Vol 25, No. 4, Winter 2023

University of Tehran Press

Journal of Animal Production

Online ISSN: 2382-994X

Homepage: https://jap.ut.ac.ir/

Synthesis and identification of zinc-methionine and its effect on performance, blood metabolites, tibia characteristics and morphology of small intestine in broiler chickens

Abuzar Bastami[1] | Ali Naghipour[2] | Ali Khatibjoo[3]✉ | Farshid Fattahnia[4]

1. Department of Inorganic Chemistry, Faculty of Science. Ilam University, Ilam,Iran. Email: a.bastami@ilam.ac.ir
2. Department of Inorganic Chemistry, Faculty of Science, Ilam University, Ilam, Iran. Email: a.naghipour@ilam.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam,Iran. Email: a.khatibjoo@ilam.ac.ir
4. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. Email: f.fatahnia@ilam.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 16 July 2023
Received in revised form
28 August 2023
Accepted 31 August 2023
Published online
25 December 2023

Keywords:
Broiler Chicken
Performance
Small intestine morphology
Tibia bone

ABSTRACT

Introduction: Zinc (Zn) is one of the essential elements for development and growth in broiler chickens. Organic mineral sources, such as proteinate and amino acid chelates, have been used increasingly in recent years due to their higher bioavailability and lower manure loading. The aim of the current study is to compare the efect of two kind of Zn-Methionine chelates on broiler chicken performance and bone charactistics.

Material and Methods: In this experiment, the effect of two types of zinc-methionine (Zn-Met) chelate on performance and bone characteristics of broiler chickens were considered in a completely randomized design, using 490 one day old Ross-308 broiler chickens (mixed sexes) with 7 treatments, 5 replicates and 14 birds in each replicate. Treatment consisted of: 1) control (basal diet), 2-4) control+ 0.2, 0.4 and 0.8 mg/kg Zn-Meth of Zin-Pro® respectively and 5-7), control+ 0.2, 0.4 and 0.8 mg/kg zn-Met synthetized by Ilam University.

Results and Discussion: Results showed that as compared to group, none of zn-Met source had significant effect on broiler chickens feed intake, body weight, FCR and EPEF, carcass and breast and thigh percentages, serum glucose, triglyceride, cholesterol, LDL-cholesterol and HDL-cholesterol, triglyceride and Ca concentrations, activity of Alkaline phosphatase, Aspartate transaminase and Alanine aminotransferase enzymes and tibia characteristics including weight, dry matter and ash percentages, length, width and diameter and P and Ca percentages ($P<0.05$) while broilers fed diet containing Zn-Meth had higher serum and tibia Zn concentration, higher villous height and villous height to crypt depth ratio and lower villous width in ileum and jejunum as compared to negative control group ($P<0.05$).

Conclusion: Generally, both of the chelates had similar effects on broiler chicken's performance, small intestine morphology and tibia traits and Iranian kind of Zn-Meth has capability to substitution with foreign source of it. Further studies in this area are recommended.

Cite this article: Bastami, A., Naghipour, A., Khatibjoo, A., & Fattahnia, F. (2023). Synthesis and identification of zinc-methionine and its effect on performance, blood metabolites, tibia characteristics and morphology of small intestine in broiler chickens. *Journal of Animal Production*, 25 (4), 415-428.
DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2023.362381.623751

© The Author(s).
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2023.362381.623751

دوره بیست و پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲

انتشارات دانشگاه تهران

تولیدات دامی

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۲x-۹۹۴

Homepage: https://jap.ut.ac.ir/

سنتز و شناسایی روی– متیونین با روش‌های اسپکتروسکوپی و تأثیر آن بر عملکرد، بیوشیمی خون، خصوصیات استخوان و مورفولوژی روده جوجه‌های گوشتی

ابوذر بسطامی[۱] | علی نقی‌پور[۲] | علی خطیب‌جو[۳]✉ | فرشید فتاح‌نیا[۴]

۱. گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: a.bastami@ilam.ac.ir

۲. گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: a.naghipour@ilam.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: a.khatibjoo@ilam.ac.ir

۴. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: f.fatahnia@ilam.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴

کلیدواژه‌ها:

استخوان درشت‌نی

جوجه گوشتی

عملکرد

کیلات روی- متیونین

مورفولوژی روده

چکیده

اثر دو نوع کیلات روی–متیونین بر عملکرد و فراسنجه‌های استخوانی جوجه‌های گوشتی با استفاده از ۴۹۰ قطعه جوجه گوشتی راس–۳۰۸ (یک‌روزه، مخلوط دو جنس) در قالب طرح کاملاً تصادفی با هفت تیمار، پنج تکرار و ۱۴ جوجه در هر تکرار بررسی شد. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از ۱– گروه شاهد (جیره پایه)، ۲ تا ۴– جیره پایه+ به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره روی–متیونین Zin-Pro® و ۵ تا ۷– جیره پایه+ به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره روی–متیونین سنتزشده. نتایج نشان داد که بین گروه شاهد با گروه‌های دریافت‌کننده هر دو نوع مکمل روی–متیونین از لحاظ خوراک مصرفی، وزن بدن، ضریب تبدیل خوراک و شاخص تولید اروپایی، درصد لاشه، ران و سینه، غلظت سرمی گلوکز، کلسترول کل، لیپوپروتئین با دانسیته خیلی کم و لیپوپروتئین با دانسیته بالا، تری‌گلیسرید و کلسیم و فعالیت آنزیم‌های آلکالین فسفاتاز، آسپارتات آمینوترانسفراز و گلوتامات ترانس‌آمیناز، فراسنجه‌های استخوان درشت‌نی شامل وزن، درصد ماده خشک و خاکستر، طول، عرض و قطر و درصد فسفر و کلسیم استخوان تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما جوجه‌های دریافت‌کننده جیره دارای هر دو منبع روی–متیونین دارای غلظت روی سرم خون و استخوان بیش‌تر، طول پرز و نسبت طول پرز به عمق کریپت بیش‌تر و عرض پرز کم‌تر در ناحیه ژژنوم و ایلئوم بودند (P<۰/۰۵). به‌طورکلی، هر دو کیلات روی–متیونین دارای تأثیر تقریباً یکسانی بر عملکرد، مورفولوژی روده و خصوصیات استخوان درشت‌نی بودند و نوع ایرانی قابلیت جایگزینی با نوع خارجی را دارد. مطالعات بیش‌تر در این زمینه توصیه می‌شود.

استناد: بسطامی، ابوذر؛ نقی‌پور، علی؛ خطیب‌جو، علی و فتاح‌نیا، فرشید (۱۴۰۲). سنتز و شناسایی روی– متیونین با روش‌های اسپکتروسکوپی و تأثیر آن بر عملکرد، بیوشیمی خون، خصوصیات استخوان و مورفولوژی روده جوجه‌های گوشتی. *نشریه تولیدات دامی*، ۲۵ (۴)، ۴۲۸–۴۱۵.

DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2023.362381.623751

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

روی، عنصری ارزشمند و حیاتی در تغذیه طیور است که متأسفانه کمبود آن در خاک‌های زراعی دنیا عمومیت دارد. غلظت روی در غلات با غلظت آن در خاک همبستگی بالایی دارد و با توجه به مصارف روزافزون غلات در جیره طیور، احتمال کمبود این عنصر در جیره طیور وجود دارد. غلظت ناکافی روی باعث افت عملکرد رشد، توسعه ناکافی سیستم ایمنی شده و وزن اندام‌های مرتبط با لنفوئید مثل طحال و بورس فابرسیوس کاهش می‌یابد. عنصر روی یک عنصر اساسی موردنیاز برای عملکرد رشد نرمال، توسعه استخوان، پردرآوری، ایمنی، تنظیم اشتها و ساختمان و عملکرد بیش از ۳۰۰ آنزیم در ارتباط با کربوهیدرات و متابولیسم انرژی، تجزیه و سنتز پروتئین، سنتز اسیدنوکلئیک، انتقال کربن‌دی‌اکسید و دیگر واکنش‌ها است (Moghaddam & Jahanian, 2009).

نیاز جوجه‌های گوشتی به عنصر روی، ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خوراک است. در تأمین عناصر موردنیاز علاوه بر مقدار، قابلیت دسترسی منبع مورداستفاده نیز بسیار مهم است. مکمل‌کردن منابع آلی روی در جیره به‌دلیل هزینه نسبتاً بالایی که دارند محدودیت دارد، بنابراین افزایش زیست‌فراهمی روی ممکن است به حل این مشکل کمک کند. نشان داده شده است که زیست‌فراهمی منابع آلی عنصر روی بسیار بالاتر از منابع معدنی آن است، به‌طوری‌که زیست‌فراهمی روی از منبع اکسید ۴۴–۷۸ درصد فرم سولفات آن است. درحالی‌که زیست‌فراهمی مکمل روی–متیونین ۲۰۶ درصد قابلیت دسترسی را نشان داد، اما هنگامی‌که در یک جیره غذایی خالص بدون فیتات گنجانده شد تنها ۱۱۷ درصد قابلیت دسترسی داشت (Spears & Kegley, 2002). عنصر روی به شکل آلی (کمپلکس با اسیدآمینه، پروتئین و یا کربوهیدرات) و غیرآلی (استات، سولفات، هیدروکسی کلرید و اکسید) به‌صورت معمول یا نانو به جیره طیور گوشتی اضافه می‌شود که در چند دهه اخیر استفاده از منابع آلی روی به علت قابلیت دسترسی بالا در حال افزایش است (Alkhtib *et al*., 2020). روی–متیونین یک منبع آلی روی است که از کیلاته‌شدن یون‌های دو ظرفیتی با اسید فیتیک جلوگیری می‌کند و منجر به افزایش تسهیل در جذب روی می‌شود. نحوه سنتز و تولید فرم آلی کیلات روی–متیونین می‌تواند بر قابلیت زیست‌فراهمی و میزان ذخیره عنصر روی در بافت‌ها تأثیرگذار باشد (Vieira, 2008).

۲. پیشینهٔ پژوهش

تاکنون آزمایش‌های متعددی در ارتباط با تأثیر منابع آلی روی در طیور انجام‌شده است. افزودن فرم منابع آلی روی (متیونین–روی) در سطح کم به جیره در مقایسه با منابع غیرآلی روی قابلیت دسترسی بیش‌تری داشته و دفع روی در محیط کم‌تر می‌شود (Saleh *et al*., 2018). گزارش شده است اشکال اسیدآمینه کیلات‌شده با روی معمولاً برای افزایش زیست‌فراهمی روی قابل استفاده هستند و دلیل این امر محافظت قابل‌توجه در برابر تشکیل کمپلکس‌های غیرقابل‌هضم با اسید فیتیک است (Alkhtib *et al*., 2020). جیره غذایی بوقلمون با ۲۰ و ۴۰ پی‌پی‌ام مکمل روی–متیونین باعث بهبود ضریب تبدیل خوراک و کاهش مرگ‌ومیر و ناهنجاری‌های پا شده است (Vieira, 2008).

با افزودن ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم منابع مختلف روی سولفات روی مانند نانو، نانو–روی–متیونین، سولفات روی و روی–متیونین به جیره جوجه‌های گوشتی گزارش شده است که نسبت به گروه شاهد روی–متیونین سبب بهبود وزن بدن شد اما مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک تحت تأثیر قرار نگرفت و چربی محوطه شکمی کاهش یافت (Mohammadi *et al*., 2015). با افزودن نانوذرات روی پوشش‌یافته با متیونین، فرم متیونین پوشش‌یافته نانو روی اکسید نسبت به فرم غیرآلی روی سبب بهبود وزن بدن و افزایش مصرف خوراک و قدرت استحکام استخوان درشت‌نی شد (Alkhtib *et al*., 2020). هم‌چنین با مقایسه تأثیر روی-متیونین با منابع غیرآلی روی گزارش شده است که روی–متیونین سبب بهبود وزن بدن و ضریب

تبدیل خوراک، افزایش بازده لاشه، وزن نسبی کبد و گوشت سینه و کاهش درصد چربی شکمی، و افزایش ذخیره عنصر روی در کبد و تیموس جوجه‌های گوشتی شد (Jahanian & Rasouli, 2015). پژوهش‌گران دیگری نیز با مکمل‌کردن سطوح مختلف روی–متیونین (۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به جیره جوجه‌های گوشتی نشان دادند که وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک، درصد گوشت سینه، غلظت HDL–کلسترول و گلوتاتیون پراکسیداز و بازده پروتئین در اثر روی–متیونین افزایش و غلظت کلسترول و مالون‌دی‌آلدهید سرم کاهش یافت (Saleh *et al*., 2018; Zaki & Dakhel, 2021). هم‌چنین با تغذیه جیره‌های دارای سطوح مختلف نانو ذرات اکسید روی (صفر، ۴۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) گزارش شده است که جیره حاوی روی سبب افزایش وزن بدن و مصرف خوراک و بهبود ضریب تبدیل خوراک، افزایش غلظت HDL–کلسترول و آنزیم‌های کبدی، افزایش ارتفاع ویلی و عمق کریپت روده و کاهش غلظت کلسترول، تری‌گلیسرید، LDL–کلسترول و اسید اوریک سرم شد (Hatab *et al*., 2022). این پژوهش به‌منظور مقایسه تأثیر سطوح مختلف روی–متیونین سنتزشده با روی–متیونین تجاری بر عملکرد، کیفیت گوشت، بیوشیمی خون و مورفولوژی روده جوجه‌های گوشتی انجام گرفت.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش در پاییز سال ۱۴۰۰ در سالن مرغداری تحقیقاتی مرکز فنی–حرفه‌ای شهرستان ایلام انجام شد. ابعاد سالن ۱۲×۶ متر بود. تعداد ۴۹۰ قطعه جوجه گوشتی سویه راس–۳۰۸ (مخلوط دو جنس) به نسبت مساوی نر و ماده با میانگین وزنی ۴۰ گرم (سن مرغ مادر ۵۲ هفته)، به‌طور تصادفی در ۳۵ پن آزمایشی (دارای ابعاد ۱ در ۱/۵ متر) به هفت تیمار، پنج تکرار و ۱۴ قطعه پرنده در هر تکرار اختصاص داده شدند و تا پایان سن ۴۲ روزگی با سه جیره مختلف مطابق توصیه‌های سویه راس–۳۰۸ تغذیه شدند. دمای سالن مطابق برنامه توصیه‌شده سویه راس–۳۰۸ (۲۰۱۹) تنظیم شد. در این آزمایش از دو منبع روی–متیونین تجاری شرکت زین–پرو (Zin-Pro®) و روی–متیونین سنتزشده به‌روش اسپکتروفتومتری جذب اتمی (Koppa & Jatmika, 2018) در دانشگاه ایلام استفاده شد و خصوصیات فیزیکوشیمیایی روی–متیونین سنتزشده در دانشگاه ایلام قبل از واردشدن به جیره‌ها با استفاده از دستگاه FT-IR آنالیز شد. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از ۱– گروه شاهد (جیره پایه)، ۲ تا ۴– جیره پایه+ به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره روی–متیونین Zin-Pro® و ۵ تا ۷– جیره پایه+ به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره روی–متیونین سنتزشده در دانشگاه ایلام. جیره‌های آزمایشی بر پایه ذرت– سویا و توسط نرم‌افزار جیره‌نویسی UFFDA تنظیم شدند. مواد خوراکی تشکیل‌دهنده و ترکیبات شیمیایی جیره‌های آزمایشی در جدول (۱) آورده شده است. افزودنی‌های خوراکی بعد از آماده‌سازی جیره پایه، به آن اضافه شدند و همه جوجه‌ها در طول آزمایش به خوراک و آب دسترسی آزاد داشتند.

وزن بدن، افزایش وزن بدن، خوراک مصرفی و درصد تلفات کل جوجه‌ها اندازه‌گیری شد. ضریب تبدیل خوراک تصحیح‌شده براساس تلفات کل محاسبه گردید و در پایان آزمایش نیز شاخص کارایی تولید اروپایی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Rashidi *et al*., 2020).

رابطه ۱) شاخص کارایی تولید اروپایی کل دوره =

{۱۰۰× (ضریب تبدیل خوراک × سن فروش (روز)) ÷ (وزن زنده (کیلوگرم) × درصد ماندگاری)}

در سن ۴۲ روزگی، دو جوجه (نر و ماده) از هر تکرار انتخاب و از سیاهرگ زیر بال آن‌ها نمونه خون گرفته شد و غلظت فراسنجه‌های خونی مانند (گلوکز، کلسترول، LDL[1]–کلسترول و HDL[2]–کلسترول و تری‌گلیسرید) و غلظت

1. Low density lipoprotein
2. High density lipoprotein

عناصر کلسیم و روی سرم با استفاده از کیت‌های شرکت پارس آزمون و فعالیت آنزیم‌های آلانین‌آمینوترانسفراز (Alanine Aminotransferase: ALT) و آسپارتات آمینوترانسفراز (Aspartate transaminase: AST)، لاکتات دهیدروژناز (Lactate dehydrogenase: LDH) توسط دستگاه اتوآنالایزر (Hitachi 917 کشور ژاپن) تعیین شد.

جدول ۱. مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره پایه (درصد)

ماده خوراکی	آغازین (۱۰-۱ روزگی)	رشد (۲۴-۱۱ روزگی)	پایانی (۴۲-۲۵ روزگی)
ذرت	۵۳/۱۵	۶۰/۶۵	۶۶/۷۲
کنجاله سویا (۴۴ درصد پروتئین)	۳۵/۰	۲۹/۸	۲۸/۱
روغن آفتابگردان	۱/۰	۱/۰	۱/۶
گلوتن ذرت (۶۰ درصد پروتئین)	۶/۵	۴/۶	۰
دی‌کلسیم‌فسفات	۱/۵۲	۱/۴۶	۱/۲
کربنات کلسیم	۱/۳۲	۱/۱۴	۱/۱
دی-ال-متیونین	۰/۲۴	۰/۲	۰/۱۹
ال-لیزین هیدروکلرید	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۱۶
ال-ترئونین	۰/۰۵	۰/۰۴۲	۰/۰۰۴
نمک	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۸
جوش شیرین	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۱۵
مکمل ویتامینه[1]	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
مکمل معدنی[2]	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
ترکیب مواد مغذی محاسبه‌شده (درصد)			
انرژی قابل متابولیسم (کیلوکالری در کیلوگرم)	۳۰۰۰/۰۰	۳۰۳۰/۰۰	۳۰۳۰/۰۰
پروتئین خام (درصد)	۲۳/۰۰	۲۰/۹۰	۱۹/۰۰
لیزین قابل‌هضم (درصد)[3]	۱/۲۵	۱/۱۰	۰/۹۸
متیونین قابل‌هضم (درصد)	۰/۶۰	۰/۵۲	۰/۴۴
سیستئین قابل‌هضم (درصد)	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۷
متیونین+ سیستئین قابل‌هضم (درصد)	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۷۱
ترئونین قابل‌هضم (درصد)	۰/۷۹	۰/۶۸	۰/۶۱
کلسیم (درصد)	۱/۰۰	۰/۹۰	۰/۸۷
فسفر قابل استفاده (درصد)	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۴۳
سدیم (درصد)	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷

۱ و ۲. مکمل مورداستفاده در ترکیب جیره‌ها در هرکیلوگرم، دارای مواد زیر بوده است؛ ویتامین‌ها شامل ۴۴۰۰۰ واحد جهانی آ، ۷۲۰۰ واحد جهانی د-۳؛ ۴۴۰ میلی‌گرم ای، ۴۰ میلی‌گرم کا، ۷۰ میلی‌گرم کوبالامین، ۶۵ میلی‌گرم تیامین، ۳۲۰ میلی‌گرم ریبوفلاوین، ۲۹۰ میلی‌گرم اسید پانتوتنیک، ۱۲۲۰ میلی‌گرم نیاسین، ۶۵ میلی‌گرم پیریدوکسین، ۲۲ میلی‌گرم بیوتین و ۲۷۰ میلی‌گرم کولین کلراید. مواد معدنی شامل (میلی‌گرم در کیلوگرم): ۹۹/۲ میلی‌گرم اکسید منگنز (MnO_2)، ۸۵ میلی‌گرم اکسید روی (ZnO)، ۵۰ میلی‌گرم سولفات آهن ($FeSO_4$)، ۱۰ میلی‌گرم سولفات مس ($SuSO_4$)، ۰/۲ میلی‌گرم سلنیوم (سدیم سلنیت)، ۱۳ میلی‌گرم ید (یدات کلسیم) و ۲۵۰ میلی‌گرم کلین کلراید.

در روز ۴۲ دو پرنده با میانگین وزنی گروه کشتار و وزن لاشه و اجزای لاشه نظیر ران، سینه، چربی محوطه بطنی، کبد و قلب اندازه‌گیری شد و سپس وزن نسبی اجزای لاشه نسبت به وزن بدن یا وزن لاشه محاسبه شد. از بافت ژژنوم و ایلئوم جوجه‌های کشتارشده نمونه‌گیری شد و در محلول ۱۰ درصد فرمالین نگهداری شد. بعد از ۴۸ ساعت، با تهیه سطح مقطع از نمونه‌های ایلئوم و ژژنوم، تعداد ۱۰ پرز روده‌ای سالم از هر نمونه ارزیابی و طول پرز، عرض پرز و عمق کریپت با استفاده از میکروسکوپ نوری و نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت و سطح مقطع پرز نیز با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (de Los Santos *et al*., 2005):

رابطه ۲) سطح مقطع ویلی = طول ویلی × (عرض ویلی ÷ ۲) × π ×۲

طول و عرض استخوان درشت‌نی پای چپ جوجه‌های گوشتی با استفاده از دستگاه کولیس دیجیتال و وزن استخوان

توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. ماده خشک و خاکستر استخوان درشت‌نی نیز با قراردادن نمونه در آون و کوره الکتریکی اندازه‌گیری شد و غلظت عناصر کلسیم، فسفر و روی استخوان توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شد. شاخص استخوان نیز از رابطه (۳) محاسبه شد (Bruno *et al*., 2000):

رابطه ۳) $$\text{شاخص استخوان} = \frac{\text{وزن استخوان (گرم)}}{\text{طول استخوان (میلی‌متر)}}$$

داده‌های حاصل با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴) برای مدل (۴) تجزیه و میانگین تیمارها و مقایسات مستقل بین گروه‌های دریافت‌کننده دو نوع کیلات روی–متیونین با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح آماری پنج درصد مقایسه شد (SAS, 2004).

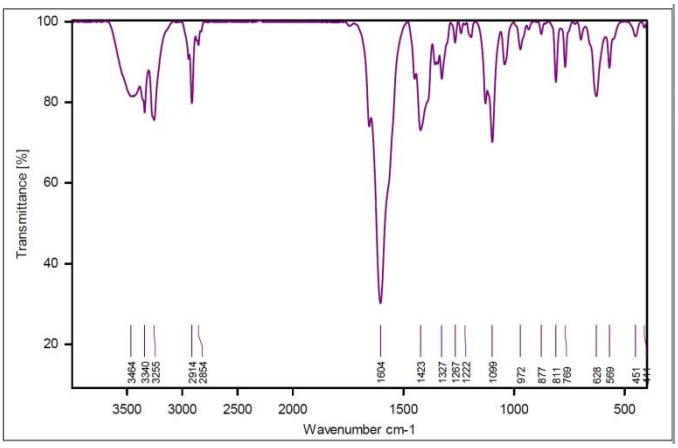
رابطه ۴) $$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

که در آن، Y_{ij}، مشاهدات؛ μ، میانگین مشاهدات؛ T_i، اثر تیمار i و e_{ij}، اثر خطای تصادفی مربوط به هر مشاهده است.

۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. بررسی خصوصیات روی–متیونین سنتز شده با FTIR[1]

طیف FT-IR روی–متیونین سنتزشده در شکل (۱) نشان داده شده است. پیک نمایش داده شده در ۳۴۳۳ cm^{-1} مربوط به پیوند O-H آب جذب‌شده در سطح کمپلکس روی– متیونین است. طیف FT-IR دو باند متوسط را در ۳۲۶۰ و ۳۳۴۰ cm^{-1} نشان می‌دهد که به حالت‌های ارتعاش N-H متیونین روی سنتزشده نسبت داده می‌شود. یک باند متوسط در ۲۹۱۵ cm^{-1} مربوط به فرکانس ارتعاش C-H گروه CH_2S است (Dhanalakshmi *et al*., 2016).



شکل ۱. طیف FT-IR متیونین روی سنتزشده

یک باند قوی در ۱۶۰۵ و دو نوار دیگر در ۱۴۲۴ و ۱۳۸۸ cm^{-1} به‌ترتیب با هر دو حالت متقارن و نامتقارن پیوندهای COO کلات متیونین به فلز روی مطابقت دارند. پیک مشاهده‌شده در ۱۲۶۸ cm^{-1} به حالت ارتعاش S-CH نسبت داده می‌شود (Koppa & Jatmika, 2018). پیک واقع‌شده در ۱۰۹۹ cm^{-1} با فرکانس ارتعاشی C-O مطابقت دارد و دو پیک بزرگ که در ۴۵۰ و ۹۳۶ cm^{-1} وجود دارند، می‌توانند مربوط به جذب پیوندهای Zn-O باشند (Mamun *et al*., 2010).

1. Fourier transform infrared

۴. ۲. نتایج عملکرد جوجه‌های گوشتی

تأثیر جیره‌های آزمایشی بر عملکرد رشد (خوراک مصرفی، وزن بدن، ضریب تبدیل خوراک و شاخص تولید اروپایی) در جدول (۲) نشان داده شده است. بین گروه شاهد با گروه‌های دریافت‌کننده مکمل روی-متیونین و هم‌چنین بین گروه‌های دریافت‌کننده روی-متیونین سنتزشده و روی-متیونین Zin-Pro® (مقایسه گروهی بین تیمارهای دو، سه و چهاربا تیمارهای پنج، شش و هفت) تفاوت معنی‌داری از لحاظ شاخص‌های عملکرد رشد وجود نداشت.

جدول ۲. تأثیر سطوح و منابع مختلف کیلات روی-متیونین بر عملکرد رشد خوراک جوجه‌های گوشتی

خوراک مصرفی (گرم)	تیمارهای آزمایشی [۱]							SEM	P-Value [۲]	
	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷		۱	۲
آغازین (۱۰-۰ روزگی)	۴۷۷/۲	۴۴۴/۷	۴۲۴/۵	۴۴۵/۵	۴۶۷/۷	۴۷۱/۷	۴۷۵/۲	۱۷/۶۵	۰/۳۰	۰/۳۴
رشد (۲۴-۱۱ روزگی)	۱۲۰۰	۱۲۱۴	۱۲۸۲	۱۲۴۵	۱۳۲۹	۱۳۵۶	۱۲۵۸	۸۶/۷	۰/۸۴	۰/۳۵
پایانی (۴۲-۲۵ روزگی)	۲۷۳۴	۲۸۴۹	۲۶۷۹	۲۶۳۵	۲۷۴۲	۲۶۷۸	۲۸۷۴	۱۰۵/۴	۰/۶۳	۰/۶۲
کل (۴۲-۱ روزگی)	۴۴۱۲	۴۵۰۸	۴۳۸۵	۴۳۲۶	۴۵۳۹	۴۵۰۶	۴۶۰۸	۱۳۹/۹	۰/۸۰	۰/۲۲
وزن بدن (گرم)										
رشد (۲۴-۱۱ روزگی)	۳۷۶/۲	۳۴۴/۵	۳۴۴/۰	۳۷۲/۵	۳۹۵/۷	۳۸۳/۷	۳۳۸/۰	۲۴/۷۷	۰/۵۵	۰/۶۸
پایانی (۴۲-۲۵ روزگی)	۸۹۵/۷	۹۰۸/۰	۹۳۰/۰	۹۳۳/۵	۹۸۰/۰	۹۵۵/۵	۸۸۰/۲	۴۲/۶۳	۰/۶۸	۰/۴۲
کل دوره (۴۲-۱ روزگی)	۲۴۱۸	۲۵۸۳	۲۵۴۵	۲۴۴۸	۲۴۸۵	۲۴۳۷	۲۴۹۹	۷۶/۰۷	۰/۷۱	۰/۷۱
افزایش وزن بدن (گرم)										
رشد (۲۴-۱۱ روزگی)	۵۱۹/۵	۵۶۳/۵	۵۸۶/۰	۵۶۱/۰	۵۸۴/۲	۵۷۱/۷	۵۴۲/۲	۲۳/۵۹	۰/۴۴	۰/۸۳
پایانی (۴۲-۲۵ روزگی)	۱۵۲۲	۱۶۷۵	۱۶۱۵	۱۵۱۵	۱۵۰۵	۱۴۸۲	۱۶۱۹	۵۹/۰۱	۰/۲۱	۰/۱۸
کل دوره (۴۲-۱ روزگی)	۲۳۷۸	۲۵۴۳	۲۵۰۵	۲۴۰۸	۲۴۴۵	۲۳۹۷	۲۴۵۹	۷۶/۰۷	۰/۷۱	۰/۴۱
ضریب تبدیل خوراک										
آغازین (۱۰-۰ روزگی)	۱/۲۷۵	۱/۲۹۲	۱/۲۴۰	۱/۲۰۰	۱/۲۰۲	۱/۲۵۰	۱/۴۲۲	۰/۰۵۹	۰/۱۸	۰/۱۸
رشد (۲۴-۱۱ روزگی)	۲/۳۱۰	۲/۱۵۷	۲/۱۹۲	۲/۲۲۷	۲/۲۷۰	۲/۳۵۰	۲/۳۲۵	۰/۱۱۰	۰/۸۵	۰/۱۹
پایانی (۴۲-۲۵ روزگی)	۱/۸۰۰	۱/۷۰۲	۱/۶۵۷	۱/۷۴۲	۱/۸۳۷	۱/۸۱۷	۱/۷۷۵	۰/۰۷۸	۰/۶۷	۰/۱۱
کل دوره (۴۲-۱ روزگی)	۱/۸۵۲	۱/۷۷۲	۱/۷۵۰	۱/۷۹۷	۱/۸۶۲	۱/۸۸۵	۱/۸۷۷	۰/۰۵۰	۰/۳۶	۰/۰۲
تلفات کل (درصد)	۱۳/۵۰	۹/۰۰۰	۱۱/۰۰	۸/۵۰۰	۹/۲۵۰	۶/۲۵۰	۱۳/۵۰	۴/۴۶۷	۰/۸۹	۰/۹۶
شاخص تولید اروپایی	۲۶۸/۰	۳۱۹/۵	۳۰۸/۰	۲۹۷/۲	۲۹۱/۰	۲۹۲/۷	۲۷۶/۲	۲۳/۳۰	۰/۷۵	۰/۲۷

[۱] ۱- گروه شاهد (جیره پایه)، ۲ تا ۴- جیره پایه+ به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره روی-متیونین زین-پرو (Zin-Pro®) و ۵ تا ۷- جیره پایه+ به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره روی-متیونین سنتز شده.

[۲] ۱= P-Value مقایسات میانگین کل تیمارها و ۲= P-Value مقایسه گروهی بین تیمارهای ۲، ۳ و ۴ با تیمارهای ۵، ۶ و ۷.

مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی و مقایسه گروهی بین گروه‌های دریافت‌کننده روی-متیونین سنتزشده و روی-متیونین Zin-Pro® نشان داد که مکمل‌های مختلف روی-متیونین تأثیر معنی‌داری بر درصد ران و سینه، کبد و قلب نداشتند (جدول ۳)، اما چربی محوطه بطنی، تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. به‌طوری‌که در مقایسه با گروه شاهد و گروه دریافت‌کننده جیره دارای روی-متیونین سنتزشده، جوجه‌های دریافت‌کننده جیره دارای ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی-متیونین Zin-Pro® دارای چربی محوطه شکمی بالاتری بودند (P<۰/۰۵) و بین گروه شاهد با گروه دریافت‌کننده روی-متیونین سنتزشده تفاوت معنی‌داری از لحاظ چربی محوطه شکمی وجود نداشت. مقایسه گروهی بین گروه‌های دریافت‌کننده روی-متیونین سنتزشده و روی-متیونین Zin-Pro® نشان داد که گروه دریافت‌کننده کیلات روی-متیونین Zin-Pro® دارای چربی حفره بطنی کم‌ترکم‌تری نسبت به کیلات روی-متیونین سنتزشده بودند، اما وزن نسبی لاشه در تیمارهای دریافت‌کننده کیلات روی-متیونین سنتزشده بالاتر از گروه‌های دریافت‌کننده کیلات روی-متیونین Zin-Pro® بود (P<۰/۰۵).

جدول ۳. تأثیر سطوح و منابع مختلف کیلات روی- متیونین بر وزن نسبی اجزای لاشه (درصدی از وزن زنده) جوجه‌های گوشتی

فراسنجه	تیمارهای آزمایشی[1]							SEM	P-Value[2]	
	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷		۱	۲
لاشه (درصد)	۶۷/۷۲	۶۵/۰۷	۶۵/۹۰	۶۶/۲۷	۶۹/۸۵	۶۸/۸۷	۶۷/۵۷	۱/۴۹۰	۰/۳۰	۰/۰۲
چربی حفره بطنی (درصد)	۰/۶۵۰^{cd}	۱/۲۲۰^{ab}	۱/۳۲۷^{a}	۰/۹۳۳^{bc}	۰/۴۰۵^{d}	^{cd}۰/۶۵۷	۰/۷۰۵^{cd}	۰/۱۱۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱
کبد (درصد)	۳/۰۸۲	۳/۰۷۵	۳/۰۱۲	۳/۱۵۲	۲/۷۳۵	۳/۱۶۵	۳/۲۹۲	۰/۱۵۵	۰/۳۲	۰/۹۰
قلب (درصد)	۰/۸۶۰	۰/۸۴۰	۰/۸۰۵	۰/۸۴۵	۰/۷۹۲	۰/۸۸۵	۰/۷۸۷	۰/۰۶۸	۰/۹۳	۰/۸۸
ران (درصد از لاشه)	۲۷/۵۰	۲۷/۹۲	۲۶/۶۲	۲۶/۰۵	۲۵/۹۲	۲۶/۰۵	۲۵/۷۲	۰/۸۷۹	۰/۴۸	۰/۱۹
سینه (درصد از لاشه)	۴۰/۲۷	۳۵/۵۷	۳۷/۸۰	۴۰/۸۷	۳۹/۷۵	۳۷/۷۲	۳۸/۸۰	۱/۴۴۴	۰/۲۰	۰/۵۷

a-b: تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ردیف معنی‌دار است (P < ۰/۰۵).

SEM= خطای استاندارد میانگین‌ها (Standard Error of Means).

[1] ۱- گروه شاهد (جیره پایه)، ۲ تا ۴- جیره پایه+ به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره روی-متیونین زین-پرو (Zin-Pro®) و ۵ تا ۷- جیره پایه+ به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره روی-متیونین سنتز شده.

[2] ۱= P-Value مقایسات میانگین کل تیمارها و ۲= P-Value مقایسه گروهی بین تیمارهای ۲، ۳ و ۴ با تیمارهای ۵، ۶ و ۷.

تأثیر جیره‌های آزمایشی بر فراسنجه‌های بیوشیمیایی، آنزیم‌های کبدی و غلظت Ca و Zn سرم خون جوجه‌های گوشتی در جدول (۴) نشان داده شده است. طبق داده‌های این جدول، مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی و مقایسه گروهی بین گروه‌های دریافت‌کننده روی-متیونین سنتزشده و روی-متیونین Zin-Pro® نشان داد که مکمل‌های مختلف روی-متیونین تأثیر معنی‌داری بر غلظت سرمی گلوکز، کلسترول کل، LDL-کلسترول و HDL-کلسترول، تری‌گلیسرید و Ca و فعالیت آنزیم‌های آلکالین فسفاتاز، اسپارتات آمینوترانسفراز و گلوتامات ترانس‌آمیناز نداشتند، اما غلظت سرمی Zn تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. به‌طوری‌که در مقایسه با گروه شاهد، گروه‌های دریافت‌کننده جیره دارای روی-متیونین سنتزشده و روی-متیونین Zin-Pro® دارای غلظت Zn سرم خون بالاتری بودند (P<۰/۰۵).

جدول ٤. تأثیر سطوح و منابع مختلف کیلات روی-متیونین بر بیوشیمی خون و فعالیت آنزیم‌های کبدی جوجه‌های گوشتی

فراسنجه	تیمارهای آزمایشی[1]							SEM	P-Value[2]	
	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷		۱	۲
گلوکز (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۱۵۸/۵	۱۷۸/۲	۱۹۰/۰	۱۹۱/۷	۱۹۸/۵	۱۹۵/۵	۲۰۷/۰	۱۴/۸۹	۰/۳۷	۰/۲۷
تری‌گلیسرید (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۴۳/۵۰	۵۰/۲۵	۵۷/۷۵	۵۵/۷۵	۴۴/۲۵	۴۸/۰۰	۴۷/۲۵	۶/۲۷۹	۰/۶۱	۰/۱۳
کلسترول کل (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۸۷/۰۰	۹۳/۷۵	۹۴/۰۰	۱۰۱/۰	۹۴/۰۰	۹۱/۵۰	۹۱/۲۵	۶/۶۳۰	۰/۸۶	۰/۴۷
HDL-کلسترول (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۲۵/۷۵	۲۶/۷۵	۲۸/۲۵	۲۲/۰۰	۲۱/۷۵	۲۷/۷۵	۲۴/۰۰	۳/۷۲۵	۰/۷۹	۰/۷۰
LDL-کلسترول (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۴۷/۷۵	۴۸/۷۵	۴۲/۲۵	۵۰/۵۰	۵۱/۵۰	۴۴/۵۰	۴۲/۷۵	۸/۰۲۹	۰/۹۶	۰/۸۹
آلکالین فسفاتاز (واحد بر لیتر)	۱۵۵/۵	۱۵۱/۷	۱۴۵/۲	۱۶۴/۰	۱۵۵/۰	۱۵۸/۲	۱۴۴/۲	۷/۸۶	۰/۵۸	۰/۸۶
اسپارتات آمینوترانسفراز (واحد بر لیتر)	۸۸/۵۰	۸۹/۰۰	۹۱/۷۵	۹۳/۵۰	۸۵/۲۵	۸۷/۰۰	۸۹/۲۵	۹/۱۹۳	۰/۹۹	۰/۵۷
گلوتامات ترانس‌آمیناز (واحد بر لیتر)	۷/۰۰	۷/۰۰	۵/۲۵	/۵۰۰	۴/۵۰	/۵۰۰	۶/۰۰	۰/۸۲۹	۰/۱۹	۰/۲۰
کلسیم (میکرومول بر لیتر)	۴/۳۵	۴/۵۷	۴/۵۲	۴/۴۸	۴/۴۶	۴/۵۱	۴/۵۶	۰/۰۸۱	۰/۵۸	۰/۳۶
روی (میکروگرم بر دسی‌لیتر)	۸۱^{b}	۹۷^{a}	۱۰۲^{a}	۱۰۷^{a}	۹۳^{a}	۹۹^{a}	۱۰۴^{a}	۱/۱۴	۰/۰۰۱	۰/۲۸

میانگین‌های هر ردیف با حروف غیرمشترک دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P<۰/۰۵).

SEM= خطای استاندارد میانگین‌ها (Standard Error of Means).

[1] ۱- گروه شاهد (جیره پایه)، ۲ تا ۴- جیره پایه+ به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره روی-متیونین زین-پرو (Zin-Pro®) و ۵ تا ۷- جیره پایه+ به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره روی-متیونین سنتزشده.

[2] ۱= P-Value مقایسات میانگین کل تیمارها و ۲= P-Value مقایسه گروهی بین تیمارهای ۲، ۳ و ۴ با تیمارهای ۵، ۶ و ۷.

طبق داده‌های این جدول، مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی و مقایسه گروهی بین گروه‌های دریافت‌کننده روی-متیونین سنتزشده و روی-متیونین Zin-Pro® نشان داد که مکمل‌های مختلف روی-متیونین تأثیر معنی‌داری بر وزن، درصد ماده خشک و خاکستر، طول، قطر و عرض، شاخص استخوان، درصد فسفر و کلسیم استخوان نداشتند (جدول ۵)، اما میزان Zn استخوان تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت به‌طوری‌که در مقایسه با گروه شاهد، گروه‌های دریافت‌کننده جیره دارای روی-متیونین سنتزشده و روی-متیونین Zin-Pro® دارای غلظت Zn استخوان بالاتری بودند (P<۰/۰۵).

جدول ۵. تأثیر سطوح و منابع مختلف کیلات روی-متیونین بر فراسنجه‌های استخوان

فراسنجه	تیمارهای آزمایشی [۱]							SEM	P-Value [۲]	
	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷		۱	۲
وزن (گرم)	۲۰/۱۷	۲۰/۸۷	۲۱/۳۴	۲۱/۴۷	۲۰/۹۴	۲۱/۲۸	۲۱/۱۹	۰/۲۴	۰/۸۴	۰/۷۱
ماده خشک (درصد)	۴۵/۷۳	۴۶/۳۴	۴۵/۴۲	۴۷/۲۸	۴۶/۳۲	۴۵/۷۶	۴۷/۱۴	۱/۱۲	۰/۶۳	۰/۵۸
خاکستر (درصد)	۳۷/۴۲	۳۶/۵۶	۳۷/۱۳	۳۶/۷۵	۳۷/۳۸	۳۶/۵۷	۳۷/۱۱	۱/۴۱	۰/۳۶	۰/۲۹
طول (میلی‌متر)	۱۰۴/۲۳	۱۰۳/۱۱	۱۰۵/۶۷	۱۰۴/۷۲	۱۰۵/۱۱	۱۰۶/۲۱	۱۰۳/۹۲	۱/۳۴	۰/۷۸	۰/۴۲
قطر (میلی‌متر)	۸/۸۳	۸/۹۴	۸/۷۳	۸/۹۲	۸/۷۶	۸/۸۹	۹/۰۲	۰/۱۲	۰/۶۷	۰/۳۷
عرض (میلی‌متر)	۱۱/۵۷	۱۱/۶۴	۱۱/۷۳	۱۱/۵۸	۱۱/۴۳	۱۱/۶۹	۱۱/۸۱	۰/۳۷	۰/۵۴	۰/۴۵
شاخص استخوان	۱/۷۴	۱/۷۹	۱/۸۲	۱/۸۵	۱/۸۳	۱/۸۲	۱/۷۹	۰/۰۵	۰/۲۱	۰/۱۹
فسفر (درصد)	۱۹/۶۲	۱۹/۲۱	۱۹/۷۸	۲۰/۰۸	۱۹/۸۱	۲۰/۱۱	۲۰/۰۹	۰/۲۷	۰/۴۷	۰/۱۴
کلسیم (درصد)	۳۹/۲۳	۳۸/۹۸	۳۹/۶۷	۴۰/۰۳	۳۹/۱۵	۳۸/۵۳	۳۸/۸۴	۱/۱۴	۰/۱۸	۰/۵۲
روی (میکروگرم بر گرم)	۲۷۱[b]	۲۸۶[a]	۲۹۳[a]	۳۰۲[a]	۲۸۲[a]	۲۹۷[a]	۳۰۰[a]	۳/۱۳	۰/۰۰۱	۰/۷۶

میانگین‌های هر ردیف با حروف غیر مشترک دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P<۰/۰۵).

SEM= خطای استاندارد میانگین‌ها (Standard Error of Means).

[۱] ۱- گروه شاهد (جیره پایه)، ۲ تا ۴- جیره پایه+ به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره روی-متیونین زین-پرو (Zin-Pro®) و ۵ تا ۷- جیره پایه+ به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره روی-متیونین سنتز شده.

[۲] ۱= P-Value مقایسات میانگین کل تیمارها و ۲= P-Value مقایسه گروهی بین تیمارهای ۲، ۳ و ۴ با تیمارهای ۵، ۶ و ۷.

در ناحیه ژژنوم روده کوچک، نسبت به گروه شاهد، گروه‌های دریافت‌کننده جیره‌های دارای روی-متیونین سنتزشده و روی-متیونین Zin-Pro® دارای طول پرز کوتاه‌تری بودند (جدول۶؛ P<۰/۰۵). نسبت به گروه شاهد، گروه دریافت‌کننده جیره حاوی ۰/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی-متیونین سنتزشده دارای عرض پرز بیش‌تری بودند، درحالی‌که گروه دریافت‌کننده جیره دارای ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم Zin-Pro® دارای عرض کم‌ترکم‌تری نسبت به گروه شاهد بودند (P<۰/۰۵). جوجه‌های دریافت‌کننده جیره حاوی ۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی-متیونین سنتز شده و گروه دریافت‌کننده جیره دارای ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی-متیونین Zin-Pro® نسبت به گروه شاهد دارای سطح مقطع پرز کم‌ترکم‌تری بودند (P<۰/۰۵). نسبت طول پرز به عمق کریپت در گروه‌های تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی ۰/۲ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم Zin-Pro® و گروه دریافت‌کننده جیره دارای ۰/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی-متیونین سنتزشده کم‌ترکم‌تر از گروه شاهد بود (P<۰/۰۵).

نتایج ریخت‌شناسی پرزهای ایلئومی نشان داد که نسبت به گروه شاهد، گروه‌های تغذیه‌شده با جیره‌های دارای Zin-Pro® و ۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی-متیونین سنتزشده دارای طول پرز بلندتری و عرض پرز کم‌تری بودند (P<۰/۰۵). گروه‌های دریافت‌کننده جیره حاوی ۰/۲ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم Zin-Pro® و ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی- متیونین سنتزشده نسبت به گروه شاهد دارای عمق کریپت بیش‌تری بودند (P<۰/۰۵). جوجه‌های

دریافت‌کننده جیره حاوی ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی–متیونین سنتزشده دارای بیش‌ترین سطح مقطع پرز و کم‌ترین مقدار نسبت طول پرز به عمق کریپت بودند (P<۰/۰۵). مقایسه گروهی بین گروه‌های دریافت‌کننده روی–متیونین سنتزشده و روی–متیونین Zin-Pro® نشان داد که اختلاف بین گروه دریافت‌کننده روی–متیونین سنتزشده و روی–متیونین Zin-Pro® از لحاظ طول پرز و عمق کریپت در ناحیه ژژنوم معنی‌دار بود، به‌طوری‌که کیلات روی–متیونین Zin-Pro® سبب افزایش طول پرز و عمق کریپت ژژنوم نسبت به گروه کیلات روی–متیونین سنتزشده شد و از لحاظ طول و عرض پرز، سطح مقطع پرز و نسبت طول پرز به عمق کریپت در ناحیه ایلئوم نیز اختلاف بین دو گروه معنی‌دار بود، به‌طوری‌که کیلات روی–متیونین Zin-Pro® سبب افزایش عرض و سطح مقطع پرز و کاهش طول و نسبت طول پرز به عمق کریپت ایلئوم نسبت به کیلات روی–متیونین سنتزشده شد.

جدول ٦. تأثیر سطوح و منابع مختلف کیلات روی–متیونین بر مورفولوژی روده جوجه‌های گوشتی

فراسنجه	تیمارهای آزمایشی[1]							SEM	P-Value[2]	
	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷		۱	۲
ژژنوم										
طول پرز (میکرومتر)	۱۷۶۸^{a}	۱۵۱۷^{c}	۱۶۵۵^{b}	۱۵۷۷^{bc}	۱۵۱۰^{c}	۱۳۰۵^{d}	۱۶۴۵^{b}	۲۹/۷۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷
عرض پرز (میکرومتر)	۱۴۰/۵^{bcd}	۱۵۱/۶^{abc}	۱۵۴/۸^{ab}	۱۲۱/۵^{d}	۱۳۳/۵^{cd}	۱۶۱/۷^{a}	۱۵۱/۶^{abc}	۶/۴۰۴	۰/۰۰۳	۰/۲۴
عمق کریپت (میکرومتر)	۱۷۶/۲^{ab}	۱۹۵/۵^{a}	۱۶۲/۸^{bc}	۱۸۹/۲^{ab}	۱۶۳/۸^{bc}	۱۷۱/۲^{ab}	۱۴۳/۲^{c}	۸/۱۸۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲
سطح مقطع پرز (میکرومتر مربع)	۷۷۹/۷^{ab}	۷۲۴/۵^{abc}	۸۰۵/۰^{a}	۶۰۴/۷^{c}	۶۳۴/۰^{c}	۶۶۲/۲^{bc}	۷۸۵/۷^{ab}	۴۰/۱۲	۰/۰۰۷	۰/۶۱
نسبت طول پرز به عمق کریپت	۱۰/۰۷^{ab}	۷/۸۵۰^{d}	۱۰/۱۷^{ab}	۸/۳۰۰^{cd}	۹/۵۷۵^{bc}	۷/۶۵۰^{d}	۱۱/۵۰^{a}	۰/۵۲۶	۰/۰۰۱	۰/۰۸
ایلئوم										
طول پرز (میکرومتر)	۹۶۱/۲^{c}	۱۰۶۰^{b}	۱۰۱۱^{bc}	۱۲۰۶^{a}	۱۰۵۶^{b}	۹۸۱/۱^{c}	۸۷۰/۰^{d}	۱۷/۶۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
عرض پرز (میکرومتر)	۱۸۰/۳^{b}	۱۶۲/۳^{c}	۱۱۴/۷^{e}	۱۲۹/۳^{d}	۱۵۷/۱^{c}	۱۶۳/۵^{c}	۲۲۹/۵^{a}	۲/۴۲۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
عمق کریپت (میکرومتر)	۱۴۱/۲^{cd}	۱۷۳/۲^{a}	۱۳۱/۶^{d}	۱۷۰/۳^{a}	۱۴۹/۵^{bcd}	۱۵۵/۳^{ab}	۱۶۶/۰^{ab}	۵/۸۵۰	۰/۰۰۱	۰/۷۶
سطح مقطع پرز (میکرومتر مربع)	۵۴۴/۲^{b}	۵۴۱/۰^{b}	۳۶۳/۷^{e}	۴۹۰/۲^{c}	۵۲۱/۰^{bc}	۵۰۴/۲^{cd}	۶۲۶/۵^{a}	۹/۸۸۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
نسبت طول پرز به عمق کریپت	۶/۸۰۰^{ab}	۶/۱۲۵^{c}	۷/۶۷۵^{a}	۷/۲۲۵^{ab}	۷/۱۵۰^{ab}	۶/۳۰۰^{bc}	۵/۲۲۵^{d}	۰/۳۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴

میانگین‌های هر ردیف با حروف غیر مشترک دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (p<۰/۰۵).

SEM= خطای استاندارد میانگین‌ها (Standard Error of Means).

[1] ۱– گروه شاهد (جیره پایه)، ۲ تا ۴– جیره پایه+ به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره روی–متیونین (Zin-Pro®) و ۵ تا ۷– جیره پایه+ به‌ترتیب ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره روی–متیونین سنتزشده.

[2] ۱= P-Value مقایسات میانگین کل تیمارها و ۲= P-Value مقایسه گروهی بین تیمارهای ۲، ۳ و ۴ با تیمارهای ۵، ۶ و ۷.

۵. بحث

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که تحت شرایط آزمایش حاضر، مکمل‌های روی–متیونین استفاده‌شده منجر به بهبود عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی نشدند. در تضاد با مطالعه حاضر، پژوهش‌گران تأثیر مثبت افزودن روی–متیونین را بر عملکرد جوجه‌های گوشتی (Jahanian & Rasouli, 2015; Saleh *et al*., 2018; Zaki & Dakhel, 2021) گزارش کردند. درحالی‌که موافق با نتایج آزمایش حاضر، عدم تأثیر منبع روی–متیونین بر همه فراسنجه‌های عملکرد تولیدی (وزن تخم‌مرغ، درصد تولید و توده تخم‌مرغ) مرغ‌های تخم‌گذار گزارش شده است (Li *et al*., 2019). دلیل تفاوت نتایج مطالعات مختلف ممکن است به فرم‌های متفاوت روی، طول دوره آزمایشی، شرایط آزمایش، وضعیت سلامت پرنده، مقدار روی موجود در جیره پایه و یا وجود ترکیباتی مثل فیتات که سبب تشکیل کمپلکس نامحلول با روی شده و از جذب روی جلوگیری می‌کنند، باشد (Li *et al*., 2019). هم‌چنین تفاوت منبع و یا سطح مکمل روی مورداستفاده در برآورد نتایج به‌دست‌آمده تأثیرگذار خواهد بود (Xu *et al*., 2017). از طرفی دیگر بیان شده است که اثرات مثبت مکمل

روی کیلات‌شده با متیونین بر هضم و جذب مواد مغذی در دستگاه گوارش و یا قابلیت دسترسی بالاتر روی در فرم کیلات‌شده با متیونین سبب افزایش وزن بدن خواهد شد. این پژوهش‌گران خصوصیات فیزیکوشیمیایی منابع روی مورداستفاده در پژوهش‌های مختلف را عامل تفاوت نتایج به‌دست‌آمده در مورد عملکرد می‌دانند (Mohammadi *et al*., 2015).

برخلاف نتایج آزمایش حاضر، گزارش شده است که افزودن کیلات روی–متیونین به‌جای روی معدنی سبب کاهش چربی شکمی (Moghaddam & Jahanian, 2009) شد. هم‌چنین، چربی محوطه شکمی تحت تأثیر افزودن سولفات–نانو–روی افزایش (Hatab *et al*., 2022; Mohammadi *et al*., 2015) و بازده لاشه و سینه بهبود یافت (Jahanian & Rasouli, 2015; Saleh *et al*., 2018) یا افزودن نانوذرات روی–متیونین وزن نسبی اجزای لاشه از قبیل وزن سنگدان، قلب، سینه و ران را تحت تأثیر قرار نداد، اما سبب افزایش وزن نسبی کبد شد (Hatab *et al*., 2022). این امر ممکن است مربوط به مصرف خوراک بالاتر توسط طیور مصرف‌کننده روی کیلات‌شده با متیونین یا بهبود هضم و جذب مواد مغذی در دستگاه گوارش در اثر استفاده از نانوذرات روی اکسید باشد (Hatab *et al*., 2022). هم‌چنین این پژوهش‌گران افزایش نقش روی در بیوسنتز پروتئین در سراسر بدن را عامل دیگری برای بهبود بازده لاشه و درصد سینه می‌دانند (Jahanian & Rasouli, 2015; Saleh *et al*., 2018). چربی بطنی کم‌تر در تیمار حاوی ۰/۲ میلی‌گرم روی–متیونین سنتزشده نشان‌دهنده این واقعیت است که مشارکت عنصر روی در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌ها، هم‌چنین به‌دلیل این‌که روی در حفظ ساختار متالوپروتئین‌ها مثل انسولین، هورمون محرک رشد و فاکتور رشد شبه‌انسولین عمل می‌کند که احتمالاً باعث می‌شود انرژی اضافی برای تشکیل لیپید در بدن جوجه‌ها باقی نماند.

در تضاد با نتایج مطالعه حاضر، در زمینه تأثیر کیلات‌های مختلف روی–متیونین بر غلظت متابولیت‌های سرم، گزارش شده است که روی–متیونین سبب کاهش سطوح اوریک‌اسید، کلسترول و تری‌گلیسرید خون شد و این پژوهش‌گران چنین نتیجه‌گیری کردند که دلیل آن ممکن است تحریک سنتز پروتئین توسط کیلات روی–متیونین باشد که در نتیجه منجر به کاهش غلظت تری‌گلیسرید و کلسترول خون می‌شود (Jahanian & Rasouli, 2015). هم‌چنین سایر پژوهش‌گران بیان کردند که تغذیه جیره دارای روی–متیونین در مقایسه با گروه شاهد سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های کبدی و گلوتاتیون پراکسیداز و غلظت مالون‌دی‌آلدهید سرمی شدند (Zaki & Dakhel, 2021). موافق با نتایج ما، نشان داده شده است که مکمل نانوذرات روی بر فعالیت آنزیم‌های آلانین آمینوترانسفراز و آسپارتات آمینوترانسفراز تأثیر نداشتند (Hatab *et al*., 2022). هم‌چنین، پژوهش‌گران با افزودن نانوذرات روی پوشش‌یافته با متیونین و روی–متیونین تغییری در غلظت Zn سرم مشاهده نکردند (Alkhtib *et al*., 2020). با توجه به نتیجه مطالعه حاضر و عدم تأثیر تیمارهای آزمایشی بر بیوشیمی خون و آنزیم‌های کبدی، می‌توان گفت دلایل متفاوت به‌دست‌آمده در مورد تأثیر عنصر روی بر آنزیم‌های کبدی ممکن است در ارتباط با دوز مورداستفاده روی و زمان در معرض قرارگیری استفاده از روی باشد (Hatab *et al*., 2022).

فراسنجه‌های بیوشیمی خون به‌عنوان شناساگرهای مهم وضعیت فیزیولوژی حیوان شناخته شده‌اند. روی توانایی القای ترشح گلوکاگون را دارد و در عوض ترشح انسولین را سرکوب می‌کند که دلیل آن بهبود استفاده از انرژی پس از مصرف مکمل روی و نقش مهمی که در متابولیسم چربی برای هضم و جذب چربی ایفا می‌کند، است (Hatab *et al*., 2022). کاهش فعالیت آنزیم‌های آسپارتات آمینوترانسفراز و آلانین آمینوترانسفراز در تیمارهای حاوی مکمل روی–متیونین در برخی از پژوهش‌ها ممکن است به‌دلیل نقش روی در افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها و تنش اکسیداتیو در طیور باشد. استرس اکسیداتیو باعث تحریک افزایش هورمون کورتیکوسترون شده و فعالیت آنزیم‌های کبدی از جمله AST و ALT را افزایش می‌دهد. کیلات روی–متیونین یا از طریق متیونین که در ساخت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز شرکت دارد باعث

بهبود وضعیت اکسیداسیون در داخل بدن می‌شود و یا ممکن است به‌واسطه داشتن عنصر روی به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان برای کاهش محرک‌های فرآیند اکسیداسیون (مانند یون‌های فلزی)، جلوگیری از آزادشدن آن‌ها از بافت‌ها و سپس شکستن زنجیره تعامل رادیکال‌های آزاد و توقف تولید و تشکیل این رادیکال‌ها عمل کند و از پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه و هم‌چنین غشای سلول‌ها به‌ویژه در کبد محافظت کند. در نتیجه این محافظت‌ها، ویژگی‌های نفوذپذیری اختیاری غشای کبد حفظ شده و از نشت آنزیم‌ها از داخل سلول به بیرون جلوگیری می‌شود (Zaki & Dakhel, 2021).

پژوهش‌گران با افزودن ۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مکمل روی حداکثر میزان رسوب روی در استخوان درشت‌نی جوجه‌های گوشتی را مشاهده کردند (Pimentel *et al*., 1991)، درحالی‌که در مطالعه دیگری بالاترین میزان رسوب روی در استخوان درشت‌نی در غلظت ۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (Bafundo *et al*., 1984) و به‌طور مشابه تغذیه بیش از ۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مکمل روی تأثیری بر رسوب روی در استخوان درشت‌نی نداشت (Wedekind *et al*., 1992). برخلاف نتایج آزمایش حاضر، افزودن ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوروی پوشش‌یافته با متیونین یا کیلات روی‌–متیونین منجر به افزایش قدرت و استحکام استخوان درشت‌نی (Alkhtib *et al*., 2020) شد و موافق با مطالعه حاضر، افزودن ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منابع مختلف روی (کمپلکس سولفات–نانو– روی، روی–نانو– متیونین، روی–نانو–مکس، سولفات–روی و متیونین–روی) سبب افزایش غلظت Zn استخوان درشت‌نی (Mohammadi *et al*., 2015) شد که دلیلی بر نقش اسیدآمینه (متیونین) به‌صورت کیلاته با Zn و یا به‌صورت نانو می‌تواند منجر به بهبود خصوصیات استخوانی شود. پژوهش‌گران دلیل بهبود خصوصیات استخوان را نقش روی در تحریک تشکیل استخوان با افزایش تکثیر سلولی، سنتز کلاژن و معدنی‌شدن در سلول‌های استئوبلاست عنوان کردند (Seo *et al*., 2010). جالب توجه است که مشابه نتایج آزمایش حاضر، برخی از پژوهش‌گران اثر مثبت ۴۲ روز مصرف مکمل روی را فقط در استخوان ران مشاهده کردند نه در استخوان درشت‌نی و این مسئله نشان می‌دهد که روی احتمالاً تشکیل استخوان‌های بلند را تسریع می‌کند، اما منجر به افزایش استحکام استخوان درشت‌نی در سن کشتار نمی‌شود (Tomaszewska *et al*., 2017).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به‌طورکلی، تحت شرایط انجام آزمایش حاضر، افزودن ۲۰ تا ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی–متیونین از منابع Zin-Pro® و سنتزشده در دانشگاه ایلام تأثیر قابل‌قبولی بر عملکرد، خصوصیات لاشه، غلظت متابولیت‌های خونی (غیر از Zn سرم) و آنزیم‌های کبدی و خصوصیات کمی و کیفی استخوان درشت‌نی (غیر از Zn استخوان) نداشت، اما سبب کاهش طول پرز و عمق کریپت در ناحیه ژژنوم و ایلئوم شدند. با توجه به این‌که پژوهش حاضر اولین آزمایش انجام‌شده روی قابلیت استفاده از کیلات روی–متیونین سنتزشده در دانشگاه ایلام در جیره جوجه‌های گوشتی است و با توجه به هزینه تولید این ماده در شرایط آزمایشگاهی و عدم تأثیر آن بر بهبود شاخص کارایی تولید اروپایی، به‌نظر می‌رسد که استفاده از آن در جیره جوجه‌های گوشتی منجر به گران‌شدن جیره شده باشد، اما تا رسیدن به نتیجه قطعی و دقیق‌تر، نیاز به پژوهش‌های بیش‌تری در زمینه غلظت مکمل (بیش‌تر از ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و شرایط آزمایش (تنش‌های محیطی و میکروبی) است.

۷. تشکر و قدردانی

از همکاری مسئولین محترم ایستگاه تحقیقاتی مرکز فنی–حرفه‌ای شهرستان ایلام در انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

Alkhtib, A., Scholey, D., Carter, N., Cave, G. W., Hanafy, B. I., Kempster, S. R., Mekapothula, S., Roxborough, E. T., & Burton, E. J. (2020). Bioavailability of methionine-coated zinc nanoparticles as a dietary supplement leads to improved performance and bone strength in broiler chicken production. *Animals*, *10*(9), 1482.

Bafundo, K., Baker, D., & Fitzgerald, P. (1984). Zinc utilization in the chick as influenced by dietary concentrations of calcium and phytate and by Eimeria acervulina infection. *Poultry science*, *63*(12), 2430-2437.

Bruno, L., Furlan, R., Malheiros, E., & Macari, M. (2000). Influence of early quantitative food restriction on long bone growth at different environmental temperatures in broiler chickens. *British poultry science*, *41*(4), 389-394.

de Los Santos, F. S., Farnell, M., Tellez, G., Balog, J., Anthony, N., Torres-Rodriguez, A., Higgins, S., Hargis, B., & Donoghue, A. (2005). Effect of prebiotic on gut development and ascites incidence of broilers reared in a hypoxic environment. *Poultry science*, *84*(7), 1092-1100.

Dhanalakshmi, A., Natarajan, B., Ramadas, V., Palanimurugan, A., & Thanikaikarasan, S. (2016). Structural, morphological, optical and antibacterial activity of rod-shaped zinc oxide and manganese-doped zinc oxide nanoparticles. *Pramana*, *87*, 1-9.

Hatab, M., Rashad, E., Saleh, H. M., & El-Sayed, E.-S. R. (2022). Effects of Dietary Supplementation of Zinc Oxide Nanoparticles on Productive Performance, Physiological, Histological Changes and Tissues Zn Concentration in Broiler Chicks.

Jahanian, R., & Rasouli, E. (2015). Effects of dietary substitution of zinc-methionine for inorganic zinc sources on growth performance, tissue zinc accumulation and some blood parameters in broiler chicks. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, *99*(1), 50-58.

Koppa, N. A., & Jatmika, C. (2018). Synthesis and analysis of zinc-methionine, zinc-tryptophan, copper-lysine, and copper-isoleucine complexes using atomic absorption spectrophotometry. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, *10*(Special Issue 1), 416-418.

Li, L., Gong, Y., Zhan, H., Zheng, Y., & Zou, X. (2019). Effects of dietary Zn-methionine supplementation on the laying performance, egg quality, antioxidant capacity, and serum parameters of laying hens. *Poultry Science*, *98*(2), 923-931.

Mamun, M., Ahmed, O., Bakshi, P., & Ehsan, M. (2010). Synthesis and spectroscopic, magnetic and cyclic voltammetric characterization of some metal complexes of methionine:[(C5H10NO2S) 2MII]; MII= Mn (II), Co (II), Ni (II), Cu (II), Zn (II), Cd (II) and Hg (II). *Journal of Saudi Chemical Society*, *14*(1), 23-31.

Moghaddam, H. N., & Jahanian, R. (2009). Immunological responses of broiler chicks can be modulated by dietary supplementation of zinc-methionine in place of inorganic zinc sources. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *22*(3), 396-403.

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

Pimentel, J., Cook, M., & Greger, J. (1991). Immune response of chicks fed various levels of zinc. *Poultry science*, *70*(4), 947-954.

Rashidi, N., Khatibjoo, A., Taherpour, K., Akbari-Gharaei, M., & Shirzadi, H. (2020). Effects of licorice extract, probiotic, toxin binder and poultry litter biochar on performance, immune function, blood indices and liver histopathology of broilers exposed to aflatoxin-B1. *Poultry science*, *99*(11), 5896-5906.

Saleh, A. A., Ragab, M. M., Ahmed, E. A., Abudabos, A. M., & Ebeid, T. A. (2018). Effect of dietary zinc-methionine supplementation on growth performance, nutrient utilization, antioxidative properties and immune response in broiler chickens under high ambient temperature. *Journal of Applied Animal Research*, *46*(1), 820-827.

SAS. (2004). Institute. SAS User's Guide. Version 9.4 ed. SAS Inst. Inc., Cary, NC.

Seo, H.-J., Cho, Y.-E., Kim, T., Shin, H.-I., & Kwun, I.-S. (2010). Zinc may increase bone formation through stimulating cell proliferation, alkaline phosphatase activity and collagen synthesis in osteoblastic MC3T3-E1 cells. *Nutrition research and practice*, *4*(5), 356-361.

Spears, J., & Kegley, E. (2002). Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *Journal of Animal science*, *80*(10), 2747-2752.

Tomaszewska, E., Muszyński, S., Dobrowolski, P., Kwiecień, M., Winiarska-Mieczan, A., Świetlicka, I., & Wawrzyniak, A. (2017). Effect of zinc level and source (zinc oxide vs. zinc glycine) on bone mechanical and geometric parameters, and histomorphology in male Ross 308 broiler chicken. *Brazilian Journal of Poultry Science*, *19*, 159-170.

Vieira, S. L. (2008). Chelated minerals for poultry. *Brazilian Journal of Poultry Science*, *10*, 73-79.

Wedekind, K., Hortin, A., & Baker, D. (1992). Methodology for assessing zinc bioavailability: efficacy estimates for zinc-methionine, zinc sulfate, and zinc oxide. *Journal of Animal science*, *70*(1), 178-187.

Xu, X., Liu, L., Long, S.-F., Piao, X.-S., Ward, T. L., & Ji, F. (2017). Effects of Chromium Methionine Supplementation with Different Sources of Zinc on Growth Performance, Carcass Traits, Meat Quality, Serum Metabolites, Endocrine Parameters, and the Antioxidant Status in Growing-Finishing Pigs. *Biological Trace Element Research*, *179*(1), 70-78. https://doi.org/10.1007/s12011-017-0935-0

Zaki, A. N., & Dakhel, H. H. (2021). ((effect of early feeding with zinc-methionine on improving growth performance and some biochemical characteristics of broilers)). IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, (Vol. 722, No. 1, p. 012035). IOP Publishing.