نشریه علوم دامی
(پژوهش و سازندگی)

شماره ۱۲۴، پاییز ۱۳۹۸
ص‌ص: ۳~۱۶

بررسی سطوح مختلف مواد معدنی ارگانیک و غیرارگانیک بر عملکرد، خصوصیات لاشه، استخوان درشت‌نی و فراسنجه‌های خون جوجه‌های گوشتی

- **دانیال حاجیلری**
دانشجوی دکتری تغذیه دام دانشکده علوم دامی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
- **محمود شمس شرق** (نویسنده مسئول)
دانشیار دانشکده علوم دامی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- **امید عشایری زاده**
استادیار دانشکده علوم دامی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت : اسفند ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش : مهر ۱۳۹۶

شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۱۷۵۶۶۷۳
Email: m_shams196@yahoo.com

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/asj.2018.121016.1655

چکیده

آزمایشی به‌منظور بررسی اثرات سطوح مختلف مواد معدنی ارگانیک و غیر ارگانیک (روی، مس و منگنز) بر عملکرد، خصوصیات لاشه، استخوان درشت‌نی و فراسنجه‌های خون جوجه‌های گوشتی انجام گردید. ۲۲٤ قطعه جوجه خروس سویه راس ۳۰۸ در قالب طرح کاملاً تصادفی به مدت ٤۲ روز پرورش یافتند. ٤ تیمار آزمایشی عبارتند از: T1) شکل غیر ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۱۱۰، ۱٦ و ۱۲۰ میلی‌گرم، T2) شکل ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۱۱۰، ۱٦ و ۱۲۰ میلی‌گرم ، T3) شکل غیر ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۵۵، ۸ و٦۰ میلی‌گرم، T٤) شکل ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۵۵، ۸ و ٦۰ میلی‌گرم. نتایج نشان داد که روی، مس و منگنز ارگانیک نسبت به مواد معدنی غیر ارگانیک باعث بهبود افزایش وزن و ضریب تبدیل غذایی می‌شوند (P<۰/۰۵). رطوبت و pH بستر تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت. اگرچه وقوع و شدت آسیب کف پا در جوجه‌های تغذیه شده با مواد معدنی ارگانیک کمتر بود (تیمارهای ۲ و ٤). تیمارهای دوم و چهارم بیشترین مقدار روی و منگنز در استخوان درشت نی و مس در کبد را داشتند. به لحاظ فراسنجه‌های خون بیشترین مقدار آنزیم آلکالین فسفاتاز و کمترین مقدار کلسترول در تیمارهای دوم و چهارم بود. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که مواد معدنی ارگانیک یک جایگزین مناسب برای مواد معدنی غیر ارگانیک بوده و باعث بهبود عملکرد و سلامت جوجه‌های گوشتی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مواد معدنی ارگانیک، روی، مس، منگنز، جوجه گوشتی

Animal Science Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 124 pp: 3-16

Effects of various levels of organic and inorganic trace minerals on performance, carcass characteristics and blood parameters of broiler chickens

By: Danial Hajilari , Mahmoud Shams Shargh, Omid Ashayerizadeh
Ph.D Student of Animal Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Associate Professor, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Assistant Professor, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: March 2018 **Accepted: October 2018**

A study was conducted to investigate the effect of various levels of organic and inorganic trace minerals (zinc, copper and manganese) on performance, carcass and tibia characteristics and blood parameters of broiler chickens. Two hundred and twenty four one-day old Ross 308 male broilers in a completely randomized design were raised until 42 days. Four experimental treatments were: T1) Inorganic form of Zn, Cu and Mn to 110, 16 and 120 mg/kg, T2) Organic form of Zn, Cu and Mn to 110, 16 and 120 mg/kg, T3) Inorganic form of Zn, Cu and Mn to 55, 8 and 60 mg/kg, T4) Organic form of Zn, Cu and Mn to 55, 8 and 60 mg/kg. Results indicated that organic zinc, copper and manganese supplementation improved ($P< 0.05$) body weight gain and feed conversion ratio compare to inorganic form of the trace minerals. Moisture content and pH of the litter were not affected by the treatments. However, the incidence and severity of FPD were lower in broilers received organic trace minerals (T2 and T4). Highest Zn and Mn content in tibia were found for treatments 2 and 4. Moreover, highest blood alkaline phosphatase enzyme and lowest blood cholesterol were also obtained for treatments 2 and 4. The results showed that organic trace minerals, as alternative to inorganic forms, are useful to improve performance and health of broilers.

Key words: Organic minerals, Zinc, Copper, Manganese, Broiler.

مقدمه

جیره‌های تجاری غالباً حاوی مقادیر زیادی ذرت و سویا هستند که این مواد نمی‌توانند به میزان کافی عناصر مورد نیاز حیوان را فراهم کنند (NRC، ۱۹۹۴؛ Yan و همکاران، ۲۰۰۱). به همین دلیل اضافه کردن مواد معدنی در فرم‌های سولفات و اکسید به‌عنوان یک راه‌کار اقتصادی مؤثر برای تأمین مواد معدنی مورد نیاز پرنده می‌باشد (Leeson and Caston ، ۲۰۰۸).

روی، مس و منگنز جزء عناصر ضروری در تغذیه طیور بوده و برای حفظ سلامتی و بهره‌وری آنها نیاز می‌باشند. این عناصر اجزای چندین سیستم آنزیمی، پروتئین‌ها و مولکول‌های آلی هستند که در متابولیسم واسطه، مسیرهای ترشح هورمون و سیستم‌های ایمنی بدن در طیور نقش دارند. در نتیجه این مواد معدنی بر عملکرد، رشد و توسعه استخوان، کیفیت پوست و ساختار آنزیم‌های جوجه‌های گوشتی تأثیر دارند (Dieck و همکاران، ۲۰۰۳؛ Nollet و همکاران، ۲۰۰۷؛ Manangi و همکاران، ۲۰۱۲).

مواد معدنی ممکن است با فیتات، فیبر، تانن یا سایر مواد معدنی ترکیب شده و تشکیل کمپلکس غیرمحلول دهند که در نتیجه در جذب آنها اختلال به وجود آید (Rossi و همکاران، ۲۰۰۷).

به غیر از شکل‌های معدنی عناصر (سولفات، اکسید و ...) می‌توان از مواد معدنی ارگانیک نیز در جیره استفاده نمود. مواد معدنی

ارگانیک، به اتصال عناصر با کمپلکس‌های آلی مانند پروتئین‌ها، اسیدهای آمینه، پلی‌ساکاریدها و اسیدهای آلی اطلاق می‌شود (Wedekind و همکاران، ۱۹۹۲).

از مهمترین دلایل استفاده از مواد معدنی ارگانیک افزایش جذب و بهره‌وری عناصر و زیست‌فراهمی، ذخیره بیشتر در بافت‌ها و کاهش رقابت و اثرات متقابل می‌باشد (Shyam Sunder و همکاران، ۲۰۱۳؛ Wang و همکاران، ۲۰۰۷؛ Stefanello و همکاران، ۲۰۱۴؛ Trindade Neto و همکاران، ۲۰۱۱).

در نتیجه استفاده از مواد معدنی ارگانیک می‌تواند عملکرد بهتری را برای پرنده به‌دنبال داشته باشد یا می‌توان از سطوح پایین‌تری از مکمل‌های معدنی ارگانیک بدون تأثیر منفی بر عملکرد استفاده نمود (Nollet و همکاران، ۲۰۰۷).

این تحقیق به‌منظور بررسی اثر استفاده از سطوح مختلف مواد معدنی ارگانیک و غیر ارگانیک روی، مس و منگنز بر عملکرد، خصوصیات لاشه و استخوان درشت نی، فراسنجه‌های خون و برخی از آنزیم‌های جوجه‌های گوشتی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق با ۴ تیمار آزمایشی بروی ۲۲۴ قطعه جوجه خروس سویه راس ۳۰۸ (۴ تکرار و ۱۴ قطعه جوجه گوشتی در هر تکرار) و برای مدت ۴۲ روز و بر روی بستر انجام گردید. مواد معدنی مورد آزمایش شامل روی، مس و منگنز بودند که به میزان ۱۰۰ یا ۵۰ درصد مقادیر توصیه شده سویه مورد نظر به شکل ارگانیک و غیر ارگانیک استفاده گردید. ۱۰۰٪ مقادیر توصیه شده سویه مورد نظر برای روی، مس و منگنز به ترتیب ۱۱۰، ۱۶ و ۱۲۰ mg/kg و ۵۰٪ مقادیر توصیه شده به ترتیب ۵۵، ۸ و ۶۰ mg/kg بودند. تیمارهای آزمایشی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: تیمارهای آزمایشی (میلی‌گرم در کیلوگرم)

تیمارها	شکل غیر ارگانیک			شکل ارگانیک		
	روی	مس	منگنز	روی	مس	منگنز
T۱	۱۱۰	۱۶	۱۲۰	–	–	–
T۲	–	–	–	۱۱۰	۱۶	۱۲۰
T۳	۵۵	۸	۶۰	–	–	–
T۴	–	–	–	۵۵	۸	۶۰

عناصر معدنی به شکل سولفات بوده و مواد معدنی ارگانیک مورد استفاده از نوع Bioplex® بودند که شکل متصل شده مواد معدنی با پروتئین و متعلق به شرکت Alltech® می‌باشند.

جدول ۲: اجزا و ترکیب شیمیایی جیره‌های مورد استفاده در آزمایش (درصد)

اجزای خوراک	آغازین (۱۰-۱ روزگی)	رشد (۲۴-۱۱ روزگی)	پایانی (۴۲-۲۵ روزگی)
ذرت	۵۲/۵۵	۵۶/۳۴	۶۱/۵۰
کنجاله سویا	۳۲/۷۹	۲۸/۷۲	۲۳/۲۷
گلوتن ذرت	۷/۰۰	۷/۰۰	۷/۰۰
روغن سویا	۲/۹۲	۳/۶۷	۴/۲۴
دی-ال-متیونین	۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۲۱
ال-لیزین	۰/۴۴	۰/۳۸	۰/۳۸
ال-ترئونین	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۶
مکمل معدنی[1]	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
مکمل ویتامینی[2]	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
نمک	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷
دی‌کلسیم فسفات	۱/۷۹	۱/۵۷	۱/۴۲
کربنات کلسیم	۱/۲۴	۱/۱۳	۱/۰۵
ترکیب مواد مغذی (محاسبه شده)			
انرژی قابل سوخت‌وساز (kcal/Kg)	۳۰۰۰	۳۱۰۰	۳۲۰۰
پروتئین خام ٪	۲۳	۲۱/۵	۱۹/۵
لیزین ٪	۱/۴۴	۱/۲۹	۱/۱۶
متیونین ٪	۰/۶۹	۰/۶۲	۰/۴۷
متیونین + سیستین ٪	۱/۰۸	۰/۹۹	۰/۹۱
ترئونین ٪	۰/۹۷	۰/۸۸	۰/۷۸
سدیم ٪	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
کلسیم ٪	۰/۹۷	۰/۸۷	۰/۷۹
فسفر (قابل دسترس) ٪	۰/۴۸	۰/۴۳	۰/۳۹

۱- مکمل معدنی (غیر ارگانیک) در هر کیلوگرم خوراک تأمین‌کننده مقادیر زیر می‌باشد: ۲۰ میلی‌گرم آهن ، ۱/۲۵ میلی‌گرم ید و ۰/۳ میلی‌گرم سلنیوم.

۲- مکمل ویتامینه در هر کیلوگرم خوراک تأمین‌کننده مقادیر زیر می‌باشد: ۱۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A، ۴۵۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D3، ۶۵ واحد بین‌المللی ویتامین E، ۳ میلی‌گرم ویتامین K3، ۲/۵ میلی‌گرم تیامین، ۶/۵ میلی‌گرم ریبوفلاوین، ۶۰ میلی‌گرم نیاسین، ۱۸ میلی‌گرم اسید پنتوتنیک، ۳/۲ میلی‌گرم پیریدوکسین، ۰/۱۸ میلی‌گرم بیوتین، ۱/۹ میلی‌گرم اسید فولیک، ۰/۰۱۷ میلی‌گرم ویتامین B12 و ۱۶۰۰ میلی‌گرم کولین.

نیازهای تغذیه‌ای جوجه‌ها از جداول احتیاجات سویه راس ۳۰۸ (۲۰۱۴) استخراج و جیره‌ها تنظیم گردید. اجزای خوراک و ترکیب مواد مغذی جیره پایه در جدول ۲ نشان داده شده است. خوراک و آب به‌صورت آزاد در اختیار پرنده قرار داده شد.

در این آزمایش عملکرد جوجه‌های گوشتی شامل افزایش وزن، خوراک مصرفی، ضریب تبدیل غذایی، تلفات و شاخص تولید اندازه‌گیری گردید. رطوبت و pH بستر و شاخص کف پا نیز اندازه‌گیری شد. برای تعیین شاخص کف پا، از هر پن ۴ پرنده

(جمعاً ۱۶ پرنده و ۳۲ پا در هر تیمار) انتخاب و وضعیت سلامتی و میزان آسیب‌دیدگی و زخم شدن بالشتک کف پای چپ و راست آن‌ها بررسی شد و از ۱ تا ۵ به آن‌ها امتیاز داده شد؛ امتیاز دهی به این شرح بود که: امتیاز ۱ بدون آسیب، امتیاز ۲ آسیب به طول ۲ میلی‌متر، امتیاز ۳ آسیب به طول ۲ تا ۷ میلی‌متر، امتیاز ۴ آسیب به طول بیش از ۷ میلی‌متر و امتیاز ۵ آسیب بیش از ۷ میلی‌متر (که شامل انگشتان نیز می‌شد) (Manangi و همکاران، ۲۰۱۲).

در این آزمایش دو قطعه جوجه گوشتی در روز پایانی آزمایش از هر تکرار (جمعاً ۸ پرنده از هر تیمار) به‌گونه‌ای انتخاب شد که وزن آن‌ها نزدیک به میانگین وزن تکرار مربوطه بود و پس از ذبح، خصوصیات لاشه و اندام داخلی (لاشه قابل طبخ، سینه، ران، کبد، قلب، طحال و چربی محوطه بطنی) بر حسب درصد وزن زنده محاسبه گردید (Huyghebaert and Pack ، ۱۹۹۶).

همچنین خصوصیات استخوان درشت‌نی (طول، وزن، قطر، خاکستر، کلسیم، فسفر) و مقادیر مواد معدنی در بافت‌ها (مس در کبد و همچنین منگنز و روی در استخوان درشت‌نی) اندازه‌گیری شد. پس از ذبح پرنده‌ها، استخوان درشت‌نی جوجه‌ها برداشته شده و به مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو قرار داده شد و سپس بافت نرم آن جدا گردید. سپس نمونه‌های استخوان درشت‌نی و کبد برای مدت ۲۴ ساعت در در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. بعد از آن به خاکستر HNO_3 و H_2O_2 اضافه گردید و سپس در دمای منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد تا زمان آزمایش نگهداری گردید. مواد معدنی با اسپکتوفوتومتری جذب اتمی اندازه‌گیری گردید (Star و همکاران، ۲۰۱۲؛ ISO 6869:2001).

برای تعیین فراسنجه‌های خون، ۴ میلی‌لیتر خون از سیاهرگ بال (دو پرنده از هر تکرار جمعاً ۸ پرنده در هر تیمار) گرفته شد. سپس این نمونه‌ها سانتریفیوژ گردیده (۳۰۰۰ دور به مدت ۱۵ دقیقه) و سرم به‌دست‌آمده در دمای منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد تا زمان اندازه‌گیری فراسنجه‌های خون نگهداری گردید (Jegede و همکاران، ۲۰۱۵). فراسنجه‌های خون شامل گلوکز، کلسترول، تری‌گلیسرید و پروتئین کل بودند.

همچنین فعالیت آنزیم‌های کبدی سرم شامل آلانین ترانس آمیناز(ALT)، آسپارتات ترانس آمیناز (AST) و آلکالین فسفاتاز (ALP) با استفاده از کیت‌های پارس آزمون اندازه‌گیری گردید (Idowu و همکاران، ۲۰۱۱).

این آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی انجام گردید. نتایج آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS (۲۰۰۱) تجزیه واریانس شده و مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی و سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام شد. تجزیه آماری شاخص

کف پا، به کمک نرم افزار SPSS ورژن ۱۶ (۲۰۰۷) با آزمون غیرپارامتری کروسکال – والیس انجام گردید.

نتایج

تأثیر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد در جدول ۳ نشان داده شده است. افزایش وزن تیمارهای ۲ و ۴ (تیمارهای حاوی مواد معدنی ارگانیک) به‌طور معنی‌داری بیشتر از بقیه تیمارها (بود ($P<۰/۰۵$). تیمار سوم (شکل غیر ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۵۵، ۸ و ۶۰ میلی‌گرم) دارای کمترین افزایش وزن و بیشترین خوراک مصرفی بود. به لحاظ ضریب تبدیل غذایی تیمار ۲ در مقایسه با تیمارهای ۱ و ۳ بهبود معنی‌داری را نشان می‌دهد ($P<۰/۰۵$). بیشترین شاخص تولید مربوط به تیمار ۴ بود که این اختلاف با تیمارهای ۱ و ۳ معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$).

جدول ۳: تأثیر مواد معدنی ارگانیک و غیر ارگانیک روی، مس و منگنز بر عملکرد جوجه‌های گوشتی

تیمارها[1]	افزایش وزن (گرم)	خوراک مصرفی (گرم)	ضریب تبدیل غذایی	تلفات	شاخص تولید
T۱	۲۵۴۵^{b}	۴۹۰۰^{ab}	۱/۹۲۵^{b}	۰/۲	۲۹۷/۸۹^{b}
T۲	۲۵۸۶^{a}	۴۸۶۸^{b}	۱/۸۸۳^{c}	۰/۱۴	۳۱۵/۳۴^{ab}
T۳	۲۴۳۳^{c}	۴۹۶۰^{a}	۲/۰۳۹^{a}	۰/۲۳	۲۶۳/۷۱^{c}
T۴	۲۵۷۴^{a}	۴۸۷۹^{ab}	۱/۸۹۵^{bc}	۰/۱۴	۳۱۹/۶۹^{a}
سطح احتمال	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۹۵	<۰/۰۰۰۱	۰/۷۵۰	۰/۰۰۰۳
SEM	۱۵/۷۱	۱۴/۴۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۶/۴۲

در هر ستون میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<۰/۰۵).

T۱) شکل غیر ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۱۱۰، ۱۶ و ۱۲۰ میلی‌گرم؛ T۲) شکل ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۱۱۰، ۱۶ و ۱۲۰ میلی‌گرم؛ T۳) شکل غیر ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۵۵، ۸ و ۶۰ میلی‌گرم؛ T۴) شکل ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۵۵، ۸ و ۶۰ میلی‌گرم

در جدول ۴ تأثیر تیمارهای آزمایشی بر خصوصیات بستر (رطوبت و pH) و شاخص کف‌پای جوجه‌های گوشتی نشان داده شده است. نتایج شاخص کف پا نشان می‌دهد کمترین زخم بالشتک کف پا هنگام استفاده از مواد معدنی ارگانیک (تیمارهای ۲ و ۴) ایجاد می‌گردد. بیشترین آسیب به کف پا مربوط به تیمار ۳ بود. تیمارهای مختلف آزمایشی تأثیری بر رطوبت و pH بستر نداشتند.

در جدول ۵ داده‌های مربوط به خصوصیات لاشه و اندام‌های داخلی نشان داده شده است. وزن سینه در تیمار سوم به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارها بود (P<۰/۰۵). برای سایر خصوصیات لاشه و اندام داخلی نیز تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نگردید.

جدول ٤: تأثیر مواد معدنی ارگانیک و غیر ارگانیک روی، مس و منگنز بر خصوصیات بستر و شاخص کف‌پای جوجه‌های گوشتی

تیمارها	بستر		شاخص کف پا
	رطوبت ٪	pH	
T۱	۳۸/۵۳	۸/۷۴	۲/۶۹^{ab}
T۲	۳۹/۶۸	۸/۵۹	۲/۳۱^{b}
T۳	۳۹/۶۳	۸/۷۱	۲/۹۷^{a}
T۴	۳۹/۷۵	۸/۶۱	۲/۳۴^{b}
سطح احتمال	۰/۸۲۹	۰/۴۱۵	۰/۰۰۵
SEM	۰/۵۰	۰/۰۴	۰/۱۴

در هر ستون میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<۰/۰۵).

T۱) شکل غیر ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۱۱۰، ۱۶ و ۱۲۰ میلی‌گرم؛ T۲) شکل ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۱۱۰، ۱۶ و ۱۲۰ میلی‌گرم؛ T۳) شکل غیر ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۵۵، ۸ و ۶۰ میلی‌گرم؛ T۴) شکل ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۵۵، ۸ و ۶۰ میلی‌گرم

تأثیر تیمارها بر خصوصیات استخوان درشت‌نی در جدول ۶ و مقدار مس موجود در کبد در جدول ۷ نشان داده شده است. بیشترین طول استخوان درشت‌نی مربوط به تیمار ۲ و کمترین میزان آن متعلق به تیمار ۳ بود (P<۰/۰۵). استفاده از مواد معدنی ارگانیک (تیمارهای ۲ و ۴) نسبت به غیر ارگانیک (تیمارهای ۱ و ۳) باعث افزایش معنی‌دار وزن استخوان درشت‌نی گردید (P<۰/۰۵). کمترین قطر استخوان درشت نی مربوط به تیمار سوم بود که این اختلاف با سایر تیمارها معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). تیمارهای مختلف تأثیری بر خاکستر، کلسیم و فسفر استخوان درشت‌نی نداشته‌اند. تیمارهای دوم و چهارم در مقایسه با سایر تیمارها دارای بیشترین مقدار روی و منگنز در استخوان درشت نی و مس موجود در کبد بودند (P<۰/۰۵).

نتایج مربوط به فراسنجه‌های خون و همچنین آنزیم‌های کبدی آلانین ترانس آمیناز(ALT)، آسپارتات ترانس آمیناز (AST) و آلکالین فسفاتاز (ALP) موجود در خون جوجه‌های گوشتی در جدول ۸ نشان داده شده است. تری گلیسرید، گلوکز و پروتئین کل خون جوجه‌های گوشتی تحت تأثیر تیمارهای مختلف قرار نگرفت؛ ولی میزان کلسترول خون در جوجه‌های تغذیه شده با مواد ارگانیک (تیمارهای ۲ و۴) به‌طور معنی‌داری کمتر از بقیه تیمارها بود (P<۰/۰۵). تیمارهای حاوی مواد معدنی ارگانیک در جیره غذایی به‌طور معنی‌داری دارای ALP بیشتری از تیمارهای غیر ارگانیک بودند (P<۰/۰۵). ولی هیچ تفاوت معنی‌داری برایALT و AST در تیمارهای مختلف مشاهده نگردید.

جدول ۵: تأثیر مواد معدنی ارگانیک و غیر ارگانیک روی، مس و منگنز بر خصوصیات لاشه جوجه‌های گوشتی (برحسب درصد وزن زنده)

تیمارها	لاشه قابل طبخ	سینه	ران	کبد	قلب	طحال	چربی محوطه بطنی
T۱	۶۶/۸۶	۲۶/۷۸[a]	۲۲/۴	۱/۸۸	۰/۴۹۳	۰/۱۲۲	۱/۷۴۸
T۲	۶۷/۲۲	۲۶/۹۳[a]	۲۲/۶۴	۱/۹۳	۰/۴۸۵	۰/۱۳۱	۱/۷۴۹
T۳	۶۶/۴۵	۲۶/۲۱[b]	۲۲/۴۴	۱/۹۶۴	۰/۴۹۷	۰/۱۲۶	۱/۷۷۵
T۴	۶۷/۵۲	۲۷/۰۴[a]	۲۲/۵۲	۱/۸۹	۰/۴۸۱	۰/۱۲۶	۱/۸۱۳
سطح احتمال	۰/۵۴۲	۰/۰۰۵	۰/۷۲۷	۰/۴۶۹	۰/۴۰۳	۰/۹۰۲	۰/۷۹۵
SEM	۰/۲۷	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۳

در هر ستون میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<۰/۰۵).

T۱) شکل غیر ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۱۱۰، ۱۶ و ۱۲۰ میلی گرم؛ T۲) شکل ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۱۱۰، ۱۶ و ۱۲۰ میلی گرم؛ T۳) شکل غیر ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۵۵، ۸ و ۶۰ میلی گرم؛ T۴) شکل ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۵۵، ۸ و ۶۰ میلی گرم

جدول ٦: تأثیر مواد معدنی ارگانیک و غیر ارگانیک روی، مس و منگنز بر خصوصیات استخوان درشت‌نی جوجه‌های گوشتی

تیمارها	طول mm	وزن gr	قطر mm	خاکستر %	کلسیم %	فسفر %	روی mg	منگنز mg
T۱	۱۰۵/۳۵^{bc}	۱۲/۱۶^{b}	۸/۷۱^{a}	۵۱/۷۸	۲۰/۶۴	۹/۵۹	۲۱۶/۹۹^{b}	۱۳/۳۹^{c}
T۲	۱۰۸/۰۸^{a}	۱۲/۵۷^{a}	۹/۰۳^{a}	۵۲/۹۵	۲۰/۸۸	۱۰/۲۲	۲۲۹/۵۹^{a}	۱۵/۴۰^{a}
T۳	۱۰۳/۶۹^{c}	۱۱/۹۴^{b}	۸/۳۶^{b}	۵۰/۶۶	۲۰/۳۳	۹/۴۶	۲۰۸/۵۳^{b}	۱۱/۹۷^{d}
T۴	۱۰۷/۶۳^{ab}	۱۲/۴۶^{a}	۹/۰۸^{a}	۵۲/۸۵	۲۰/۶۷	۹/۶۷	۲۲۸/۶۸^{a}	۱۴/۳۶^{b}
سطح احتمال	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۷	۰/۱۹۰	۰/۳۴۶	۰/۱۶۹	۰/۰۰۰۲	<۰/۰۰۰۱
SEM	۰/۴۹	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۴۲	۰/۱۱	۰/۱۳	۲/۲۳	۰/۲۷

در هر ستون میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<۰/۰۵).

T۱) شکل غیر ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۱۱۰، ۱۶ و ۱۲۰ میلی‌گرم؛ T۲) شکل ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۱۱۰، ۱۶ و ۱۲۰ میلی‌گرم؛ T۳) شکل غیر ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۵۵، ۸ و ۶۰ میلی‌گرم؛ T۴) شکل ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۵۵، ۸ و ۶۰ میلی‌گرم

جدول ۷: تأثیر مواد معدنی ارگانیک و غیر ارگانیک روی، مس و منگنز بر مقدار مس موجود در کبد

تیمارها	مس موجود در کبد (mg/kg)
T۱	۱۵/۵۱^{b}
T۲	۱۷/۹۷^{a}
T۳	۱۳/۴۱^{c}
T۴	۱۷/۶۸^{a}
سطح احتمال	<۰/۰۰۰۱
SEM	۰/۴۴

در هر ستون میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<۰/۰۵).

T۱) شکل غیر ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۱۱۰، ۱۶ و ۱۲۰ میلی‌گرم؛ T۲) شکل ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۱۱۰، ۱۶ و ۱۲۰ میلی‌گرم؛ T۳) شکل غیر ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۵۵، ۸ و ۶۰ میلی‌گرم؛ T۴) شکل ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۵۵، ۸ و ۶۰ میلی‌گرم

جدول ۸: تأثیر مواد معدنی ارگانیک و غیر ارگانیک روی، مس و منگنز بر فراسنجه‌های خون جوجه‌های گوشتی

تیمارها	گلوکز (mg/dl)	کلسترول (mg/dl)	تری‌گلیسرید (mg/dl)	پروتئین کل (g/dl)	ALT (IU/L)	AST (IU/L)	ALP (IU/L)
T۱	۲۶۱/۵۶	۱۰۷/۷[a]	۷۱/۳۶	۳/۶۲	۱۶/۳۸	۹۸/۲۵	۱۱۸/۸۸[b]
T۲	۲۶۷/۸۵	۹۵/۷۶[b]	۷۱/۴۵	۳/۶۷	۱۹/۶۹	۱۰۲	۱۲۲/۲۵[a]
T۳	۲۷۴/۴۱	۱۱۲/۴۶[a]	۶۴/۶۶	۳/۶	۱۸/۲۱	۱۰۲/۵	۱۱۶[c]
T۴	۲۷۳/۳۳	۱۰۰/۹۳[b]	۷۲/۰۸	۳/۶۱	۱۶/۰۴	۹۹/۲۵	۱۲۱/۷۵[a]
سطح احتمال	۰/۴۸۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۸۴۸	۰/۹۹۶	۰/۱۹۹	۰/۶۳۱	<۰/۰۰۰۱
SEM	۳/۱۹	۱/۴۸	۳/۲۶	۰/۱۱	۰/۶۸	۱/۳۳	۰/۵۶

در هر ستون میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<۰/۰۵).

T۱) شکل غیر ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۱۱۰، ۱۶ و ۱۲۰ میلی‌گرم؛ T۲) شکل ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۱۱۰، ۱۶ و ۱۲۰ میلی‌گرم؛ T۳) شکل غیر ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۵۵، ۸ و ۶۰ میلی‌گرم؛ T۴) شکل ارگانیک روی، مس و منگنز به مقادیر ۵۵، ۸ و ۶۰ میلی‌گرم

بحث

تحقیقات زیادی بر روی استفاده از عناصر معدنی ارگانیک در جیره طیور بیان داشته‌اند که استفاده از مواد معدنی ارگانیک عملکرد جوجه‌های گوشتی را بهبود می‌بخشد (Ao و همکاران، ۲۰۰۹؛ Bao و همکاران، ۲۰۱۰؛ Shyam Sunder و همکاران، ۲۰۱۳) که نتایج آنها موافق با نتایج به‌دست آمده از این آزمایش است. Nollet و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که استفاده از سطوح ۵۰ و ۶۷ درصد مقادیر توصیه شده مواد معدنی ارگانیک باعث بهبود عملکرد جوجه‌های گوشتی در سه هفته اول می‌شود که بر اساس نتایج همین تحقیق نیز استفاده از مواد معدنی ارگانیک در ۴۲ روزگی سبب بهبود عملکرد شده است. بهبود عملکرد جوجه‌های گوشتی و کاهش ضریب تبدیل غذایی در تیمارهای حاوی مواد معدنی ارگانیک می‌تواند به دلیل جذب و زیست‌فراهمی بیشتر مواد معدنی ارگانیک نسبت به غیر ارگانیک و نقش عمده روی، مس و منگنز در رشد و نمو جوجه‌های گوشتی باشد (Das و همکاران، ۲۰۱۴a؛ Yenice و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین بر اساس نتایج به‌دست آمده در این تحقیق بیشترین شاخص تولید و کمترین ضریب تبدیل در تیمارهای حاوی مواد معدنی ارگانیک مشاهده شد. وزن پایین‌تر تیمارهای دارای مواد معدنی غیر ارگانیک ممکن است به علت آنتاگونیسم و اختلال در جذب مواد معدنی به شکل غیر ارگانیک باشد (Ao و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین عملکرد پایین‌تر تیمار سوم در این تحقیق می‌تواند به دلیل کمبود مواد معدنی در این تیمار باشد. Rossi و همکاران (۲۰۰۷) گزارش دادند که کمبود روی باعث کاهش اشتها می‌شود. ولی نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که تیمار سوم اگرچه حاوی ۵۰٪ سطح توصیه شده روی به شکل غیر ارگانیک می‌باشد ولی میزان خوراک مصرفی افزایش یافت. بنابراین به نظر می‌رسد به عنوان یک راهکار، جوجه‌ها افزایش مصرف خوراک را جهت جبران این کمبودها بکار گرفتند. همچنین به‌صورت همسو با این آزمایش، بیشتر تحقیقات بیان کردند که استفاده از مواد معدنی ارگانیک و غیر ارگانیک تأثیر معنی‌داری بر تلفات ندارند (Nollet و همکاران، ۲۰۰۷؛ Manangi و همکاران، ۲۰۱۲؛ Zhao و همکاران، ۲۰۱۰).

شاخص کف‌پا نشان‌دهنده وضعیت سلامتی پای جوجه‌های گوشتی می‌باشد. سلامتی پای جوجه‌ها با آسایش پرنده در ارتباط است (Manangi و همکاران، ۲۰۱۲). درماتیت شرایطی است که بیشتر در جوجه‌های تجاری دیده می‌شود و آسیب و زخم‌های

کف پا در آن دیده می‌شود (Kjaer و همکاران، ۲۰۰۶). درماتیت با تغییر رنگ پوست شروع‌شده و به دنبال آن‌هاپیرکراتوزیس، نکروز اپیدرم و زخم با واکنش‌های التهابی در بافت زیرجلدی ایجاد می‌گردد (Ekstrand و همکاران، ۱۹۹۷). عواملی که باعث صدمه به کف پا و ایجاد درماتیت می‌شوند عبارتند از جیره، شرایط بستر، جنسیت، وضعیت آبخوری‌ها، وزن بدن پرنده و ژنتیک (Shepherd and Fairchild، ۲۰۱۰؛ Kjaer و همکاران، ۲۰۰۶؛ Mayne، ۲۰۰۵). زخم‌های کف پا می‌تواند محلی برای ورود باکتری‌ها بوده و سلامت پرنده را به خطر انداخته و باعث کاهش عملکرد پرنده شود (Dibner و همکاران، ۲۰۰۷). اگرچه Zhao و همکاران (۲۰۱۰) و Manangi و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند مواد معدنی ارگانیک نسبت به مواد معدنی غیر ارگانیک باعث بهبود سلامتی کف پا می‌گردد ولی Shyam sunder و همکاران (۲۰۱۳) هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری در شاخص کف پا مشاهده نکردند. بر اساس نتایج این تحقیق بر روی شاخص کف پا نشان می‌دهد کمترین زخم بالشتک کف پا هنگام استفاده از مواد معدنی ارگانیک ایجاد می‌گردد. یکی از دلایل کاهش شدت آسیب‌ها و زخم‌های بالشتک کف پا در تیمارهای حاوی مواد معدنی ارگانیک می‌تواند به دلیل نقش روی در تشکیل کلاژن و نقش مس در ایجاد پیوندهای عرضی کلاژن (از طریق آنزیم لیزیل اکسیداز) و استحکام بیشتر بافت‌ها باشد (Sirri و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر این، با توجه به ارتباط بین pH، NH_3 و آسیب‌های کف پا، به نظر می‌رسد که پایین بودن pH بستر در تیمارهای حاوی مواد معدنی ارگانیک باعث کاهش NH_3 و شاخص کف پا شده است (Tran و همکاران، ۲۰۱۵).

برخی مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از مواد معدنی ارگانیک تأثیری بر خصوصیات لاشه ندارد (Manangi و همکاران، ۲۰۱۲؛ Virden و همکاران، ۲۰۰۳). بااین‌حال، De Marco و همکاران (۲۰۱۷) دریافتند که مواد معدنی باند شده با گلیسین باعث رشد بیشتر سینه جوجه‌های گوشتی می‌شود. در این آزمایش، تیمار سوم (۵۰٪ مقادیر توصیه شده مواد معدنی به شکل غیر ارگانیک) به علت ناکافی بودن مواد معدنی در جیره غذایی دچار کاهش وزن گردیده و در نتیجه تأثیر منفی بر رشد سینه گذاشته است. در برخی از تحقیقات گزارش شده است که کمبود شدید روی باعث کاهش فعالیت برخی از آنزیم‌های دخیل در ساخت RNA،DNA و پروتئین‌ها گردیده و موجب کاهش تقسیم سلولی و نرخ رشد می‌شود (Sarvari و همکاران، ۲۰۱۵). اگرچه برخی تحقیقات گزارش کردند (Bao و همکاران، ۲۰۱۰؛ Das و همکاران، ۲۰۱۴a؛ Zhao و همکاران، ۲۰۱۰) که استفاده از مواد معدنی ارگانیک بر خصوصیات استخوان درشت نی و مقدار روی و مس در بافت تأثیری نداشته است. ولی بعضی از محققین نشان دادند که استخوان درشت نی در تیمارهای حاوی مواد معدنی ارگانیک از وزن و مقدار روی بیشتری برخوردار بودند. (Ao و همکاران،۲۰۰۹؛ Shyam Sunder و همکاران،۲۰۱۳؛ El-Husseiny و همکاران، ۲۰۱۲). بر اساس نتایج این تحقیق استفاده از مواد معدنی ارگانیک نسبت به غیر ارگانیک باعث بیشتر شدن وزن استخوان درشت‌نی گردید. اگرچه تیمارهای مختلف تأثیری بر خاکستر، کلسیم و فسفر استخوان درشت‌نی نداشته‌اند.

روی به جای تجمع درکبد که اندام اصلی ذخیره کننده بسیاری از عناصر کم نیاز است، تمایل به ذخیره شدن در استخوان‌ها دارد (McDonald، ۲۰۰۰). روی در استخوان‌سازی، ترمیم و نگهداری استخوان نقش دارد. روی تمایز سلول‌های غضروفی، استئوبلاست‌ها و فیبروبلاست‌ها که برای رشد استخوانی ضروری است را تحریک می‌کند. کمبود روی با تداخل سنتز DNA بر رسوب کلسیم وکلاژن در استخوان مؤثر است. علاوه بر این، روی در سنتز سوماتومدین C که هورمونی است که باعث تحریک تکثیر غضروف و رشد خطی اسکلت درگیر است نقش دارد (Brandeo-Neto و همکاران، ۱۹۹۵). از سوی دیگر، مس برای فعالیت آنزیم لیزیل اکسیداز و تشکیل لایه‌های عرضی در کلاژن ضروری است که باعث استحکام و انعطاف‌پذیری استخوان می‌شود (Dibner و همکاران، ۲۰۰۷).

منگنز در رشد و توسعه استخوان‌ها و تاندون‌ها نقش دارد. منگنز

در گلیکوزیل ترانسفراز و در نتیجه در شکل‌گیری موکوپلی‌ساکاریدها و پروتئوگلیکان‌های غضروف شرکت دارد. کمبود این عنصر باعث خمیدگی و پیچش در استخوان درشت نی می‌گردد (Bao و همکاران، ۲۰۰۷؛ Xie و همکاران، ۲۰۱۴). از این رو، بر اساس نتایج به‌دست آمده کمترین مقدار طول، وزن، قطر و مقدار روی و منگنز استخوان درشت نی در تیمار سوم (۵۰ ٪ مقادیر توصیه شده مواد معدنی به شکل غیر ارگانیک) بود که احتمالاً به دلیل کمبود مواد معدنی در جیره غذایی باشد.

اثر آنتاگونیسمی بین مس و روی به شکل غیر ارگانیک وجود دارد. مقادیر زیاد هر یک از مواد معدنی روی و مس جیره باعث کاهش جذب روده‌ای عنصر دیگر می‌شود (Gonzalez و همکاران، ۲۰۰۵؛ Santon و همکاران، ۲۰۰۲). Ao و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که مقدار زیاد روی مصرفی باعث افزایش متالوتیونین مخاط روده‌ای می‌شود که این موضوع باعث به دام انداختن مس خوراک و در نتیجه باعث کاهش جذب آن می‌گردد. با توجه به نتایج به‌دست آمده که نشان‌دهنده مقدار پایین‌تر مس در تیمار سوم (۵۰ ٪ مقادیر توصیه شده مواد معدنی به شکل غیر ارگانیک) است، می‌توان نتیجه گرفت که این سطح مس غیر ارگانیک کافی نیست. از طرفی Bao و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که استفاده از روی و مس ارگانیک باعث جلوگیری از آنتاگونیسم بین آنها می‌باشد. پس افزایش میزان مس موجود در کبد در تیمار چهارم این آزمایش (۵۰ ٪ مقادیر توصیه شده مواد معدنی به شکل ارگانیک) نسبت به تیمار سوم (۵۰ ٪ مقادیر توصیه شده مواد معدنی به شکل غیر ارگانیک) می‌تواند به علت استفاده از مواد معدنی ارگانیک و عدم اثرات آنتاگونیسم باشد.

مس و روی در متابولیسم چربی‌ها دخیل هستند. Dasو همکاران (۲۰۱۴a) و Idowu و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که استفاده از روی ارگانیک نسبت به روی غیر ارگانیک مانند اکسید روی (ZnO)، سولفات روی($ZnSO_4$) و کربنات روی ($ZnCO_3$) باعث کاهش کلسترول می‌شود که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد به‌طوری‌که کلسترول در تیمارهای دوم و چهارم در مقایسه با سایر تیمارها کاهش معنی‌داری یافت. اگرچه Al-Daraji and Amen (۲۰۱۱)گزارش دادند که مقادیر مختلف روی در جیره‌های غذایی باعث افزایش غلظت کلسترول خون می‌شود. کمبود مس و نسبت‌های بالا روی به مس کلسترول سرم را افزایش می‌دهد (Johnson، ۱۹۹۰). مقدار بالای کلسترول در تیمار سوم می‌تواند به‌دلیل کمبود مس یا اثرات متقابل روی بر جذب مس باشد.

روی یک کوفاکتور برای برخی از آنزیم‌های کبدی مانند آلانین ترانس آمیناز، آسپارتات ترانس آمیناز و آلکالین فسفاتاز می‌باشد (Bennett و همکاران، ۲۰۰۱) و در بسیاری از فعالیت‌های آنزیمی و متابولیکی دخالت دارد (Prasad و همکاران، ۲۰۰۹). Das و همکاران (۲۰۱۴b) گزارش کردند که ALT، AST و ALP پرندگان در حال رشد تحت تأثیر روی ارگانیک در جیره‌های غذایی قرار گرفته است. برخی تحقیقات نشان می‌دهد که تیمارهای حاوی روی ارگانیک در مقایسه با روی غیر ارگانیک باعث افزایش ALP می‌شوند ولی تأثیری بر AST و ALT ندارد (Idowu و همکاران، ۲۰۱۱؛ Das و همکاران، ۲۰۱۴a). ALP یک آنزیم مهم در استخوان برای تمایز استئوبلاست می‌باشد (Graneli و همکاران، ۲۰۱۴). افزایش میزانALP معمولاً نشانه آسیب کبدی یا افزایش فعالیت سلول‌های استخوان است (Sarac and Saygili، ۲۰۰۷). در این تحقیق تیمارهای حاوی مواد معدنی ارگانیک در جیره غذایی به‌طور معنی‌داری از میزان ALP بیشتری در مقایسه با تیمارهای غیر ارگانیک برخوردار بودند. با توجه به مقادیر AST،ALT و عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش غلظت ALP در تیمارهای حاوی مواد معدنی ارگانیک به علت رشد و توسعه بیشتر استخوان‌ها می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از مواد معدنی ارگانیک بجای غیر ارگانیک باعث بهبود عملکرد، شاخص کف پا، ذخیره عناصر در بافت‌ها و برخی خصوصیات استخوان درشت‌نی و

فراسنجه‌های خون جوجه‌های گوشتی می‌شود. همچنین می‌توان از سطوح پایین‌تر (۵۰٪ سطح توصیه شده) مواد معدنی ارگانیک در جیره جوجه‌ها استفاده نمود بدون آنکه باعث اثر منفی در عملکرد گردد. علاوه بر این، نتایج حاصله نشان می‌دهد که روی، مس و منگنز ارگانیک جایگزین مناسبی برای شکل غیر ارگانیک می‌باشد.

منابع

Al-Daraji, H.J. and Amen, M.H.M. (2011). Effect of dietary zinc on certain blood traits of broiler breeder chickens. *International Journal of Poultry Science.* 10 (10): 807–813.

Ao, T., Pierce, J.L., Power, R., Pescatore, A.J., Cantor, A.H., Dawson, K.A. and Ford, M.J. (2009). Effects of feeding different forms of zinc and copper on the performance and tissue mineral content of chicks. *Poultry Science.* 88:2171–2175.

Bao, Y.M., Choct, M., Iji, P.A. and Bruerton, K. (2010). Trace mineral interactions in broiler chicken diets. *British Poultry Science.* 51 (1): 109-117.

Bao, Y.M., Choct, M., Iji, P.A. and Bruerton, K. (2007). Effect of organically complexed Copper, Iron, Manganese, and Zinc on broiler performance, mineral excretion, and accumulation in tissues. *Journal Applied Poultry Research.* 16:448–455.

Bennet, P.M., Jepson, P.D., Law, R.J., Jones, B.R., Kuiken, T., Baker, J.R., Rogan, E. and Kirkwood, J.K. (2001). Exposure to heavy metals and infectious disease mortality in harbour porpoises from England and Wales. *Environmental Pollution.* 112: 33–40.

Brandeo-Neto, J., Stefan, V., Mendonca, B., Bloise, W. and Castro, A. (1995). The essential role of zinc in growth. *Nutrition Research.* 15:335-358.

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

Das, A., Mishra, S.K., Swain, R.K., Swain, P., Dhama, K., Sahoo, G., Behura, N.C., Sethi, K., Chichilichi, B., Behera, T. and Mishra, S.R. (2014b). Effect of organic minerals supplementation on growth, bioavailability and immunity in grower birds. *International Journal of Pharmacology.* 10 (7):380-388.

De Marco, M., Zoon, M.V., Margetyal, C., Picart, C. and Ionescu, C. (2017). Dietary administration of glycine complexed trace minerals can improve performance and slaughter yield in broilers and reduces mineral excretion. *Animal Feed Science Technol*. 232: 182-189.

Dibner, J.J., Richards, J.D., Kitchell, M.L. and Quiroz, M.A. (2007). Metabolic challenges and early bone development. *Journal Applied Poultry Research.* 16: 126–137.

Dieck, H. T., F. Doring, H. Roth, P. and Daniel, H. (2003). Changes in rat hepatic gene expression in response to zinc deficiency as assessed by DNA arrays. *Journal of Nutrition.* 133:1004–1010.

Duncan. 1995. Multiple range and F-tests. Biometrics Longman, New York, 11: 1-42.

Ekstrand, C., Algers, B. and Svedberg, J. (1997). Rearing conditions and foot-pad dermatitis in Swedish broiler chickens. *Preventive Veterinary Medicine*. 31:167–174.

El-Husseiny , O.M., Hashish, S.M., Ali, R.A., Arafa, S. A., Abd El- Samee, L.D. and Olemy, A.A.(2012). Effects of feeding organic Zinc, Manganese and Copper on broiler growth, carcass characteristics, bone quality and mineral content in bone, liver and excreta. *International Journal of Poultry Science*. 11 (6): 368-377.

Gonzalez, B.P., Nino Fong, R., Gibson, C.J., Fuentealba, I.C. and Cherian, M.G. (2005). Zinc supplementation decreases hepatic copper accumulation in LEC rat: A model of Wilson's disease. *Biological Trace Element Research*. 105:117–134.

Graneli, C., Thorfve, A., Ruetschi, U., Brisby, H., Thomsen, P., Lindahl, A. and Karlsson, C. (2014). Novel markers of osteogenic and adipogenic differentiation of human bone marrow stromal cells identified using a quantitative proteomics approach. *Stem cell research*. 12: 153-165.

Huyghebaert, G. and Pack, M. (1996). Effects of dietary protein content, addition of nonessential amino acids and dietary methionine to cysteine balance on responses to dietary sulphur-containing amino acids in broilers. *British Poultry Science*. 37: 623-639.

Idowu, O.M.O., Ajuwon, R.O., Oso, A.O. and Akinloye, O.A. (2011). Effect of Zinc supplementation on laying performance, serume, chemistry and Zn residue in tibia bone, liver, excreta and egg shell of laying hens. *International Journal of Poultry Science.* 10 (3): 225-230.

ISO 6869:2001. Animal feeding stuffs - Determination of the contents of calcium, copper, iron, magnesium, manganese, potassium, sodium and zinc - Method using atomic absorption spectrometry.

Jegede, A.V., Oso, A.O., Fafiolu, A.O., Sobayo, R.A., Idowu, O.M.O. and Oduguwa, O.O. (2015). Effect of dietary copper on performance, serum and egg yolk cholesterol and copper residues in yolk of laying chickens. *Slovak Journal of Animal Science*. 48(1): 29–36.

Johnson, M.A. (1990). Influence of Ascorbic Acid, Zinc, Iron, Sucrose and Fructose on Copper Status, In: Kies, C., (Ed.), Copper Bioavailability and Metabolism. Plenum Press., New York, pp. 29-43.

Kjaer, J.B., Su, G., Nielsen, B.L. and Sørensen, P. (2006). Foot pad dermatitis and hock burn in broiler chickens and degree of inheritance. *Poultry Science*. 85:1342–1348.

Leeson, S., and Caston, L. (2008). Using minimal supplements of trace minerals as a method of reducing trace mineral content of poultry manure. *Animal Feed Science and Technology*. 142:339-347.

MacDonald, R.S. (2000). The role of zinc in growth and cell proliferation. *Journal of Nutrition.* 130: 1500S-1508S.

Manangi, M.K., Vazquez-Anon, M., Richards, J.D., Carter, S., Buresh, R.E. and Christensen, K.D. (2012). Impact of feeding lower levels of chelated trace minerals versus industry levels of inorganic trace minerals on broiler performance, yield, footpad health, and litter mineral concentration. *Journal Applied Poultry Research*. 21:881–890.

Mayne, R.K. (2005). A review of the aetiology and possible causative factors of foot pad dermatitis in growing turkeys and broilers. *World's Poultry Science Journal.* 61: 256–267.

National Research Council. (1994). Nutrient Requirements of Poultry. 9th rev. ed. National Academy Press. Washington, DC. Nelson, T. S.

Nollet, L., Huyghebaert, G. and Spring, P. (2008). Effect of different levels of dietary organic (Bioplex) trace minerals on live performance of broiler chickens by growth phases. Poultry Science Association, Inc. *Journal Applied Poultry Research.* 17:109–115.

Nollet, L., van der Klis, J.D., Lensing, M. and Spring, P. (2007). The effect of replacing inorganic with organic trace minerals in broiler diets on productive performance and mineral excretion. Poultry Science Association, Inc. *Journal Applied Poultry Research.* 16: 592–597.

Prasad, A.S., Beck, F.W., Snell, D.C. and Kucuk, O. (2009). Zinc in cancer prevention. *Nutrition and Cancer*. 61: 879-887.

Rossi, P., Rutz, F., Anciuti, M.A., Rech, J.L. and Zauk, N.H.F. (2007). Influence of graded levels of organic Zinc on growth performance and carcass traits of broilers. Poultry Science Association, Inc. *Journal Applied Poultry Research*. 16:219–225

Santon, A., Giannetto, S., Sturniolo, G.C., Medici, V., D'Inca, R., Irato, P. and Albergoni, V. (2002). Interactions between Zn and Cu in LEC rats, an animal model of Wilson's disease. *Histochemistry and Cell Biology*. 117: 275–281.

Sarac, F. and Saygili, F. (2007). Causes of high bone alkaline phosphatase. *Biotechnology* & Biotechnological *Equipment*. 21: 194-197.

Sarvari, B.G., Seyedi, A.H., Shahryar, H.A., Sarikhan, M. and Ghavidel, S.Z. (2015). Effects of dietary zinc oxide and a blend of organic acids on broiler live performance, carcass traits, and serum parameters. *Brazilian Journal of Poultry Science* . 17: 39-45.

SAS. (2001) Statistical Analysis Systems, Version 8.2. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Shepherd, E.M. and Fairchild, B.D. (2010). Footpad dermatitis in poultry. *Poultry Science.* 89: 2043–2051.

Shyam Sunder, G., Vijay Kumar, C.H., Panda, A.K., Raju, M.V.L.N. and Rama Rao, S.V. (2013). Effect of supplemental organic Zn and Mn on broiler performance, bone, measures, tissue mineral uptake and immune response at 35 days of age. *Poultry Science.* 3 (1): 1-11.

Sirri, F., Maiorano, G., Tavaniello, S., Chen, J., Petracci, M. and Meluzzi, A. (2016). Effect of different levels of dietary zinc, manganese, and copper from organic or inorganic sources on performance, bacterial chondronecrosis, intramuscular collagen characteristics, and occurrence of meat quality defects of broiler chickens .*Poultry Science*. 95:1813–1824.

Star, L., Van der Klis, J.D., Rapp, C. and Ward, T.L. (2012). Bioavailability of organic and inorganic zinc sources in male broilers. *Poultry Science*. 91:3115–3120.

Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). 2007. User's guide, base 16.0 for Windows. Chicago: Statistical Package for Social Sciences. Inc.

Stefanello, C., Santos, T.C., Murakami, A.E., Martins, E.N. and Carneiro, T.C. (2014). Productive performance, eggshell quality, and eggshell ultrastructure of laying hens fed diets supplemented with organic trace minerals. *Poultry Science.* 93:104–113.

Tran, S.T., Bowman, M.E. and Smith, T.K. (2015). Effects of a silica-based feed supplement on performance, health, and litter quality of growing turkeys. *Poultry Science*. 94: 1902-1908.

Trindade Neto, M.A., Pacheco, B.H.C., Albuquerque, R., Schammass, E.A. and Rodriguez-Lecompte, J.C. (2011). Dietary effects of chelated zinc supplementation and lysine levels in ISA Brown laying hens on early and late performance, and egg quality. *Poultry Science*. 90: 2837–2844.

Virden, W.S., Yeatman, J.B., Barber, S.J., Zumwalt, C.D., Ward, T.L., Johnson, A.B. and Kidd, M.T. (2003). Hen mineral nutrition impacts progeny livability. Poultry Science Association, Inc. *Journal Applied Poultry Research*. 12:411–416.

Wang, Z., Cerrate, S., Coto, C., Yan, F. and Waldroup, P.W. (2007). Evaluation of MINTREX® copper as a source of copper in broiler diets. *International Journal of Poultry Science*. 6:308-313.

Wedekind, K.J., Hortin A.E. and Baker, D.H. (1992). Methodology for assessing zinc bioavailability: Efficacy estimates for zinc-methionine, zinc sulfate, and zinc oxide. *Journal of Animal Science.* 70:178-187.

Xie, J., Tian, C., Zhu, Y., Zhang, L., Lu, L. and Luo, X. (2014). Effects of inorganic and organic manganese supplementation on gonadotropin-releasing hormone-I and follicle-stimulating hormone expression and reproductive performance of broiler breeder hens. *Poultry Science*. 93: 959–969.

Yan, F., Kersey, J.H. and Waldroup, P.W. (2001). Phosphorus requirements of broiler chicks three to six weeks of age as influenced by phytase supplementation. *Poultry Science*. 80:455-459.

Yenice, E., Mizrak, C., Gultekini, M., Atik, Z. and Tunca, M. (2015). Effects of dietary organic or inorganic manganese, zinc, copper and chrome supplementation on the performance, egg quality and hatching characteristics of laying breeder hens. *Veterinary Journal of Ankara University*. 62: 63-68.

Zhao, J., Shirley, R.B., Vazquez-Anon, M., Dibner, J.J., Richards, J.D., Fisher, P., Hampton, T., Christensen, K.D., Allard, J.P. and Giesen, A.F. (2010). Effects of chelated trace minerals on growth performance, breast meat yield, and footpad health in commercial meat broilers. *Journal Applied Poultry Research*. 19: 365–372.