطلوب برخوردار است. نتایج مطالعه‌ای نشان داد که اشکال معدنی عضوی نسبت به اشکال معدنی غیرعضوی در چوچه‌های گوشتی تحت تنش حرارتی منجر به عیارهای قابل‌توجهی بالاتری از نوع IgG و IgM می‌شود (Ghazi et al., 2012)، بخصوص عنصر جست که نقش اساسی در فعالیت‌های ایمنی از طریق فعال شدن و تکثیر لنفوسیت‌ها و به‌طور مشخص حجرات T که باعث تحریک مکانیزم‌های دفاعی حجرات می‌شوند. اثر تعدیل‌کننده ایمنی جست همچنین منجر به افزایش فعالیت تیموسیت‌ها، ماکروفاژها و هتروفیل‌ها و همچنین افزایش تولید انتی بادی شده و پوتانشیل پاسخ هومورال را افزایش می‌دهد (Jarosz et al., 2019).

جدول ۴ اثرات متقابل نژاد و سطوح مختلف مکمل کیلاته بر عیار انتی بادی کل و عیار ایمنوگلوبولین‌های M و G علیه گلبول سرخ گوسفند (بر پایه لوگاریتم پایه دو) در چوچه‌های گوشتی در سن ۲۷ روزگی و ۴۲ روزگی

نژاد	مکمل کیلاته	ایمنوگلوبولین کل سرم		ایمنوگلوبولین نوع G سرم		ایمنوگلوبولین نوع M سرم	
		۲۷ روزگی	۴۲ روزگی	۲۷ روزگی	۴۲ روزگی	۲۷ روزگی	۴۲ روزگی
Arian	CONT	۱/۳۰	۱/۹۰	۰/۳۰	۰/۵۰	۱/۰۰	۱/۴۰
	SBC_{250}	۱/۲۰	۳/۱۰	۰/۲۰	۱/۱۰	۱/۰۱	۲/۰۱
	SBC_{1000}	۱/۶۰	۳/۳۰	۰/۶۰	۱/۱۰	۱/۰۱	۲/۲۰
	SBC_{2000}	۱/۷۰	۳/۸۰	۰/۹۰	۱/۵۰	۰/۸۰	۲/۳۰
Ross 308	CONT	۱/۲۰	۲/۰۱	۰/۲۰	۰/۸۰	۱	۱/۲۰
	SBC_{250}	۱/۶۰	۲/۸۰	۰/۶۰	۰/۵۰	۱	۲/۳۰
	SBC_{1000}	۱/۶۰	۳/۳۰	۰/۶۰	۱/۳۰	۱	۲/۰۲
	SBC_{2000}	۱/۷۰	۳/۵۰	۰/۷۰	۱/۷۰	۱	۱/۸۰
	SEM	۰/۱۹	۰/۳۴	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۰۴	۰/۲۴
	P-value	۰/۵۷۷۵	۰/۹۱۳۳	۰/۴۰۸۷	۰/۱۹۵۲	۰/۰۸۹۸	۰/۴۳۹۴

اثر مکمل کیلاته بر فراسنجه‌های خونی

نتایج اثر سطوح مختلف مکمل کیلاته مواد معدنی کم‌نیاز بر فراسنجه‌های خونی در (جدول۵) ارائه‌شده است. نتایج نشان داد که به‌جز گلوکوز و البومین دیگر فراسنجه‌های خونی تحت تأثیر سطوح مختلف مکمل کیلاته مواد معدن کم‌نیاز قرار نگرفتند. در تحقیق حاضر سطوح مختلف مکمل کیلاته بر میزان کلسیم سرم اثر معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵)، اما ازنظر عددی ترتمنت دریافت‌کننده به شکل کیلاته در سطح SBC250 و SBC2000 سبب افزایش میزان کلسیم و فاسفورس نسبت به سایر سطوح مکمل کیلاته و ترتمنت CONT شد. عدم تفاوت معنی‌دار در کلسیم و فاسفورس توسط پاراک و استراکووا (۲۰۱۱)، داس و همکاران (۲۰۱۴) در شرایط استفاده از عنصر جست غیرعضوی با جست عضوی در چوچه‌های گوشتی گزارش گردید که با یافته‌های حاضر مطابقت دارد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که ازنظر سطح گلوکوز سرم، بین سطوح مختلف مکمل کیلاته مواد معدنی کم‌نیاز و ترتمنت CONT اختلاف معنی دارا بوده (P <۰/۰۵)، بالاترین میزان گلوکوز سرم (۲۰۷/۳۲ میلی‌گرم) مربوط به ترتمنت SBC2000 و پایین‌ترین آن (۱۶۱/۱۵ میلی‌گرم) مربوط به ترتمنت CONT بود. این نتیجه در خصوص سطح گلوکوز با یافته‌های داس و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد.

نتایج مربوط به استفاده سطوح مختلف مکمل کیلاته مواد معدنی کم‌نیاز در مقایسه با ترتمنتCONT حاکی از تأثیر معنی‌دار آن‌ها بر میزان البومین سرم است(P <۰/۰۵)، به این منظور که بیش‌ترین میزان البومین مربوط به ترتمنت CONTبود. فنگ و همکاران (۲۰۱۰) در آزمایش‌های خود با چوچه‌های گوشتی که با عنصر جست عضوی تغذیه‌شده بودند، تفاوت معنی‌داری در سطح البومین سرم گزارش نکردند که با یافته‌های مطالعه حاضر مطابقت دارد.

اوریک‌اسید دارای خواص آنتی‌اکسیدانی و محصول اصلی متابولیزم نایتروجن است. سطوح مختلف مکمل کیلاته مواد معدنی کم‌نیاز و ترتمنت CONT بر میزان اوریک‌اسید سرم تأثیر معنی‌داری نداشتند (P>۰/۰۵). علی‌رغم عدم اختلاف معنی‌دار؛ سطوح مختلف مکمل کیلاته نسبت به ترتمنت CONT پایین‌ترین میزان اوریک‌اسید را به خود اختصاص دادند. همبستگی مثبتی بین سطح اوریک‌اسید پلاسما و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن در نتایج محققان دیگر

نیز گزارش‌شده است. به‌علاوه بین استرس اکسیداتیو و اوریک‌اسید رابطه‌ای مستقیم وجود داشته، به‌نحوی‌که با ایجاد استرس اکسیداتیو سطح اوریک‌اسید خون افزایش تا فرآورده‌های ناشی از استرس اکسیداتیو خنثی شود (Tsahar et al., 2006).

انالیز داده‌های به‌دست‌آمده در مورد شاخص پروتئین، نشان داد که بین سطوح مختلف مکمل کیلاته مواد معدنی کم‌نیاز و ترتمنت CONT اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. اما ترتمنت CONTنسبت به سطوح مختلف مکمل کیلاته دارای مقدار کمتر پروتئین کل است. این نتیجه با یافته‌های فنگ و همکاران (۲۰۱۰) انطباق دار.

جدول۵ اثر مکمل کیلاته معدنی بر متابولیت‌های خونی در ۴۲ روزگی دوره پرورش

مکمل کیلاته	کلسیم[۱]	فاسفورس[۱]	گلوکوز[۱]	البومین[۱]	پروتئین کل[۱]	اوریک‌اسید[۱]
CONT	۸/۲۱	۵/۵۹	۱۶۱/۱۵^{b}	۱/۸۶^{a}	۶/۵۰	۳/۷۹
SBC_{250}	۹/۱۵	۵/۴۱	۱۷۶/۷۷^{ab}	۱/۶۵^{ab}	۶/۸۹	۲/۲۱
SBC_{1000}	۸/۷۸	۵/۶۵	۱۸۶/۵۰^{ab}	۱/۳۲^{b}	۶/۷۰	۳/۰۸
SBC_{2000}	۸/۹۱	۵/۹۸	۲۰۷/۳۲^{a}	۱/۵۱^{ab}	۶/۸۰	۳/۳۰
SEM	۰/۲۶	۰/۲۸	۸/۳۵	۰/۱۳	۰/۴۴	۰/۳۶
P-value	۰/۰۹۴۷	۰/۵۵۲۲	۰/۰۰۱۴	۰/۰۴۳۴	۰/۹۰۹۰	۰/۱۸۷۰

CONT: جیره شاهد. SBC_{250}، SBC_{1000} و SBC_{200} به ترتیب جیره شاهد به‌علاوه سطوح ۲۵۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ گرام در تن خوراک مکمل کیلاته مواد معدنی کم‌نیاز.

**حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح ($P <$ ۰/۰۵) است.. SEM خطای استاندارد میانگین‌ها.

[۱] میلی‌گرام در دیسی‌لیتر.

اثر نژاد بر فراسنجه‌های خونی

نتایج مربوط به اثر نژاد بر فراسنجه‌های خونی در (جدول ۶)، ارائه‌شده است. انالیز داده‌ها نشان می‌دهد که به جزء اوریک‌اسید دیگر فراسنجه‌های خونی در بین دو نژاد اختلاف معنی‌داری نداشته ($P>$۰/۰۵)، اگرچه ازنظر عددی نژاد راس دارای بالاترین میزان کلسیم، فاسفورس، گلوکوز و البومین بوده و در مقابل پایین‌ترین میزان پروتئین کل و اوریک‌اسید را نسبت به نژاد آرین داشت. در همین راستا زکریا و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی بر بالای چوچه‌های گوشتی راس با استفاده از منبع جست به‌صورت عضوی و غیرعضوی گزارش کردند که هیچ‌کدام از

ترتمنت‌ها بر میزان گلوکوز، کلسیم، البومین و کلسترول تفاوت معنی‌دار ایجاد نکرده که با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی دارد. در تحقیقی (Kong et al., 2022) با استفاده از منابع غیرعضوی و مکمل عضوی با سطوح مختلف ۱۵۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرام بر کیلوگرام در جیره چوچه‌های گوشتی نتیجه این بود که تفاوت معنی‌داری در میزان البومین، الکالین فسفاتاز و پروتئین کل وجود نداشته، اما ازنظر عددی ترتمنت‌های دریافت‌کننده سطح ۱۵۰٪ و ۳۰۰٪ نیاز مکمل کیلاته عملکردی بهتری را از خود نشان دادند که با یافته‌های مطالعه حاضر منطبق است. شاخص‌های بیوکیمیاوی سرم ازجمله شاخص‌های کلیدی هستند که می‌توانند منعکس‌کننده اثرات جیره و مواد مغذی حیوان مصرف‌کننده باشد. مکمل عناصر کم‌نیاز (مس، آهن، جست و منگنز) با متابولیزم چربی مرتبط بوده و عناصر معدنی به‌خصوص جست در تشکیل ساختار اسکلتی، ایمنی حجرات، بلوغ جنسی و رشد انساج بدن نقش دارند (Lü and Combs, 1988).

جدول ۶ اثر نژاد بر متابولیت‌های خونی در ۴۲ روزگی پرورش

نژاد	کلسیم[1]	فاسفورس[1]	گلوکوز[1]	البومین[1]	پروتئین کل[1]	اوریک-اسید[1]
Arian	۸/۵۳	۵/۶۵	۱۸۰/۶۳	۱/۴۹	۶/۸۸	۳/۳۶[a]
Ross 308	۸/۹۹	۵/۷۶	۱۸۵/۲۳	۱/۶۷	۶/۴۱	۲/۳۳[b]
SEM	۰/۱۸	۰/۲۰	۵/۹۰	۰/۰۹	۰/۳۱	۰/۲۵
P-value	۰/۰۸۷۲	۰/۷۱۴۶	۰/۵۸۴۹	۰/۱۷۵۸	۰/۲۹۶۳	۰/۰۰۸۳

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در آن ستون است (P<۰/۰۵)

[1] میلی‌گرام در دسی‌لیتر. SEM خطای استاندارد میانگین‌ها.

اثر متقابل نژاد و مکمل کیلاته مواد معدنی کم‌مصرف برا فراسنجه‌های خونی

نتایج مربوط به اثرات متقابل، بین نژاد و سطوح مختلف جیره در پاسخ با فراسنجه‌های خونی در (جدول۷) ارائه شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که فراسنجه‌های خونی (کلسیم و گلوکوز) در بین دو نژاد و سطوح مختلف مکمل کیلات مواد معدنی کم‌نیاز اختلاف معنی‌دار (P <۰/۰۵) و بقیه فراسنجه‌های خونی مانند (فاسفورس، البومین، پروتئین کل و اوریک‌اسید) عدم معنی‌داری را نشان دادند (P>۰/۰۵)، طوری که ازنظر عددی پایین‌ترین میزان فراسنجه‌های

خونی (کلسیم، فاسفورس و البومین) برای نژاد راس که مربوط به سطح SBC2000 و بالاترین فراسنجه‌های خونی (گلوکوز، پروتئین کل و اوریک‌اسید) برای نژاد آرین مربوط به سطح SBC2000 نسبت به ترتمنت CONT بود.

به‌خوبی تشخیص داده‌شده است که فراسنجه‌های خونی بیانگر شاخص‌های سلامت و عملکرد هستند. نتایج مطالعه قاسمی و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد که شاخص‌های بیو کیمیائی خون در جوجه گوشتی تغذیه‌شده با سطوح کاهش‌یافته مواد معدنی کم‌نیاز به شکل گلیسینت معدنی عملکرد بهتری داشتند. در تحقیقی دیگری (Sun et al., 2020) در مرغ مادر گوشتی با استفاده از چهار سطح مکمل عضوی و غیرعضوی نتیجه گرفته شد که ترتمنت با سطح متوسط مکمل عضوی موجب افزایش غلظت سرمی پروتئین کل، اوریک‌اسید، البومین، کلسیم و فاسفورس در مقایسه به ترتمنت کنترل شد که با یافته‌های مطالعه حاضر مطابقت دارد. نتایج مشابهی نیز توسط Ayoola و همکاران (۲۰۲۰) گزارش شد که در آن شکل عضوی مواد معدنی کم‌نیاز تشکیل آیون‌ها آزاد مواد معدنی کم‌نیاز در سطح روده را کاهش داده، و درنتیجه موجب کم‌تر شدن احتمال تشکیل ترکیب کلسیم نامحلول با سایر مواد معدنی کم‌نیاز و درنهایت باعث افزایش میزان سطح کلسیم سرم می‌شود.

جدول ۷ اثرات متقابل نژاد و سطوح مکمل‌کیلاته معدنی بر متابولیت‌های خونی در ۴۲ روزگی دوره پرورش

نژاد	مکمل کیلاته	کلسیم[1]	فاسفورس[1]	گلوکوز[1]	البومین[1]	پروتئین‌کل[1]	اوریک‌اسید ۱
Arian	CONT	۷/۹۹^{b}	۵/۴۰	۱۶۹/۲۲^{bc}	۱/۹۷	۶/۳۱	۳/۱۴
	SBC_{250}	۹/۰۴^{a}	۵/۳۰	۱۵۶/۹۴^{c}	۱/۵۲	۶/۶۹	۲/۴۵
	SBC_{1000}	۹/۰۱^{a}	۵/۹۶	۱۷۲/۱۱^{bc}	۱/۰۹	۶/۹۶	۴/۱۶
	SBC_{2000}	۸/۰۸^{b}	۵/۹۶	۲۲۴/۱۷^{a}	۱/۳۹	۷/۵۷	۳/۶۸
Ross 308	CONT	۹/۸۳^{a}	۶/۱۸	۱۵۳^{c}	۱/۷۵	۶/۷۰	۲/۴۵
	SBC_{250}	۹/۲۵^{a}	۵/۵۲	۱۹۶/۵۹^{a}	۱/۷۷	۷/۰۹	۱/۹۶
	SBC_{1000}	۸/۵۵^{a}	۵/۳۴	۲۰۰/۸۸^{a}	۱/۵۵	۶/۴۳	۲/۰۱
	SBC_{2000}	۸/۳۴^{a}	۶/۲۵	۱۹۰/۴۷^{a}	۱/۶۳	۵/۴۳	۲/۹۲
	SEM	۰/۳۷	۰/۴۰	۱۱/۷۹	۰/۱۸	۰/۶۲	۰/۵۱
	P-value	۰/۰۲۷۶	۰/۳۹۳۴	۰/۰۱۰۱	۰/۳۲۷۲	۰/۱۶۱۳	۰/۳۷۰۱

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در آن ستون است (P<۰/۰۵)

نتیجه گیری

ازآنجایی‌که نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه حاکی از آن است که بالاترین سطوح ایمنی ایجادشده برای همه انتی بادی‌ها به ترتیب در روز ۲۷ و ۴۲ خون‌گیری مربوط به ترتمنت‌های SBC2000 و SBC1000 در مقایسه با ترتمنت CONT بوده و براین‌اساس می‌توان بیان داشت که استفاده از دو سطح مورداشاره مکمل کیلاته نسبت به شکل غیرعضوی در ایجاد سطح بهینه ایمنی برتری دارد. اگرچه نتایج حاصل از اثر نژاد بر پاسخ ایمنی کل و ایمنوگلوبولین‌های M و G تفاوت معنی‌دار نبود ولی نژاد راس پاسخ مثبت‌تری داشتند بنابراین بالا بودن مقدار نشان‌دهنده پاسخ و عملکرد بهتر سیستم ایمنی پرنده (بالا بودن میزان انتی بادی تولیدی) به آنتی‌ژن (SRBC) بوده و می‌توان گفت که سیستم ایمنی از شرایط مناسب و مطلوب برخوردار است. طبق یافته‌های نتایج مختلف مشخص‌شده اشکال معدنی عضوی نسبت به اشکال معدنی غیرعضوی در چوچه‌های گوشتی تحت تنش حرارتی منجر به عیارهای قابل‌توجهی بالاتری از نوع IgG و IgM می‌شود بخصوص عنصر جست که نقش اساسی در فعالیت‌های ایمنی از طریق فعال شدن و تکثیر لنفوسیت‌ها و به‌طور مشخص حجرات T که باعث تحریک مکانیزم‌های دفاعی حجرات می‌شوند. اثر تعدیل‌کننده ایمنی جست همچنین منجر به افزایش فعالیت تیموسیت‌ها، ماکروفاژها و هتروفیل‌ها و همچنین افزایش تولید انتی بادی شده و پوتانشیل پاسخ هومورال را افزایش می‌دهد.

طبق نتایج مطالعه‌ای حاضر اگرچه که متابولیت‌های خونی مرتبط با ایمنی اثر معنی‌دار نداشت ($P>0/05$)، اما افزایش میزان گلوکوز سرم و سایر فراسنجه‌های خونی برای ترتمنت‌های SBC_{2000} و SBC_{250} به دست آمد که افزایش فراسنجه‌های خونی بیانگر شاخص‌های سلامت و عملکرد هستند.

منابع

رود سری، م.ح و دیگران. (۱۳۸۹). اثرات آنزیم فیتاز (ناتافوس) و مخمر ساکرومایسس سجستسیه (بایوساف) بر عملکرد، کلسیم و فسفورس خون چوچه‌های گوشتی. مجله علوم حیوانی ایران، دوره ۴۱، شماره ۱، ص ۴۳ تا ۵۱

زمانی، س. (۱۳۹۹). تأثیر استفاده از کیلات‌های عناصر کم نیاز برعملکرد، مقاومت و ترکیب استخوان، پاسخ های ایمنی و فراسنجه های خونی جوجه های گوشتی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. رشته علوم حیوانی، پوهنحی زراعت پوهنتون صنعتی اصفهان.

فتحی، م.، (۱۳۹۴) اثرات تغذیه سطوح مختلف ال- آرژنین بر برخی فراسنجه های خونی، هور مون های تیروئیدی، تلفات و عملکرد جوجه های گوشتی تحت آسیت القایی به روش سرما. نشریه علوم حیوانی، شماره ۱۰۷، ص ۱۹۵ تا ۲۰۶

Ayoola, A. A., Fafiolu, A. O., Oluwatosin, O. O., Osinowo, O. A., & Ariyo, O. W. (2020). Haematological and serum biochemical indices of broiler chickens fed graded levels of inorganic and chelated trace minerals. Nigerian Journal of Animal Production, 47(2), 46-50.

Das, A., Mishra, S.K., Swain, R.K., Sahoo, G., Behura, N.C., Sethi, K., Chichilichi, B., Mishra, S.R. Behera, T., Dhama, K. and Swain, P. (2014) Effects of organic minerals supplementation on growth, bioavailability and immunity in layer chicks. International Journal of Pharmacology, 10(5), 237-247.

Echeverry, H., Yitbarek, A., Munyaka, P., Alizadeh, M., Cleaver, A., Camelo-Jaimes, G., ... & Rodriguez-Lecompte, J. C. (2016). Organic trace mineral supplementation enhances local and systemic innate immune responses and modulates oxidative stress in broiler chickens. Poultry science, 95(3), 518-527.

Fakharzadeh, S., Hafizi, M., Baghaei, M. A., Etesami, M., Khayamzadeh, M., Kalanaky, S., ... & Nazaran, M. H. (2020). Using nanochelating technology for biofortification and yield increase in rice. Scientific Reports, 10(1), 4351.

Feng, J., Ma, W.Q., Niu, H.H., Wu, X.M., Wang, Y. (2010) Effects of zinc glycine chelate on growth, hematological, and immunological characteristics in broilers. Biological trace element research, 133, 203-211.

Ghasemi, H. A., Hajkhodadadi, I., Hafizi, M., Taherpour, K., & Nazaran, M. H. (2020). Effect of advanced chelate technology based trace minerals on growth

performance, mineral digestibility, tibia characteristics, and antioxidant status in broiler chickens. Nutrition & metabolism, 17, 1-12.

Ghasemi, H. A., Kazemi-Bonchenari, M., Khaltabadi-Farahani, A.H. and Khodaei-Motlagh., M. (2013) The effect of feeding rations with different ratios of concentrate to alfalfa hay on blood hematological and biochemical parameters of farmed ostriches (Struthio camelus). Tropical animal health and production, 45, 1635-1640.

Ghazi, S., Habibian, M., Moeini, M.M. and Abdolmohammadi A.R. (2012) Effects of different levels of organic and inorganic chromium on growth performance and immunocompetence of broilers under heat stress. Biological trace element research, 146(3), 309-317.

Hafizi, M., Hajarizadeh, A., Atashi, A., Kalanaky, S., Fakharzadeh, S., Masoumi, Z., Nazaran, M.H. and Soleimani, M. (2015) Nanochelating based nanocomplex, GFc7, improves quality and quantity of human mesenchymal stem cells during in vitro expansion. Stem Cell Research & Therapy, 6(1), 1-15.

Hafizi, M., Hajarizadeh, A., Atashi, A., Kalanaky, S., Fakharzadeh, S., Masoumi, Z., ... & Soleimani, M. (2015). Nanochelating based nanocomplex, GFc7, improves quality and quantity of human mesenchymal stem cells during in vitro expansion. Stem Cell Research & Therapy, 6(1), 1-15.

Jain, A.K., Mishra, A., Singh, A.P., Patel, P., Sheikh, A.A., Chandraker, T.R. and Vandre, R. (2021) Effects of different concentration of organic and inorganic trace minerals (zinc, selenium, and chromium) supplementation on expression of chTLR4 gene and humoral immune response in broilers. Veterinary World, 14(5), 1093.-1101

Jarosz, L., Marek, A. and Gradzki, Z. (2019) Effect of zinc sulfate and zinc glycine chelate on concentrations of acute-phase proteins in chicken serum and liver tissue. Biological trace element research. 187(1):258–272.

Kong, J., Qiu, T., Yan, X., Wang, L., Chen, Z., Xiao, G., Feng, X. and Zhang, H. (2022) Effect of replacing inorganic minerals with small peptide chelated minerals on production performance, some biochemical parameters and antioxidant status in broiler chickens. Frontiers Physiology. 13:1027834. 1-13.

Liu, Y., Ma, Y. L., Zhao, J. M., Vazquez-Añón, M., & Stein, H. H. (2014). Digestibility and retention of zinc, copper, manganese, iron, calcium, and phosphorus in pigs fed diets containing inorganic or organic minerals. Journal of Animal Science, 92(8), 3407-3415.

Liu, Y., Ma, Y.L., Zhao, J.M., Vazquez-Añón, M. and Stein, H.H. (2014). Digestibility and retention of zinc, copper, manganese, iron, calcium, and pHospHorus in pigs fed diets containing inorganic or organic minerals. Journal Animal Science, 92: 3407–3415.

Lü, J. and Combs G. F. (1988) Effect of excess dietary zinc on pancreatic exocrine function in the chick. J. Nutr. 118: 681–689.

Mohammadi, V., Ghazanfari, S., Mohammadi-Sangcheshmeh, A., & Nazaran, M. H. (2015). Comparative effects of zinc-nano complexes, zinc-sulphate and zinc-methionine on performance in broiler chickens. British poultry science, 56(4), 486-493.

M'Sadeq, S. A., Wu, S. B., Choct, M., & Swick, R. A. (2018). Influence of trace mineral sources on broiler performance, lymphoid organ weights, apparent digestibility, and bone mineralization. Poultry science, 97(9), 3176-3182.

Muszyński, S., Tomaszewska, E., Kwiecień, M., Dobrowolski, P., & Tomczyk, A. (2017). Effect of dietary phytase supplementation on bone and hyaline cartilage development of broilers fed with organically complexed copper in a Cu-deficient diet. Biological trace element research, 182, 339-353.

Nollet, L., Huyghebaert, G., & Spring, P. (2008). Effect of different levels of dietary organic (Bioplex) trace minerals on live performance of broiler chickens by growth phases. Journal of Applied Poultry Research, 17(1), 109-115.

Nollet, L., Van der Klis, J. D., Lensing, M., & Spring, P. (2007). The effect of replacing inorganic with organic trace minerals in broiler diets on productive performance and mineral excretion. Journal of Applied Poultry Research, 16(4), 592-597.

Parak, T. and Strakova, E. (2011) Zinc as a feed supplement and its impact on plasma cholesterol concentrations in breeding cocks. Acta Veterinaria Brno, 80(3), 281-285.

Ramos Vidales, D., Gómez Verduzco, G., Cortes Cuevas, A., del Río García, J.C., Fernández Tinoco, S., Chárraga Aguilar, S. and Ávila González, E. (2019) Organic trace minerals on productive performance, egg quality and immune response in Bovans White laying hens. Journal of animal physiology and animal nutrition, 103(5), 1484-1491.

Ramos-Vidales, D., Gómez-Verduzco, G., Cortes-Cuevas, A., del Río-García, J. C., Fernández-Tinoco, S., Chárraga-Aguilar, S., & Ávila-González, E. (2019). Organic trace minerals on productive performance, egg quality and immune

response in Bovans White laying hens. Journal of animal physiology and animal nutrition, 103(5), 1484-1491.

Richards, J. D., Zhao, J., Harrell, R. J., Atwell, C. A., & Dibner, J. J. (2010). Trace mineral nutrition in poultry and swine. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 23(11), 1527-1534.

Richards, J.D., Fisher, P., Wineman,T.D., Atwell, C.A. and Wedekind, K.J. (2010) Estimation of the Zn bioavailability of a Zn chelate relative to Zn sulfate based on tibia Zn and small intestinal metallothionein expression in 2010 International Poultry Scientific Forum, Atlanta, GA.

Richards, J.D., Zhao, J., Harrell, R.J., Atwell, C.A. and Dibner, J.J. (2010) Trace Mineral Nutrition in Poultry and Swine, Journal Animal Science. Vol. 23, No. 11 : 1527 – 1534.

Seyfori, H., Ghasemi, H. A., Hajkhodadadi, I., & Hafizi, M. (2019). Effects of water supplementation of anorganic acid-trace mineral complex on production and slaughter parameters, intestinal histomorphology, and macronutrient digestibility in growing ostriches. Poultry Science, 98(10), 4860-4867.

Seyfori, H., Ghasemi, H. A., Hajkhodadadi, I., Nazaran, M. H., & Hafizi, M. (2018). Growth performance, mineral digestibility, and blood characteristics of ostriches receiving drinking water supplemented with varying levels of chelated trace mineral complex. Biological trace element research, 183, 147-155.

Singh, A. K., Ghosh, T. K. and Haldar, S. (2015) Effects of Methionine Chelate- or Yeast Proteinate-Based Supplement of Copper, Iron, Manganese and Zinc on Broiler Growth Performance, Their Distribution in the Tibia and Excretion into the Environment. Biological trace element research v164:253–260

Sun, J., Dasen, L. and Rubin, S. (2015) Supplemental dietary iron glycine modifies growth, immunefunction, and antioxidant enzyme activities in broiler chickens. Livestock Science, 176: 129–134.

Sun, W., Yaqoob, M.U., Wang, G., Pei, X., Liu, L., Tao, W., Xiao, Z., Wang, M., Huai, M., Li, L. and Pelletierz, W. (2020) Effects of inorganic trace minerals replaced by complexed glycinates on reproductive performance, blood profiles, and antioxidant status in broiler breeders. Poultry Science 99(5):2718–2726.

Tsahar, E., Arad, Z., Izhaki, I. and Guglielmo, C.G. (2006) The relationship between uric acid and its oxidative product allantoin: a potential indicator for the evaluation of oxidative stress in birds. Journal of comparative physiology B, 176, 653-661.

Wang, G., Liu, L.J., Tao, W.J., Xiao, Z.P., Pei, X., Liu, B.J., Wang, M.Q., Lin, G. and Ao, T.Y. (2019a) Effects of replacing inorganic trace minerals with organic trace minerals on the production performance, blood profiles, and antioxidant status of broiler breeders. Poultry Science Journal;98(7):2888-2895.

Zakaria, H.A., Jalal, M.I., AL-Titi, H.H. and Souad, A. (2017) Effect of Sources and Levels of Dietary Zinc on the Performance, Carcass Traits and Blood Parameters of Broilers. Brazilian Journal of Poultry Science, v.19: 519-526.

Zhu, Z., Yan, L., Hu, S., An, S., Lv, Z., Wang, Z., ... & Zhang, A. (2019). Effects of the different levels of dietary trace elements from organic or inorganic sources on growth performance, carcass traits, meat quality, and faecal mineral excretion of broilers. Archives of animal nutrition, 73(4), 324-337.