



Research Paper

Effects of Different Sources of Supplemental Zinc on the Performance and Some Blood Parameters of Holstein Suckling Calves**Leyla Cheraghi Mashoof¹, Hassan Aliarabi², Daryoush Alipour³ and Pouya Zamani⁴**

1- Ph.D. Student, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- Professor, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran,
(Corresponding author: h_aliarabi@yahoo.com)

3- Associate Professor, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran

4- Professor, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran

Received: 21 June, 2023

Accepted: 05 December, 2023

Extended Abstract

Background: Zinc (Zn) is one of the essential minerals for the health and productivity of growing calves because this mineral is important for metabolism, growth, immune and defense systems, and antioxidant status. This element is also known as an anti-inflammatory and anti-diarrheal agent. In addition, Zn in enzymes acts as a structural component away from the active site, a proton donor in the active site, and an atomic bridge between the substrate and the enzyme. Zn has an essential role in the regulation of many metabolic processes, and its deficiency results in low appetite and, consequently, decreased feed intake. Therefore, it is of strong interest for producers, feed manufacturers, veterinarians, and scientists. The National Research Council (2021) recommends 70 mg/kg of Zn for calves at 30 days of age while the amount of this element is commonly low in the soil of many regions of Iran. Therefore, plants that grow in these soils have a low level of Zn concentration, and when they are consumed as animal feed, can cause a wide range of complications due to Zn deficiency, among which growth abnormality is one of the most obvious signs. Zn supplementation may improve the health and performance of suckling calves. However, the use of high Zn concentrations in the diet may affect the digestion, absorption, and use of other nutrients in the diet and potentially lead to environmental pollution due to the excess excretion of Zn in feces. Thus, the use of Zn sources above bioavailability has a special place. Recently, organic and hydroxy forms of minerals in animal feed supplements have attracted substantial interest from feed manufacturers and animal producers because they have higher Zn bioavailability than inorganic salts. This study aimed to evaluate the effect of Zn sulfate, organic Zn, and Zn hydroxychloride on performance, growth, and blood parameters in Holstein suckling calves.

Methods: This study was conducted on 40 Holstein suckling calves from 7 to 77 days of age in a completely randomized design. Each treatment had the same number of male and female calves. Treatments were 1) a basal diet without Zn supplement (containing 53.29 mg/kg of Zn DM), 2) a basal diet + 20 mg/kg of Zn DM as organic Zn, 3) a basal diet + 20 mg/kg of Zn DM as Zn hydroxychloride, and 4) a basal diet + 20 mg/kg of Zn DM as Zn sulfate. Calves were kept in individual stalls and had ad libitum access to water and a starter. During the experiment, the calves were fed with two meals of milk at 8:00 and 16:00 at the rate of 2 kg per meal. The dry matter intake, daily gain, and feed conversion ratio (FCR) were determined in calves. Blood samples were taken from the jugular vein on 7, 43, and 77 days of age almost 4-5 hours after morning feeding. The collected blood was poured into two separate tubes, one containing heparin to obtain plasma and the other without heparin to obtain serum. Plasma and serum samples were kept at -80°C until the measurement of the studied parameters. Blood concentrations of calcium and phosphorus, aspartate aminotransferase, alkaline aminotransferase, alanine aminotransferase, superoxide dismutase, creatine phosphokinase, and lipid parameters (triglyceride, cholesterol, high-density lipoprotein, low-density lipoprotein, and very low-density lipoprotein) were measured using commercial kits. A Mindray BS-800 Chemistry Analyzer - BS-800 was used to measure the amounts of Zn, Fe, and Cu in blood. Data were analyzed in a completely randomized design using SAS.

Results: There were no significant differences between treatments for daily weight gain and dry matter intake at 21, 35, 45, and 63 days of age ($P > 0.05$). At 77 days of age, daily weight gain



and feed intake in calves received Zn supplements as Zn sulfate, Zn hydroxychloride, and organic Zn were significantly higher than the control group ($P < 0.05$). However, there were no significant differences between different sources of Zn supplemented to the groups ($P > 0.05$). Body weight and FCR of the calves during the suckling period were not affected by Zn supplementation ($P > 0.05$). There were significant increases in the serum Zn and alkaline phosphatase concentrations of the calves supplemented with Zn sulfate, Zn methionine, and Zn organic compared to the control group ($P < 0.05$). Serum concentrations of Fe, Cu, Ca, P, aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase, creatine phosphokinase, and lipid parameters (triglyceride, cholesterol, high-density lipoprotein, low-density lipoprotein, and very low-density lipoprotein) were not affected by the treatments ($P > 0.05$). However, the superoxide dismutase activity of the Zn-supplemented groups showed a numerical increase compared to the control group ($P = 0.08$).

Conclusion: The results showed that adding 20 mg/kg of Zn DM as Zn sulfate, Zn hydroxychloride, and organic Zn increased serum Zn and alkaline phosphatase concentrations and, finally, improved dry matter intake and daily weight gain. However, there were no significant differences between the Zn-supplemented groups for serum Zn and alkaline phosphatase concentrations, dry matter intake, and daily weight gain.

Keywords: Holstein calves, Organic Zn, Performance, Zn hydroxychloride, Zn sulfate

How to Cite This Article: Cheraghi Mashoof, L., Aliarabi, H., Alipour, D., & Zamani, P. (2024). Effects of Different Sources of Supplemental Zinc on the Performance and Some Blood Parameters of Holstein Suckling Calves. *Res Anim Prod*, 15(2), 95-106. DOI : [10.61186/rap.15.2.95](https://doi.org/10.61186/rap.15.2.95)



مقاله پژوهشی

اثر منابع مختلف روی بر عملکرد و برخی از فراسنجه‌های خونی در گوساله‌های شیرخوار هلستاین

لیلا چراغی مشعوف^۱، حسن علی‌عربی^۲، داریوش علیپور^۳ و پویا زمانی^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
 ۲- استاد، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران، (نویسنده مسوول: h_aliarabi@yahoo.com)
 ۳- دانشیار، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
 ۴- استاد، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۴
 تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱
 صفحه ۹۵ تا ۱۰۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: روی از جمله مهم‌ترین مواد معدنی برای سلامتی و بهره‌وری از گوساله‌های در حال رشد است؛ زیرا این ماده معدنی برای متابولیسم، رشد، سیستم ایمنی و دفاعی و وضعیت آنتی‌اکسیدانی حائز اهمیت است همچنین، این عنصر به‌عنوان یک عامل ضد التهاب و ضد اسهال شناخته شده است. علاوه بر این، روی در آنزیم‌ها به‌عنوان یک جزء ساختاری دور از جایگاه فعال، دهنده پروتون در جایگاه فعال و یک پل اتمی بین سوبسترا و آنزیم عمل می‌کند. بنابراین، روی نقش مهمی در تنظیم بسیاری از فرایندهای متابولیک دارد و کمبود آن سبب کاهش اشتها و خوراک مصرفی می‌شود. از این‌رو این عنصر مورد توجه پرورش دهندگان دام، تولید کنندگان خوراک، دانشمندان و دامپزشکان قرار گرفته است. انجمن ملی پژوهش‌ها (۲۰۲۱) ۷۰ میلی گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی را برای گوساله‌های در حال رشد با سن ۳۰ روزگی را پیشنهاد کرده است. اما سطح روی در خاک‌ها بسیاری از مناطق ایران کم است. لذا گیاهانی که در این خاک‌ها پرورش می‌یابند سطح پایینی از غلظت روی را دارند و وقتی به‌عنوان خوراک دام مصرف می‌شوند می‌تواند سبب طیف گسترده‌ای از عوارض ناشی از کمبود روی شود که ناهنجاری در رشد یکی از بارزترین نشانه‌های آن است. بنابراین مکمل‌سازی جیره با روی ممکن است سبب بهبود رشد و سلامت گوساله‌های شیرخوار شود. اما استفاده از غلظت بالای روی در جیره ممکن است بر هضم، جذب و استفاده از سایر مواد مغذی در جیره تأثیر بگذارد و به‌طور بالقوه منجر به آلودگی محیطی ناشی از دفع اضافی روی در مدفوع شود، بنابراین استفاده از منابع روی با زیست‌فراهمی بالاتر از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. در سال‌های اخیر اشکال آلی و هیدروکسی برخی منابع معدنی در مکمل‌های خوراک دام به‌دلیل زیست‌فراهمی بالای آن‌ها مورد توجه تولیدکنندگان خوراک و پرورش دهندگان دام قرار گرفته است. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی اثر روی آلی، هیدروکسی روی و سولفات روی بر عملکرد و برخی از فراسنجه‌های خونی در گوساله‌های شیرخوار هلستاین بود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش با استفاده از ۴۰ رأس گوساله شیرخوار نژاد هلستاین از سن ۷ تا ۷۷ روزگی در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تعداد گوساله‌ها در هر تیمار از لحاظ جنسیت نر و ماده یکسان بود. تیمارهای آزمایشی شامل: (۱) جیره آغازین بدون افزودن مکمل روی (حاوی ۵۳/۲۹ میلی گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی)، (۲) جیره آغازین + ۲۰ میلی گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی به‌صورت روی آلی، (۳) جیره آغازین + ۲۰ میلی گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی به‌صورت سولفات روی بود. گوساله‌ها در پاکس‌های انفرادی نگهداری می‌شدند و دسترسی آزاد به جیره آغازین و آب تازه داشتند. گوساله‌ها در طی آزمایش با دو وعده شیر در ساعات ۸:۰۰ و ۱۶:۰۰ به‌میزان ۲ کیلوگرم در هر وعده تغذیه می‌شدند. ماده خشک مصرفی روزانه، افزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل خوراک تعیین شد. خون‌گیری در سنین ۷، ۴۳ و ۷۷ روزگی گوساله‌ها، ۴-۵ ساعت پس از خوراک‌دهی نوبت صبح از راه سیاهرگ دواج انجام شد. خون گرفته شده در دو لوله جداگانه یکی حاوی هپارین برای به‌دست آوردن پلاسما و دیگری بدون هپارین برای به‌دست آوردن سرم ریخته شد. نمونه‌های پلاسما و سرم تا زمان اندازه‌گیری فراسنجه‌های مورد بررسی، در دمای منفی ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. غلظت کلسیم و فسفر، اسپراتارت آمینوترانسفراز، آلکالین آمینوترانسفراز، آلانین آمینوترانسفراز، سوپراکسید دیسموتاز، کراتین فسفوکیناز و فراسنجه‌های لیپیدی (تری‌گلیسرید، کلسترول، لیپوپروتئین با چگالی بالا، لیپوپروتئین با چگالی پایین و لیپوپروتئین با چگالی بسیار پایین) با استفاده از کیت‌های تجاری اندازه‌گیری شدند. برای اندازه غلظت عناصر معدنی روی، آهن و مس سرم خون از دستگاه اتوآنالایزر بیوشیمی میندری استفاده شد. داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با SAS آنالیز شدند.

یافته‌ها: بر اساس نتایج به‌دست آمده تفاوت آماری معنی‌داری در بین تیمارها برای ماده خشک مصرفی و افزایش وزن روزانه در سنین ۲۱، ۳۶، ۴۹ و ۶۳ روزگی گوساله‌ها وجود نداشت ($P>0/05$). اما در ۷۷ روزگی؛ گوساله‌های که مکمل روی به‌صورت سولفات روی، متیونین روی و روی آلی دریافت کرده بودند، نسبت به گروه شاهد افزایش وزن روزانه و خوراک مصرفی بالاتری داشتند (به‌ترتیب $P=0/006$ ، $P=0/009$ ، هرچند تفاوت آماری معنی‌داری در بین گروه‌های مکمل‌سازی شده با منابع مختلف روی مشاهده نشد ($P>0/05$). وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک گوساله‌ها طی دوره شیرخوارگی تحت تأثیر مکمل روی قرار نگرفت ($P>0/05$). افزایش معنی‌داری در غلظت روی و فعالیت آنزیم آلکالین آمینوترانسفراز سرم خون گوساله‌ها مصرف کننده مکمل به‌صورت سولفات روی، متیونین روی و روی آلی نسبت به گروه شاهد مشاهده شد (به‌ترتیب $P=0/0057$ ، $P=0/0004$). اما غلظت آهن، مس، کلسیم و فسفر، اسپراتارت آمینوترانسفراز، آلانین آمینوترانسفراز، کراتین فسفوکیناز و فراسنجه‌های لیپیدی (تری‌گلیسرید، کلسترول، لیپوپروتئین با چگالی بالا، لیپوپروتئین با چگالی پایین و لیپوپروتئین با چگالی بسیار پایین) سرم خون گوساله‌ها تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت ($P>0/05$). غلظت سوپراکسید دیسموتاز سرم خون گوساله‌های دریافت کننده منابع مختلف روی در مقایسه با شاهد تمایل به افزایش داشت ($P=0/08$).

نتیجه‌گیری: افزودن ۲۰ میلی گرم روی در اشکال روی آلی، متیونین وی و سولفات روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی به جیره سبب افزایش غلظت روی و آنزیم آلکالین آمینوترانسفراز سرم و در نهایت منجر به بهبود ماده خشک مصرفی و افزایش وزن روزانه شد. اما تفاوت آماری معنی‌داری در بین تیمارهای دریافت کننده منابع مختلف برای غلظت این عنصر و آنزیم آلکالین آمینوترانسفراز سرم، ماده خشک مصرفی و افزایش وزن روزانه وجود نداشت.

واژه‌های کلیدی: روی آلی، سولفات روی، عملکرد، گوساله‌های هلستاین، هیدروکسی کلرید روی

مقدمه

برای متابولیسم، رشد، سیستم ایمنی و دفاعی و وضعیت آنتی‌اکسیدانی ضروری است (Abdollahi et al., 2020). همچنین این عنصر به‌عنوان یک عامل ضد التهاب و ضد

روی یکی از مهم‌ترین مواد معدنی برای سلامتی و بهره‌وری از گوساله‌های جوان است؛ زیرا این ماده معدنی

مکمل‌سازی جیره با روی آلی اثرات مفیدی بر ماده خشک مصرفی و افزایش وزن روزانه داشت (Adab et al., 2020)، به‌هرحال، هزینه منابع آلی بالاتر از منابع معدنی است. امروزه یک منبع غیره آلی از عناصر کم‌مصرف تحت عنوان مینرال‌های هیدروکسی به بازار عرضه شده‌اند که دارای ساختار منحصر به‌فردی هستند و گروه هیدروکسی (OH) موجود در آن‌ها سبب ایجاد پیوند فلزی محکمی با عنصر مدنظر می‌شود (Arias and Koutsos, 2006)، که این سبب کاهش حلالیت ترکیب در آب و اسیدهای ضعیف می‌شود، اما تحت شرایط اسیدی معده غیر نشخوارکنندگان و شیردان نشخوارکنندگان یونیزه می‌شود (Spears et al., 2004). هیدروکسی کلرید روی از خانواده هیدروکسی‌ها است که در مقایسه با سولفات روی، Zn^{+2} کمتری را در شکمبه آزاد می‌کند اما میزان جذب بیشتری دارد (Shaeffer et al., 2017). این کاهش درصد رهاسازی در شکمبه ممکن است برای جذب روی و هضم مواد مغذی در شکمبه مفید باشد (Wang et al., 2012). این نیز گزارش شده است که افزودن هیدروکسی کلرید روی به جیره سبب بهبود ایقا و قابلیت هضم ظاهری روی در گوساله‌های ماده هلشتاین شد (Shaeffer et al., 2017). به‌هرحال، پژوهش‌های زیادی از این منبع جدید روی برای نشخوارکنندگان در دسترس نیست و باید آزمایش‌های بیشتری انجام شود، از این‌رو هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر منابع مختلف روی بر عملکرد، الگوی مواد معدنی و برخی از فراسنجه‌های چربی و آنزیمی خون در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین بود.

مواد و روش‌ها

حیوانات و تیمارهای آزمایشی

این پژوهش در مجتمع کشت و صنعت پگاه، واقع در شهرستان ملایر از توابع استان همدان اجرا گردید و فعالیت‌های آزمایشگاهی آن در دانشگاه بوعلی سینا انجام شد. بدین‌منظور، تعداد ۴۰ راس گوساله شیرخوار نژاد هلشتاین ۷ روزه در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار و ۱۰ تکرار به‌مدت ۷۰ روز بررسی شدند. گوساله‌ها پس از تولد به جایگاه‌های انفرادی (۱/۲×۲/۸ متر) ضدعفونی شده که دارای بستری از کلس بودند منتقل شدند. گوساله‌ها در طی دوره شیرخوارگی با دو وعده شیر در ساعات ۸:۰۰ و ۱۶:۰۰ به‌میزان ۲ کیلوگرم در هر وعده تغذیه می‌شدند. لازم به ذکر است که غلظت روی شیر ۲/۵۸ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک بود که همه تیمارها به‌صورت یکسان آن را دریافت کردند. تیمارهای آزمایشی شامل: (۱) جیره آغازین بدون افزودن مکمل روی (حاوی ۵۳/۲۹ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی)، (۲) جیره آغازین + ۲۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی به‌صورت مکمل روی (حاوی ۵۳/۲۹ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی)، (۳) جیره آغازین + ۲۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی به‌صورت هیدروکسی کلرید روی شرکت آریانا (حاوی ۵۳ درصد روی) و (۴) جیره آغازین + ۲۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی به‌صورت سولفات روی مرک آلمان بود. جیره آغازین و آب تازه از روز اول آزمایش

اسهال شناخته شده است (Mandal et al., 2007). علاوه بر این روی در آنزیم‌ها به‌عنوان یک جزء ساختاری دور از جایگاه فعال، دهنده پروتون در جایگاه فعال و یک پل اتمی بین سوپسترا و آنزیم عمل می‌کند (Kaneko et al., 2008)، ضمن این‌که در عملکرد بیش از ۲۰۰ آنزیم در ساخت DNA، میتوز و تقسیم سلولی، ساخت پروتئین و متابولیسم کربوهیدرات ایفای نقش می‌کند (Mandal et al., 2007). انجمن ملی تحقیقات (NRC, 2021) سطح روی مورد نیاز گوساله‌های در حال شد با سن ۳۰ روزگی را ۷۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی پیشنهاد کرده است. با این‌وجود، مهمترین عامل تعیین کننده نیاز روی در موجودات زنده غلظت این عنصر در خاک و گیاهان آن منطقه است (Suttle, 2010). سطح روی در خاک‌های سطحی ایران کمتر از ۰/۸ میلی‌گرم در هر کیلوگرم گزارش شده است (Azizzadeh et al., 2005). لذا گیاهانی که در این خاک‌ها رشد می‌کنند با کمبود روی مواجه هستند و به‌عنوان خوراک دام مصرف می‌شوند، در نتیجه این امر در دام می‌تواند سبب طیف گسترده‌ای از عوارض شود که ناهنجاری در رشد یکی از بارزترین نشانه‌های آن است (Azizzadeh et al., 2005). از این‌رو برای اطمینان از اینکه حیوانات در حال رشد ظرفیت ژنتیکی خود را برای عملکرد و سلامتی به‌کار می‌برند، اغلب روی به جیره دام‌هایی که مناطق آن‌ها با کمبود روی شناخته شده اضافه می‌شود. پژوهشگران گزارش کردند مکمل‌سازی جیره با روی تأثیر مثبتی بر عملکرد، وضعیت آنتی‌اکسیدانی و سیستم ایمنی گوساله‌ها دارد (Wei et al., 2019; Feldmann et al., 2019). اما استفاده از سطوح بالای روی در جیره ممکن است بر هضم، جذب و استفاده از سایر مواد مغذی در جیره تأثیر بگذارد و به‌طور بالقوه منجر به آلودگی محیطی ناشی از دفع اضافی روی در مدفوع شود (Mohanta and Garg, 2014). یون Zn^{+2} آزاد شده در شکمبه می‌تواند کمپلکس‌های نامحلول با مواد مغذی و متابولیت‌های غذایی تشکیل دهد یا به‌سرعت در سلول‌های میکروارگانیسم‌ها گنجانده شود و سبب کاهش روی قابل جذب در روده شود (Shaeffer et al., 2017)، بنابراین استفاده از منابع روی با زیست‌فراهمی بالاتر از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. در سال‌های اخیر اشکال آلی عناصر معدنی در مکمل‌های خوراک دام، توجه عمده تولیدکنندگان خوراک و پرورش دهندگان دام را به‌خود جلب کرده است (Spears et al., 2004). در این ترکیبات عنصر معدنی به یک ملکول آلی مانند پروتئین و اسیدهای آمینه پیوند می‌شود (Arias and Koutsos, 2006) و این مکمل‌ها به‌دلیل کاهش احتمالی حلالیت در دستگاه گوارش و در نتیجه آن کاهش بروز اثرات آنتاگونیسمی با سایر مواد معدنی، مقاومت در برابر pH معده و جذب از مسیری غیر از مسیر معمول احتمالاً منجر به افزایش زیست‌فراهمی بالاتر آن‌ها نسبت به فرم معدنی شده است (Spears, 2003). تاکنون پژوهش‌های زیادی در رابطه با منابع آلی و غیر آلی روی در نشخوارکنندگان انجام شده است که نتایج حاصل بیانگر به‌کارگیری منابع آلی نسبت به منابع معدنی بوده است به‌گونه‌ای که در گوساله‌های شیرخوار

در جیره آغازین، ابتداء روی با پیش مخلوطی از خوراک آغازین همگن می‌شد سپس پیش مخلوط و خوراک آغازین باهم ترکیب شدند. همچنین بر اساس ماده خشک شیر مکمل روی وزن شد و از طریق شیر نوبت صبح به مصرف گوساله‌ها رسید.

به‌صورت آزاد در اختیار گوساله‌ها قرار گرفت. گوساله‌ها از روز اول آزمایش با جیره حاوی ۹۲ درصد کنسانتره، ۵ درصد یونجه مرغوب و ۳ درصد گندم تغذیه شدند. مواد خوراکی تشکیل دهنده و ترکیب شیمیای جیره آغازین و شیر در جدول ۱ ارائه شده است. مکمل روی از طریق خوراک آغازین و شیر در اختیار گوساله‌ها قرار گرفت. به‌منظور مخلوط کردن روی

جدول ۱- اجزاء و ترکیب شیمیای خوراک آغازین و شیر

Table 1. Ingredients and nutrient composition of the starter and milk

خوراک آغازین Starter	درصد (%)
جو Barley	9
ذرت Corn	46
کنجاله سویا Soybean meal	26
سیوس Bran	4.5
نمک Salt	0.7
مکمل معدنی Mineral supplement	1.4
مکمل ویتامینی Vitamin supplement	1.5
جوش شیرین Sodium bicarbonate	1.4
کربنات کلسیم Calcium carbonate	0.5
اکسید منیزیم Magnesium oxide	0.3
توکسین بایندر Binder toxin	0.3
دی کلسیم فسفات Di-calcium phosphate	0.4
یونجه Alfalfa	5
کاه گندم Straw	3
مواد مغذی Nutrients	
جیره آغازین Starter	
ماده خشک DM (%)	94.8
ماده آلی OM (%DM)	94.7
خاکستر Ash (%DM)	7.3
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF (%DM)	7.8
الیاف نامحلول در شوینده خنثی NDF (%DM)	17
پروتئین خام CP (%DM)	17.83
روی Zn (Mg/kg DM)	53.29
مس Cu (Mg/kg DM)	60.22
آهن Fe (Mg/kg DM)	90.25
شیر Milk	
چربی fat (%)	2.89
پروتئین protein (%)	3.11
لاکتوز Lactose (%)	4.6
کل مواد جامد Total solids (%)	11.48
روی Zn (Mg/kg DM)	2.85
مس Cu (Mg/kg DM)	0.15
آهن Fe (Mg/kg DM)	0.27

اسیدی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی به‌روش Van Soest و همکاران بدون افزودن تیوسولفات و آلفا آمیلاز انجام شد (Van Soest et al., 1991). غلظت عناصر روی، آهن و مس در خوراک و شیر پس از هضم (Salama et al., 2003; Westterma and Constabel, 1982) توسط دستگاه جذب اتمی مدل (spectraAA220Variant ساخت استرالیا) تعیین شدند. همچنین برای اندازه غلظت عناصر معدنی روی، آهن و مس سرم خون از دستگاه اتوانالایزر بیوشیمی میندري مدل (Mindray BS-800 Chemistry Analyzer - BS-800) استفاده شد. غلظت کلسیم و فسفر سرم توسط کیت‌های آزمایشگاهی پارس آزمون تهران (با شماره P.L.15993948) و فراسنجه‌های چربی شامل تری‌گلیسرید، کلسترول، لیپوپروتئین با چگالی بالا، لیپوپروتئین با چگالی پایین و فعالیت آنزیم‌های اسپارتات آمینوترانسفراز، آلانین آمینوترانسفراز، آلکالین فسفاتاز و کراتین فسفوکیناز توسط کیت‌های آزمایشگاهی بیونیک تهران (با شماره 3141754) با استفاده از دستگاه اتوانالایزر بیوشیمی مدل الفا کلاسیک ایران (Alpha -Classic, Iran) اندازه‌گیری شد. همچنین

نمونه‌برداری

در طول دوره آزمایش خوراک مصرفی به‌صورت روزانه و تغییرات وزنی گوساله‌ها هر دو هفته یکبار اندازه‌گیری شد. وزن‌کشی در سنین ۲۱، ۳۵، ۴۹، ۶۳ و ۷۷ روزگی انجام شد. در ۴۳، ۷ و ۷۷ روزگی ۴ تا ۵ ساعت پس از خوراک‌دهی نوبت صبح از طریق سیاهرگ وداج از تمامی گوساله‌ها خون‌گیری به‌عمل آمد. خون گرفته شده در دو لوله جداگانه یکی حاوی هپارین برای به‌دست آوردن پلاسما و دیگری بدون هپارین برای به‌دست آوردن سرم ریخته شد. نمونه‌های خون به‌مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ شده سپس پلاسما یا سرم آنها جدا گردید. نمونه‌های پلاسما و سرم تا زمان اندازه‌گیری فراسنجه‌ها، در دمای منفی ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نمونه شیر گله گاوداری هر هفته جهت آنالیز به آزمایشگاه کارخانه شیر پگاه شهر همدان ارسال می‌شدند.

تجزیه شیمیایی

ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام و خاکستر جیره بر اساس روش AOAC (2000) (AOAC) و الیاف نامحلول در شوینده

$Y_{(ijk)}$ = مشاهدات مربوط به تیمار μ و زمان اندازه‌گیری j در k ؛ μ = اثر میانگین کل، $A_{(i)}$ = اثر تیمار i ؛ $B_{(j)}$ = اثر زمان j ؛ $AB_{(ij)}$ = اثر برهمکنش تیمار i و زمان j ؛ $Ea_{(i,k)}$ = اشتباه اصلی و $Eb_{(ijk)}$ = اشتباه فرعی هستند.

برای غلظت روی، آهن، مس، کلسیم، فسفر و سوپراکسید دیسموتاز سرم خون، از مدل آماری زیر استفاده شد ضمن اینکه روز صفر به‌عنوان کوواریت در نظر گرفته شد، اما با توجه به عدم معنی‌داری در مدل استفاده نشد.

$$Y_{(ij)} = \mu + T_{(i)} + \beta(X_{ij}) + e_{(ij)}$$

$Y_{(ij)}$ = هر یک از مشاهدات؛ μ = اثر میانگین؛ $T_{(i)}$ = اثر تیمار i ؛ $\beta(X_{ij})$ = ضریب ثابت $e_{(ij)}$ = اثر خطای آزمایشی هستند.

نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده (جدول ۲) نشان دادند که تفاوت آماری معنی‌داری در بین تیمارها برای خوراک مصرفی و افزایش وزن روزانه در سنین ۲۱، ۳۵، ۴۹ و ۶۳ روزگی برای گوساله‌ها وجود نداشت (به‌ترتیب $P=0/006$ ، $P=0/009$). اما در سن ۷۷ روزگی، افزایش وزن روزانه و ماده خشک مصرفی گوساله‌های که مکمل روی دریافت کرده بودند، نسبت به گروه شاهد بالاتر بود ($P<0/05$)، هرچند تفاوت آماری معنی‌داری در بین گروه‌های دریافت کننده مکمل مشاهده نشد ($P>0/05$). علاوه بر این، افزودن روی به خوراک آغازین از منابع مختلف تأثیر معنی‌داری بر وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک گوساله‌ها در طی دوره شیرخوارگی نداشت ($P>0/05$).

غلظت سوپراکسید دیسموتاز سرم طبق دستورالعمل کیت شرکت نوند (با شماره ۱۵۰۳۲ - NS) و به‌کمک دستگاه الایزا ریدر (Bio-Tek ELX 808) اندازه‌گیری شد.

آنالیز آماری

نرمال بودن داده‌های حاصل با روش Shapiro-Wilk و proc univariate بررسی شده و داده‌ها پس از تبدیلات لازم برای آنالیز آماری آماده شدند. داده‌های زمان‌های مختلف با proc GLM توسط نرم‌افزار آماری SAS 9.4 آنالیز شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی کرامر با سطح خطای احتمالی ۰/۰۵ انجام شد.

از مدل آماری زیر برای آنالیز داده‌های آنزیم‌ها (آنزیم‌های آسپاراتاز آمینوترانسفراز، آلانین آمینوترانسفراز، آلکالین فسفاتاز و کراتین فسفوکیناز)، فراسنجه‌های چربی (تری‌گلیسرید، کلسترول، لیپوپروتئین با چگالی بالا، لیپوپروتئین با چگالی پایین و لیپوپروتئین با چگالی بسیار پایین) و عملکرد استفاده شد.

$$Y_{(ij)} = \mu + T_{(i)} + e_{(ij)}$$

$Y_{(ij)}$ = هر یک از مشاهدات؛ μ = اثر میانگین؛ $T_{(i)}$ = اثر تیمار i ؛ $e_{(ij)}$ = اثر خطای آزمایشی هستند.

همچنین برای میانگین افزایش وزن روزانه، ماده خشک مصرفی و ضریب تبدیل از مدل آماری زیر به‌صورت تکرار در زمان استفاده شده است.

$$Y_{(ijk)} = \mu + A_{(i)} + B_{(j)} + AB_{(ij)} + Ea_{(i,k)} + Eb_{(ijk)}$$

جدول ۲- اثر منابع مختلف عنصر روی بر عملکرد گوساله‌ها^۱

Table 2. Effect of different c sources of zinc on the performance of calves

P-value ^۲		Treatments ^۳ تیمارها				Item آیتم	
D	T×D	T	*SEM	ZnSulf	ZnOHCl	OrganZn	Cont
وزن بدن (کیلوگرم) Body weight (kg)							
		0.9641	1.120	40.96	41.09	40.82	41.59
		0.7752	1.223	46.65	46.42	45.10	46.66
		0.9186	1.811	55.50	54.82	53.77	54.30
		0.9916	2.475	67.67	67.65	66.97	66.80
		0.9011	2.342	79.67	78.37	78.87	77.22
		0.1368	2.290	94.85	92.70	93.17	87.35
افزایش وزن روزانه (گرم در روز) Daily gain (g/d)							
		0.1955	21.990	270.95	253.99	203.98	241.31
		0.9058	88.919	632.14	600.00	619.64	545.53
		0.9580	98.066	869.64	916.07	942.85	892.86
		0.4236	58.519	857.14	766.07	850.00	744.64
		0.0059	71.458	1082.14 ^a	1023.21 ^a	1021.42 ^a	723.21 ^b
>0.0001	0.8703	0.2396	42.623	783.18	682.21	732.89	665.69
ماده خشک مصرفی (گرم در روز) Dry matter intake (g/d)							
		0.1232	11.505	521.08	511.70	484.38	517.76
		0.2973	42.660	772.83	751.46	663.18	709.69
		0.5530	72.390	1200.40	1064.58	1079.81	1127.55
		0.3216	85.287	1696.19	1569.74	1508.06	1695.75
		0.0097	87.083	2066.73 ^a	2029.68 ^a	2066.73 ^a	1676.17 ^b
>0.0001	0.1431	0.2226	42.292	1287.7	1196.8	1166.2	1217.4
ضریب تبدیل خوراک Feed conversion ratio							
		0.2514	0.174	2.03	2.08	2.48	2.28
		0.9711	0.148	1.35	1.35	1.30	1.39
		0.4798	0.106	1.43	1.20	1.28	1.27
		0.1273	0.136	2.05	2.12	1.81	2.28
		0.1212	0.126	1.97	2.06	2.04	2.38
>0.0001	0.0597	0.2278	0.052	1.72	1.87	1.82	1.86

*SEM: Standard error of mean.

1. Means with different lowercase letters in rows are not significantly different ($P>0.05$).

2. Cont: control, OrganZn: organic zinc, ZnOHCl: zinc hydroxychloride, ZnSulf: zinc sulfate

3. T: treatment; D: day; T×D: Treatment × Day

*SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.
۱. حروف مشابه در هر ردیف از هر بخش نشان دهنده تفاوت غیر معنی‌دار می‌باشد ($P>0/05$).

۲. Cont: کنترل، OrganZn: روی آلی، ZnOHCl: هیدروکسی کلرید روی، ZnSulf: سولفات روی

۳. T: تیمار، D: روز، T×D: تیمار در روز

وضعیت روی است (Alimohamady et al., 2019). محدوده طبیعی غلظت روی در خون گاو و گوساله ۰/۷ تا ۱/۳ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (NRC, 2001). غلظت روی سرم در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که سطح روی در خون کلیه گوساله‌ها در محدوده نرمال بوده است. هرچند این غلظت در گروه شاهد نزدیک به حداقل مقدار بود اما نشان دهنده کمبود روی است. علاوه بر این، سطح روی سرم بالاتر در گروه‌های دریافت کننده مکمل در مقایسه با حیوانات شاهد نشان می‌دهد که افزودن ۲۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی از منابع مختلف به جیره پایه حاوی ۵۳/۲۹ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی در گوساله‌های شیرخوار ممکن است غلظت روی سرم را افزایش دهد. همسو با نتایج حاضر، پژوهش‌های قبلی نشان داد که مکمل‌سازی جیره با روی غلظت این عنصر را در پلاسمای خون بره‌ها (Aliarabi et al., 2015; Mallaki et al., 2015) و گوساله‌های شیر خوار (Abdollahi et al., 2020; Zaboli & Elyasi, 2021) افزایش می‌دهد. در مقابل، گوساله‌های تغذیه شده با ۸۰ یا ۱۴۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی به شکل سولفات روی در جیره پایه حاوی ۲۹/۷ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی غلظت روی سرم خون در روز ۶۰ و ۹۰ آزمایش تحت تأثیر مکمل قرار نگرفت (Ramulu et al., 2015). هیل و ماترون (Hill & Matrone, 1970) بیان کردند که هموستاز برخی از عناصر معدنی کم مصرف مانند مس که خواص فیزیکی و شیمیایی مشابه روی دارند ممکن است توسط این عنصر مختل شود. در پژوهش حاضر هیچ اثری از سولفات روی، روی آلی یا هیدروکسی کلرید روی بر غلظت مس سرم مشاهده نشد (جدول ۳: $P > 0.05$). با این حال، گزارش شده است که سطح مس سرم در گوساله‌های نر دورگه (Attia et al., 1987) به دلیل مکمل‌سازی جیره با سطح ۲۵۰ یا ۱۰۰۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی و یا در گاوهای یکساله (Rojas et al., 1995) دریافت کننده منابع مختلف روی آلی یا معدنی (۳۶۰ میلی‌گرم در روز) کاهش یافت. توضیح احتمالی برای نتایج متناقض ممکن است به دلیل استفاده از سطوح بالاتر روی توسط این پژوهشگران باشد. در مقابل، نتایج ما توسط پژوهش‌های قبلی (Zaboli and Elyasi, 2021) پشتیبانی می‌شود که در آن هیچ اثری بر غلظت مس سرم در گوساله‌های شیرخوار مکمل شده با ۳۰ یا ۶۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی از طریق منابع مختلف مشاهده نشد. به طور مشابه، هیچ اثر معنی‌داری بر غلظت مس سرم برای بزها (Zaboli et al., 2013)، گوساله‌ها (Mandal et al., 2007) و بره‌های (Fadayifar et al., 2012) مکمل شده با روی به صورت آلی یا غیر آلی وجود نداشت. هر چند روی و مس باهم در تضاد هستند و سطح بالای روی جیره افزایش ساخت متالوتیونین در سلول‌های روده‌ای را تحریک می‌کند و این پروتئین سبب کاهش جذب مس می‌شود، (NRC, 2001)، اما تحت شرایط مطالعه حاضر، افزودن منابع مختلف روی در جیره بر جذب مس سرم تداخلی نداشت.

همسو با نتایج حاضر نتایج افزودن ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی به شکل سولفات روی، علی‌رغم اینکه تأثیری بر ضریب تبدیل خوراک نداشت منجر به افزایش معنی‌داری در افزایش وزن روزانه گوساله‌های شیرخوار هلاشتاین شد؛ همچنین خوراک مصرفی گوساله‌ها در سطح ۶۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی افزایش یافت (Zaboli & Elyasi, 2021). به طور مشابه افزودن ۸۰ میلی‌گرم روی در روز به شکل روی-متیونین به جیره گوساله‌های شیرخوار اگرچه تفاوت معنی‌داری در وزن بدن و کل خوراک مصرفی و ضریب تبدیل ایجاد نکرد اما سبب بهبود افزایش وزن روزانه گوساله‌ها نسبت به شاهد شد (Chang et al., 2020). از طرفی پژوهشی گزارش کردند که افزودن ۵۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی به صورت اکسید روی به جیره گوساله‌ها از سن ۷ تا ۱۰۰ روزگی به طور معنی‌داری سبب افزایش خوراک مصرفی و افزایش وزن روزانه شد (Abdollahi et al., 2020). در سایر گونه‌ها از جمله جوجه‌های گوشتی (Zhang et al., 2012) و بره‌های پرواری (Alimohamady et al., 2019) که جیره‌های حاوی روی را دریافت کرده بوند اشتها و خوراک مصرفی نسبت به گروه شاهد بیشتر بود. از سوی دیگر، مصرف خوراک و افزایش وزن بدن بزگاله‌ها بعد از تغذیه با نانواکسید روی بدون تغییر باقی ماند (Zaboli et al., 2013). تفاوت بین پژوهش‌های مختلف را می‌توان به عوامل متعددی از جمله سطح روی در جیره پایه، ویژگی‌های شیمیایی منابع روی مورد استفاده، گونه‌های جانوری، مدت زمان آزمایش، مرحله تولید و عوامل موثر بر حالیت و پایداری روی در دستگاه گوارش مرتبط دانست (Alimohamady et al., 2019).

اثر مثبت افزودن منابع مختلف روی در جیره بر ماده خشک مصرفی گوساله‌ها در ۱۴ روز آخر دوره می‌تواند به دلیل نقش روی به عنوان یک محرک اشتها از راه پپتیدهای اشتهاور موجود در عصب واگ آوران باشد (Suttle, 2010). علاوه بر این کمبود روی جیره، بیان ژن کوله سیستوکینین و لپتین به عنوان سیگنال سیری را افزایش می‌دهد (Suttle, 2010). بنابراین افزودن ۲۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی سبب افزایش خوراک مصرفی طی ۱۴ روز آخر شده است. از طرفی کمبود روی در بدن تولید و ترشح هورمون‌های موثر در رشد و افزایش وزن بدن مانند فاکتور رشد و هورمون رشد و فاکتور رشد شبه انسولینی نوع-۱ (IGF-I) را کاهش می‌دهد (Mallaki et al., 2015). افزایش وزن بیشتر بدن در ۱۴ روز آخر پژوهش حاضر علاوه بر نقش روی در هورمون‌های دخیل در رشد بدن می‌تواند به علت اثرات مثبت آن بر اشتها و قابلیت هضم خوراک مصرفی باشد (Wu, 2017).

استفاده از مکمل روی در دوره شیرخوارگی افزایش سطح این عناصر در سرم خون گوساله‌ها را به همراه داشت (جدول ۳: $P = 0.057$), هرچند تفاوت آماری معنی‌داری در بین تیمارهای دریافت کننده مکمل مشاهده نشد ($P > 0.05$). غلظت روی در پلازما یا سرم خون، پرکاربردترین شاخص

اثر منابع مختلف روی بر عملکرد و برخی از فراسنجه‌های خونی در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین ۱۰۲

جدول ۳- اثر منابع مختلف عنصر روی بر غلظت مواد معدنی خون گوساله‌ها در سن ۷۷ روزگی^۱

P-value ^۲		SEM*	Treatments ^۳ تیمارها				Parameters فراسنجه‌ها
Cov	T		ZnSulf	ZnOHCl	OrganZn	Cont	
0.2514	0.0057	0.405	1.02 ^a	1.00 ^a	1.01 ^a	0.85 ^b	روی (میلی‌گرم بر لیتر) Zn (mg/l)
0.1075	0.9543	0.034	0.75	0.76	0.76	0.74	مس (میلی‌گرم بر لیتر) Cu (mg/l)
0.9548	0.9845	0.163	1.51	1.50	1.56	1.47	آهن (میلی‌گرم بر لیتر) Fe (mg/l)
0.9765	0.9998	0.495	10.23	10.19	10.22	10.17	کلسیم (میلی‌گرم بر دسی لیتر) Ca (mg/dl)
0.3728	0.8497	0.199	7.33	7.38	7.31	7.14	فسفر (میلی‌گرم بر دسی لیتر) P (mg/dl)

SEM: Standard error of mean.

1. Means with different lowercase letters in rows are not significantly different ($P>0.05$).

2. Cont: control, OrganZn: organic zinc, ZnOHCl: zinc hydroxychloride, ZnSulf: zinc sulfate.

3. T: treatment; Cov: Covariate

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

۱. حروف مشابه در هر ردیف از هر بخش نشان دهنده تفاوت غیر معنی‌دار می‌باشد ($P<0.05$).

۲. Cont: کنترل، OrganZn: روی آلی، ZnOHCl: هیدروکسی کلرید روی، ZnSulf: سولفات روی.

۳. تیمار، Cov: کواریت.

۱۹/۷۲ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم در مقابل ۵۳/۲۹ میلی‌گرم روی در هر کیلو گرم بره در مقابل گوساله). غلظت کلسیم و فسفر سرم خون گوساله‌ها تحت تأثیر مکمل‌ها قرار نگرفت (جدول ۳؛ $P>0.05$). محدوده نرمال سطح کلسیم و فسفر خون گوساله‌های در حال رشد به‌ترتیب ۱۰-۹ و ۶-۸ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر است (NRC, 2001) که موید وجود سطح نرمال غلظت‌های کلسیم و فسفر گوساله‌ها در تمام گروه‌ها است. به‌طور مشابه، افزودن ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی به شکل سولفات روی تأثیر بر غلظت کلسیم و فسفر سرم خون گوساله‌های شیرخوار نداشت (Azizzadeh et al., 2005). همچنین، در پژوهش‌های دیگر نیز غلظت فسفر و کلسیم سرم گوساله‌های شیرخوار تحت تأثیر افزودن روی به جیره قرار نگرفت (Wei et al., 2019; Zaboli and Elyasi, 2021).

عدم تفاوت معنی‌داری برای غلظت آهن سرم (جدول ۳؛ $P>0.05$) در بین همه گروه‌های آزمایشی مشابه نتایج وی و همکاران (Wei et al., 2019) بود که سطوح مختلف اکسید روی (صفر، ۲۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم روی در روز) را به جیره گوساله‌های شیرخوار اضافه کرده بودند (Wei et al., 2019). به‌طور مشابه، تغییر روی در سطح آهن خون در رابطه با سطح روی جیره به‌ترتیب در بره‌ها و گوساله‌ها مشاهده نشد (Aliarabi et al., 2015; Mandal et al., 2007). در مقابل، افزودن ۳۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی به‌شکل روی-متیونین به جیره پایه بره‌های پرواری حاوی ۱۹/۷۲ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی به‌طور معنی‌داری سبب کاهش غلظت آهن پلاسما شد (Alimohamady et al., 2019). تفاوت در پاسخ روی ممکن است به‌دلیل سطح پایین روی در جیره پایه یا نوع دام مورد آزمایش آن‌ها در مقایسه با پژوهش حاضر باشد (به‌ترتیب

جدول ۴- اثر منابع مختلف روی بر غلظت آنزیم‌های سرم گوساله‌ها^۱

P-value ^۲		SEM*	Treatments ^۳ تیمارها				Parameters فراسنجه‌ها
Cov	T		ZnSulf	ZnOHCl	OrganZn	Cont	
							آلکالین فسفاتاز (واحد بر دسی لیتر) Alkaline phosphatase (u/dL)
	0.4081	3.201	70.47	63.76	68.62	70.61	۷ روزگی
	0.4812	10.853	106.52	111.43	99.04	88.55	۴۲ روزگی
	0.0004	7.265	143.28 ^a	133.11 ^a	149.31 ^a	103.05 ^b	۷۷ روزگی
							آلانین آمینوترانسفراز (واحد بر دسی لیتر) Alanine Aminotransferase (u/dL)
	0.8014	0.643	9.16	9.11	9.46	9.91	۷ روزگی
	0.5524	0.662	8.25	8.16	8.87	7.50	۴۲ روزگی
	0.5697	0.913	11.14	11.96	11.25	10.13	۷۷ روزگی
							آسپارتات آمینوترانسفراز (واحد بر دسی لیتر) Aspartate Aminotransferase (u/dL)
	0.9846	2.445	37.35	36.70	36.30	36.10	۷ روزگی
	0.9603	2.708	42.80	44.61	44.50	44.35	۴۲ روزگی
	0.6764	3.008	58.35	60.45	57.48	55.25	۷۷ روزگی
							کراتین فسفوکیناز (واحد بر لیتر) Creatine Phosphokinase (u/L)
	0.9875	4.346	77.35	76.45	75.64	75.30	۷ روزگی
	0.4295	4.834	106.20	102.90	105.85	113.90	۴۲ روزگی
	0.4456	7.854	156.70	158.80	158.25	172.80	۷۷ روزگی
							سوپراکسیددیسموتاز (واحد بر دسی لیتر) Superoxide dismutase (u/dL)
	0.1741	0.0860	231.18	231.44	231.43	220.00	۷۷ روزگی

*SEM: Standard error of mean.

1. Means with different lowercase letters in rows are not significantly different ($P>0.05$).

2. Cont: control, OrganZn: organic zinc, ZnOHCl: zinc hydroxychloride, ZnSulf: zinc sulfate.

3. T: treatment; Cov: Covariate.

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

۱. حروف مشابه در هر ردیف از هر بخش نشان دهنده تفاوت غیر معنی‌دار می‌باشد ($P<0.05$).

۲. Cont: کنترل، OrganZn: روی آلی، ZnOHCl: هیدروکسی کلرید روی، ZnSulf: سولفات روی.

۳. تیمار، Cov: کواریت.

رادیکال‌های آزاد و محصولات حاصل از تجزیه آن‌ها همکاری می‌کنند. در پژوهش حاضر، صرف‌نظر از منبع، با استفاده از

آنزیم‌های اکسیداتیو، مانند سوپراکسید دیسموتاز وابسته به روی- مس و گلوکاتیون پراکسیداز برای از بین بردن

گوساله‌ها به‌صورت درجه دوم فعالیت آلکالین فسفاتاز افزایش می‌یابد و در ۸۰ میلی‌گرم روی در روز به اوج خود می‌رسد (Wei et al., 2019). به‌طور مشابه، افزایش معنی‌داری در فعالیت آلکالین فسفاتاز گاوهای نر تغذیه شده با جیره پایه (حاوی ۳۲/۵ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی) همراه با ۳۵ یا ۷۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی مشاهده شد (Kumar et al., 2006). همسو با نتایج ما، در پژوهشی تفاوت معنی‌داری در فعالیت آلکالین فسفاتاز بره‌ها در بین منابع مختلف روی مشاهده نشد (Aliarabi et al., 2015).

فعالیت‌های آسپارتات آمینوترانسفراز، آلانین آمینوترانسفراز و کراتین فسفوکیناز در پلاسما یا سرم خون به‌طور معمول برای ارزیابی آسیب کبدی و عضلانی اندازه‌گیری می‌شوند (Alimohamady et al., 2013). همسو با نتایج حاضر، تغییری در فعالیت آسپارتات آمینوترانسفراز و آلانین آمینوترانسفراز در بین گوساله‌های دورگه مکمل شده با منابع مختلف اما با سطح مشابه (۳۵ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی) نسبت به گروه شاهد دریافت‌کننده ۳۲/۵ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی مشاهده نشد (Mandal et al., 2007). هرچند، فعالیت بالاتر آسپارتات آمینوترانسفراز و آلانین آمینوترانسفراز را در گوساله‌های تغذیه شده با ۵۰ یا ۱۰۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی را گزارش شده است (Daghash and Mousa, 1999). افزودن ۳۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم ماده خشک مصرفی از منابع آلی و معدنی به جیره پایه حاوی ۱۹/۷۲ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی تأثیر بر فعالیت کراتین فسفوکیناز سرم خون بره‌ها نداشت (Alimohamady et al., 2019) که با نتایج ما همخوانی دارد.

مکمل روی فعالیت سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافت هرچند از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳؛ $P=0/08$). همسو با نتایج پژوهش حاضر، ماندال و همکاران (Mandal et al., 2007) فعالیت آنزیمی مشابهی برای سوپراکسید دیسموتاز خون گوساله‌های گروه کنترل دریافت‌کننده ۳۲/۵ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی با گوساله‌های دریافت‌کننده ۳۵ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی از سولفات روی یا پروپیونات روی مشاهده کردند (Mandal et al., 2007). در مقابل، فعالیت بالاتر سوپراکسید دیسموتاز گلبول‌های قرمز خون بره‌های دریافت‌کننده روی گزارش شده است (Alimohamady et al., 2012; Fadayifar et al., 2019). کمبود روی ممکن است منجر به افزایش تولید رادیکال‌های آزاد و کاهش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز موش‌های مبتلا به کمبود روی شود (Sidhu et al., 2004). این نشان می‌دهد که سطح ۵۳/۲۹ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی در جیره پایه برای فعالیت‌ها سوپراکسید دیسموتاز در گوساله‌ها کافی بوده است و افزودن ۲۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی از منابع مختلف تأثیری بر فعالیت‌ها سوپراکسید دیسموتاز نداشته است.

آلکالین فسفاتاز یک آنزیم وابسته به روی است که در جذب کلسیم و رشد و نمو حیوانات در حال رشد نقش دارد، همچنین به‌عنوان شاخصی از وضعیت روی شناخته شده است (Wang et al., 2021). فعالیت پایین‌تر آلکالین فسفاتاز گوساله‌های شاهد در پژوهش حاضر در سن ۷۷ روزگی مطابق با پژوهش چو و همکاران (Cho et al., 2007) بود که کاهش فعالیت این آنزیم را در حیوانات دارای کمبود روی گزارش کردند. همچنین افزودن سطوح ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم روی در روز به‌شکل اکسید روی به جیره پایه

جدول ۵- اثر منابع مختلف روی بر فراسنجه‌های چربی سرم گوساله‌ها^۱

Table 5. Effect of different sources of zinc on serum lipid parameters in calves						Parameters		فراسنجه‌ها
P-value ^۲	*SEM	Treatments تیمارها						
T		ZnSulf	ZnOHCl	OrganZn	Cont			
						تری‌گلیسرید (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)		
						Triglycerides (mg/dL)		
0.2079	0.722	19.16	18.46	20.66	19.37	7 day of age	۷ روزگی	
0.8627	2.816	24.37	26.80	26.28	23.95	42 day of age	۴۲ روزگی	
0.6515	2.111	32.03	30.67	28.73	32.05	77 day of age	۷۷ روزگی	
						کلسترول (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)		
						Cholesterol (mg/dL)		
0.9984	3.654	60.15	59.30	59.70	56.40	7 day of age	۷ روزگی	
0.9393	5.0228	78.85	79.60	82.75	87.95	42 day of age	۴۲ روزگی	
0.8880	3.354	87.60	89.67	90.57	91.10	77 day of age	۷۷ روزگی	
						لیپوپروتئین با چگالی بالا (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)		
						High-density lipoprotein (mg/dL)		
0.9510	1.827	29.02	28.27	29.83	28.38	7 day of age	۷ روزگی	
0.9106	2.472	39.68	41.00	39.80	41.85	42 day of age	۴۲ روزگی	
0.8474	2.828	48.65	48.35	50.90	47.45	77 day of age	۷۷ روزگی	
						لیپوپروتئین با چگالی پایین (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)		
						Low-density lipoprotein (mg/dL)		
0.9280	2.111	37.32	36.75	38.30	36.30	7 day of age	۷ روزگی	
0.9877	3.006	42.15	43.25	43.59	42.75	42 day of age	۴۲ روزگی	
0.9124	2.985	53.05	53.75	51.45	50.58	77 day of age	۷۷ روزگی	
						لیپوپروتئین با چگالی بسیار پایین (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)		
						Very low-density lipoprotein (mg/dL)		
0.2079	0.144	3.83	3.69	4.13	3.87	7 day of age	۷ روزگی	
0.8627	0.563	4.87	5.36	5.26	4.79	42 day of age	۴۲ روزگی	
0.6515	0.422	6.41	6.13	5.74	6.41	77 day of age	۷۷ روزگی	

*SEM: Standard error of mean.

1. Means with different lowercase letters in rows are not significantly different ($P>0.05$).

2. Cont: control, OrganZn: organic zinc, ZnOHCl: zinc hydroxychloride, ZnSulf: zinc sulfate.

3. T: treatment.

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

۱. حروف مشابه در هر ردیف از هر بخش نشان دهنده تفاوت غیر معنی‌دار می‌باشد ($P<0/05$).

۲. Cont: کنترل، OrganZn: روی آلی، ZnOHCl: هیدروکسی کلرید روی، ZnSulf: سولفات روی.

۳. T: تیمار.

روی بخشی جدایی‌ناپذیر از چندین آنزیم (متالوآنزیم) درگیر در هضم و جذب لیپیدها است (Al-Daraji and Amen, 2011). همان‌گونه که در جدول ۵ گزارش شده است اختلاف معنی‌داری در بین تیمارها برای تری‌گلیسرید، کلسترول، لیپوپروتئین با چگالی بالا و لیپوپروتئین با چگالی پایین و لیپوپروتئین با بسیار خیلی پایین در سرم خون گوساله‌های شیرخوار در طول آزمایش مشاهده نشد ($P>0.05$). هرچند پژوهش‌های چندانی در رابطه با اثر مکمل روی بر فراسنجه‌های لیپیدی سرم خون نشخوار کنندگان در دسترس نیست، اما پژوهش‌های متعددی در انسان و برخی حیوانات اثر مثبت مکمل‌سازی روی بر بهبود متابولیسم چربی‌ها از جمله کاهش تری‌گلیسرید، کلسترول و لیپوپروتئین با چگالی پایین و افزایش غلظت لیپوپروتئین با چگالی بالا را نشان دادند (Ranasinghe et al., 2015). همسو با نتایج ما، افزودن ۳۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی از منابع آلی و معدنی به جیره پایه (حاوی ۱۹/۷۹ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی) بره‌های نر درحال رشد تأثیر بر غلظت تری‌گلیسرید، کلسترول، لیپوپروتئین با چگالی بالا، لیپوپروتئین با چگالی پایین و لیپوپروتئین با چگالی بسیار پایین نداشت (Alimohamady and Aliarabi, 2019). به‌طور مشابه غلظت تری‌گلیسرید و کلسترول سرم بره‌های حاصل از میش‌ها دریافت کننده روی طی ۴۵ روز آخر آبستنی تغییری نکرد (Cheraghi Mashoof

et al., 2018). برخلاف نتایج حاضر، گزارش شده است که کمبود روی در جیره با کاهش غلظت تری‌گلیسرید، کلسترول، لیپوپروتئین با چگالی بالا و لیپوپروتئین با چگالی پایین خون همراه است، این موضوع می‌تواند به‌دلیل کاهش جذب لیپیدهای جیره علاوه بر کاهش دریافت چربی و کالری باشد (Wu et al., 2004). بر اساس این یافته‌ها می‌توان اظهار داشت که سطح روی موجود در جیره آغازین به اندازه‌ای کم نبوده است که بتواند تأثیری بر غلظت پارامترهای لیپیدی فوق در سرم خون گوساله‌ها داشته باشد. نتایج این پژوهش نشان داد هرچند که افزودن ۲۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی از منابع هیدروکسی کلرید روی، سولفات روی و روی آلی به جیره آغازین حاوی ۵۳/۲۹ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم سبب افزایش وزن روزانه و ماده خشک مصرفی در ۱۴ روز آخر دوره شد و غلظت عنصر روی و آنزیم‌های آلکالین فسفاتاز سرم خون در سن ۷۷ روزگی گوساله‌ها افزایش یافت اما نیازمند پژوهش‌های بیشتری است.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از دانشگاه بوعلی‌سینا جهت تأمین امکانات لازم برای انجام این تحقیق پژوهش تشکر و قدردانی را داریم.

References

- Abdollahi, M., Rezaei, J., & Fazaeli, H. (2020). Performance, rumen fermentation, blood minerals, leukocyte and antioxidant capacity of young Holstein calves receiving high-surface ZnO instead of common ZnO. *Archives of animal nutrition*, 74(3), 189-205. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2019.1690389>
- Adab, M., Mahjoubi, E., Yazdi, M. H., & Collier, R. J. (2020). Effect of supplemental dietary Zinc and its time of inclusion on pre-weaning phase of Holstein heifer calves: Growth performance and health status. *Livestock Science*, 231, 103891. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.103891>
- Al-Daraji, H. J., & Amen, M. (2011). Effect of dietary zinc on certain blood traits of broiler breeder chickens. *Int J Poult Sci*, 10(10), 807-813.
- Aliarabi, H., Fadayifar, A., Tabatabaei, M. M., Zamani, P., Bahari, A., Farahavar, A., & Dezfoulan, A. H. (2015). Effect of zinc source on hematological, metabolic parameters and mineral balance in lambs. *Biological trace element research*, 168, 82-90. <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0345-0>.
- Alimohamady, R., & Aliarabi, H. (2019). Effects of organic and inorganic sources of zinc on performance and some blood parameters of fattening lambs. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 11(2) (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijasr.v11i2.68412>
- Alimohamady, R., Aliarabi, H., Bahari, A., & Dezfoulan, A. H. (2013). Influence of different amounts and sources of selenium supplementation on performance, some blood parameters, and nutrient digestibility in lambs. *Biological trace element research*, 154, 45-54. <https://doi.org/10.1007/s12011-013-9698-4>
- Alimohamady, R., Aliarabi, H., Bruckmaier, R. M., & Christensen, R. G. (2019). Effect of different sources of supplemental zinc on performance, nutrient digestibility, and antioxidant enzyme activities in lambs. *Biological trace element research*, 189, 75-84. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1448-1>
- AOAC. (2000). *Association of Official Analytical Chemists* (I. W. H. e. O. m. o. a. o. A. International, Ed. 17 ed.). Maryland-Gaithersburg, USA: AOAC International.
- Arias, V., & Koutsos, E. (2006). Effects of copper source and level on intestinal physiology and growth of broiler chickens. *Poultry Science*, 85(6), 999-1007. <https://doi.org/10.1093/ps/85.6.999>.
- Attia, A., Awadalla, S., Esmail, E., & Hady, M. (1987). Role of some microelements in nutrition of water buffalo and its relation to production ii-effect of Zinc Supplementation. *Assiut Veterinary Medical Journal*, 18(35), 91-100.
- Azizzadeh, M., Mohri, M., & Seifi, H. A. (2005). Effect of oral zinc supplementation on hematology, serum biochemistry, performance, and health in neonatal dairy calves. *Comparative Clinical Pathology*, 14, 67-71. <https://doi.org/10.1007/s00580-005-0559-1>

- Chang, M., Wei, J., Hao, L., Ma, F., Li, H., Zhao, S., & Sun, P. (2020). Effects of different types of zinc supplement on the growth, incidence of diarrhea, immune function, and rectal microbiota of newborn dairy calves. *Journal of dairy science*, 103(7), 6100-6113. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17610>.
- Cheraghi Mashoof, L., Aliarabi, H., Farahavar, A., Zamani, P., & Alimohamady, R. (2018). The effect of adding zinc and copper to diet of late-pregnant ewes on blood and milk minerals profile, lambs growth performance and some blood parameters. *Iranian Journal of Animal Science*, 49(2), 267-284. <https://doi.org/10.22059/ijas.2018.250904.653610>. (In Persian).
- Council, N. R. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle: 2001*. National Academies Press.
- Daghash, H., & Mousa, S. (1999). Zinc sulfate supplementation to ruminant rations and its effects on digestibility in lambs; growth, rectal temperature and some blood constituents in buffalo calves under heat stress. *Assiut Veterinary Medical Journal*, 40(80), 128-146. <https://doi.org/10.21608/avmj.1999.182331>
- Fadayifar, A., Aliarabi, H., Tabatabaei, M. M., Zamani, P., Bahari, A., Malecki, M., & Dezfoulian, A. H. (2012). Improvement in lamb performance on barley based diet supplemented with zinc. *Livestock science*, 144(3), 285-289. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011>.
- Feldmann, H. R., Williams, D. R., Champagne, J. D., Lehenbauer, T. W., & Aly, S. S. (2019). Effectiveness of zinc supplementation on diarrhea and average daily gain in pre-weaned dairy calves: A double-blind, block-randomized, placebo-controlled clinical trial. *PLoS One*, 14(7), e0219321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219321>.
- Hill, C. H., & Matrone, G. (1970). Chemical parameters in the study of in vivo and in vitro interactions of transition elements. *Fed Proc*,
- Kaneko, J. J., Harvey, J. W., & Bruss, M. L. (2008). *Clinical biochemistry of domestic animals*. Academic press.
- Kumar, N., Verma, R. P., Singh, L. P., Varshney, V. P., & Dass, R. S. (2006). Effect of different levels and sources of zinc supplementation on quantitative and qualitative semen attributes and serum testosterone level in crossbred cattle (*Bos indicus* × *Bos taurus*) bulls. *Reproduction Nutrition Development*, 46(6), 663-675. <https://doi.org/10.1051/rnd:2006041>
- Mallaki, M., Norouziyan, M. A., & Khadem, A. A. (2015). Effect of organic zinc supplementation on growth, nutrient utilization, and plasma zinc status in lambs. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 39(1), 75-80.
- Mandal, G., Dass, R., Isore, D., Garg, A., & Ram, G. (2007). Effect of zinc supplementation from two sources on growth, nutrient utilization and immune response in male crossbred cattle (*Bos indicus* × *Bos taurus*) bulls. *Animal Feed Science and Technology*, 138(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.09.014>
- Mohanta, R. K., & Garg, A. K. (2014). Organic trace minerals: immunity, health, production and reproduction in farm animals. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 31(3), 203-212.
- National Academies of Sciences, E., & Medicine. (2021). *Nutrient requirements of dairy cattle*.
- Ramulu, S. P., Nagalakshmi, D., & Kumar, M. K. (2015). Effect of zinc supplementation on haematology and serum biochemical constituents in Murrah buffalo calves. *Indian Journal of Animal Research*, 49(4), 482-486. <https://doi.org/10.5958/0976-0555.2015.00095.3>.
- Ranasinghe, P., Wathurapatha, W., Ishara, M., Jayawardana, R., Galappaththy, P., Katulanda, P., & Constantine, G. (2015). Effects of zinc supplementation on serum lipids: a systematic review and meta-analysis. *Nutrition & Metabolism*, 12(1), 1-16. <https://doi.org/10.1186/s12986-015-0023-4>
- Rojas, L., McDowell, L., Cousins, R., Martin, F., Wilkinson, N., Johnson, A. B., & Velasquez, J. (1995). Relative bioavailability of two organic and two inorganic zinc sources fed to sheep. *Journal of Animal Science*, 73(4), 1202-1207. <https://doi.org/10.2527/1995.7341202x>.
- Salama, A. A., Caja, G., Albanell, E., Such, X., Casals, R., & Plaixats, J. (2003). Effects of dietary supplements of zinc-methionine on milk production, udder health and zinc metabolism in dairy goats. *Journal of Dairy Research*, 70(1), 9-17. <https://doi.org/10.1017/S0022029902005708>
- Shaeffer, G., Lloyd, K., & Spears, J. (2017). Bioavailability of zinc hydroxychloride relative to zinc sulfate in growing cattle fed a corn-cottonseed hull-based diet. *Animal Feed Science and Technology*, 232, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.07.013>.
- Sidhu, P., Garg, M., & Dhawan, D. (2004). Protective effects of zinc on oxidative stress enzymes in liver of protein deficient rats. *Nutr Hosp*, 19(6), 341-347. <https://doi.org/10.1081/DCT-52551>
- Spears, J., Kegley, E., & Mullis, L. (2004). Bioavailability of copper from tribasic copper chloride and copper sulfate in growing cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 116(1-2), 1-13. <https://doi.org/10.2527/jas1989.673835x>.
- Spears, J. W. (2003). Trace mineral bioavailability in ruminants. *The Journal of nutrition*, 133(5), 1506S-1509S. <https://doi.org/10.2527/jas1989.673835x>
- Van Soest, P. v., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
- Wang, C., Xu, Y., Han, L., Liu, Q., Guo, G., Huo, W., Zhang, J., Chen, L., Zhang, Y., & Pei, C. (2021). Effects of zinc sulfate and coated zinc sulfate on lactation performance, nutrient digestion and rumen

- fermentation in Holstein dairy cows. *Livestock Science*, 251, 104673. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104673>
- Wang, K.-K., Cui, H.-W., Sun, J.-Y., Qian, L.-C., & Weng, X. (2012). Effects of zinc on growth performance and biochemical parameters of piglets. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 36(5), 519-526. <https://doi.org/10.3906/vet-1010-553>.
- Wei, J., Ma, F., Hao, L., Shan, Q., & Sun, P. (2019). Effect of differing amounts of zinc oxide supplementation on the antioxidant status and zinc metabolism in newborn dairy calves. *Livestock Science*, 230, 103819. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.103819>
- Westerma, L., & Constabel, F. (1982). Plant tissue culture methods 2deev. *Sasatoon: National Research Council of Canada, Prairie Regional Laboratory*. <https://doi.org/10.1201/9781315120065>
- Wu, G. (2017). *Principles of animal nutrition*. crc Press.
- Wu, Y., Sun, Z., Che, S., & Chang, H. (2004). Effects of zinc and selenium on the disorders of blood glucose and lipid metabolism and its molecular mechanism in diabetic rats. *Wei Sheng yan jiu= Journal of Hygiene Research*, 33(1), 70-73.
- Zaboli, K., Aliarabi, H., Bahari, A. A., & Abbas, A. K. R. (2013). Role of dietary nano-zinc oxide on growth performance and blood levels of mineral: A study on in Iranian Angora (Markhoz) goat kids.
- Zaboli, K., & Elyasi, M. J. (2021). Effects of different amounts of zinc on performance and some blood and ruminal parameters in Holstein suckling calves. *Journal of Ruminant Research*, 9(3), 93-106. <https://doi.org/10.22069/ejrr.2021.19197.1794>
- Zhang, B., Shao, Y., Liu, D., Yin, P., Guo, Y., & Yuan, J. (2012). Zinc prevents Salmonella enterica serovar Typhimurium-induced loss of intestinal mucosal barrier function in broiler chickens. *Avian Pathology*, 41(4), 361-367. <https://doi.org/10.1080/03079457.2012.692155>.