Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Ruminant Research

Print ISSN: 2345 - 4261
Online ISSN: 2345 - 4253

Effects of supplementation of some trace minerals on growth performance, biochemical, enzymatic, antioxidant, hormonal and hematological parameters in Holstein suckling calves

Mohammad Hossein Moazeni Zadeh[1], Armin Towhidi[2*], Mehdi Zhandi[2], Kamran Rezayazdi[2]

[1]PhD student, Department of Animal Science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
[2]Professor, Department of Animal Science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran,
Email: atowhidi@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 09/18/2022
Revised: 12/06/2022
Accepted: 12/07/2022

Keywords:
Antioxidant status
Suckling calves
Trace minerals

ABSTRACT

Background and Objectives: Suckling calves are exposed to different stressors such as birth, pathological factors, and environmental factor stress which cause an increase in reactive oxygen species (ROS) production and oxidative stress. Trace minerals are a part of some antioxidant enzymes, which are necessary for health maintenance. Trace mineral amount of colostrum and milk is not optimal, and dietary inclusion of trace mineral supplements is necessary for suckling calves. Therefore, the aim of this study was to evaluate the inclusion of a mixed supplement of trace minerals, including copper, iron, zinc, and manganese, on growth performance, biochemical, enzymatic, antioxidant, hormonal, and hematological parameters.

Materials and Methods: A total of 20 days-old male and female suckling Holstein calves were randomly divided into two equal groups (ten calves per group) based on initial body weight (40±5 Kg), and until weaning (day 63), they were kept in individual pens. The control group of calves was fed milk and a starter diet including whey protein as a trace mineral career, and the treatment group was fed milk including 15 part per million (ppm) iron sulfate (FeSo4), 6 ppm zinc sulfate (ZnSo4), 6 ppm manganese sulfate (MnSo4), and 1.5 ppm copper sulfate (CuSo4) supplements, and basal starter diet including 100 ppm FeSo4, 40 ppm ZnSo4, 40 ppm MnSo4, and 10 ppm Cuso4 supplement until weaning on day 63. During the entire experimental period, calves had access to a starter diet and water *ad libitum*. Feed intake was calculated daily, and calves were weighed weekly to calculate the feed conversion ratio (FCR) and average daily gain. Blood samples were collected on days 0, 21, 42, and 63 to determine the plasma trace mineral levels and biochemical, enzymatic, hormonal, antioxidant, and hematological parameters.

Results: The results indicated that growth performance, catalase and superoxide dismutase activity, total antioxidant capacity, and thyroxine (T4) concentration were not affected by trace mineral supplements. Although plasma zinc concentration and high-density

lipoprotein concentration were recorded higher in animals that received supplemented trace minerals (P<0/05), low-density lipoproteins concentration was lower in the calves fed with trace mineral supplement (P<0/05). In addition to the parameters listed above, alkaline phosphatase concentration, red blood cells count, hemoglobin and hematocrit, and triiodothyronine (T3) concentrations were significantly increased in the calves that received trace minerals supplement (P<0.05).

Conclusion: In general, supplemental trace minerals could not improve the growth performance and enzymatic antioxidant activity of suckling Holstein's calves; however, some of the biochemical, hormonal, and enzymatic parameters related to the inflammation, ossification, and cellular basal metabolism were improved in suckling calves.

Cite this article: moazeni zadeh, M.H., Towhidi, A., Zhandi, M., Rezayazdi, K. (2023). Effects of supplementation of some trace minerals on growth performance, biochemical, enzymatic, antioxidant, hormonal and hematological parameters in Holstein suckling calves. *Journal of Ruminant Research*, 11 (1), 75-92.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejrr.2022.20590.1863
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

پژوهش در نشخوارکنندگان
شاپا چاپی: ۴۲۶۱-۲۳۴۵
شاپا الکترونیکی: ۴۲۵۳-۲۳۴۵

تأثیر مکمل‌سازی برخی عناصر کم‌نیاز بر عملکرد رشد، فراسنجه‌های بیوشیمیایی، آنزیمی، آنتی‌اکسیدانی، هورمونی و خون‌شناسی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

محمدحسین موذنی‌زاده[۱]، آرمین توحیدی[۲*]، کامران رضایزدی[۲]، مهدی ژندی[۲]

[۱] دانشجوی دکتری گروه علوم دامی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
[۲] استاد گروه علوم دامی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، رایانامه: atowhidi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۲۷
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۹/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۱۶

واژه‌های کلیدی:
عناصر کم‌نیاز
گوساله شیرخوار
وضعیت آنتی‌اکسیدانی

چکیده

سابقه و هدف: گوساله‌های شیرخوار در معرض عوامل تنش‌زای مختلف نظیر فرآیند تولد، عوامل بیماری‌زا و تنش‌های محیطی هستند که باعث افزایش تولید رادیکال‌های فعال و تنش اکسیداتیو در گوساله‌ها می‌شود. مواد معدنی کمیاب بخشی از آنزیم‌های متعدد آنتی‌اکسیدانی بوده و برای حفظ بهینه سلامت ضروری هستند. مقدار مواد معدنی کمیاب آغوز و شیر بهینه نبوده و استفاده از مکمل این مواد معدنی در دوره شیرخوارگی ضروری است. بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی اثر افزودن هم‌زمان عناصر معدنی کمیاب آهن، روی، منگنز و مس بر عملکرد رشد، فراسنجه‌های بیوشیمیایی، آنزیمی، آنتی‌اکسیدانی، هورمونی و خون‌شناسی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین بود.

مواد و روش: تعداد ۲۰ رأس گوساله نر و ماده یک‌روزه شیرخوار نژاد هلشتاین به‌طور تصادفی بر اساس وزن اولیه بدن (۵±۴۰ کیلوگرم) به دو گروه مساوی (۱۰ رأس در هر گروه) تقسیم و در جایگاه‌های انفرادی تا ۶۳ روزگی و زمان شیرگیری نگهداری شدند. گوساله‌های گروه شاهد جیره آغازین و شیر به همراه پروتئین آب پنیر به عنوان حامل عناصر معدنی و نیز گوساله‌های گروه تیمار به ترتیب شیر به همراه ۱۵ قسمت در میلیون سولفات آهن، ۶ قسمت در میلیون سولفات روی، ۶ قسمت در میلیون سولفات منگنز، ۱/۵ قسمت در میلیون سولفات مس و جیره آغازین پایه به همراه ۱۰۰ قسمت در میلیون سولفات آهن، ۴۰ قسمت در میلیون سولفات روی، ۴۰ قسمت در میلیون سولفات منگنز و ۱۰ قسمت در میلیون سولفات مس تا زمان قطع شیر در ۶۳ روزگی دریافت کردند. گوساله‌ها در طول آزمایش دسترسی آزادانه به آب و جیره آغازین داشتند. مصرف خوراک به‌صورت روزانه و وزن‌کشی به‌صورت هفتگی جهت محاسبه ضریب تبدیل غذایی و متوسط افزایش وزن روزانه اندازه‌گیری شد. حیوانات جهت تعیین سطح مواد معدنی پلاسما و فراسنجه‌های بیوشیمیایی، آنزیمی، هورمونی، آنتی‌اکسیدانی و خون‌شناسی در روزهای ۰، ۲۱، ۴۲ و ۶۳ پس از تولد خون‌گیری شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد مکمل مواد معدنی اثر معنی‌داری بر عملکرد رشد و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و وضعیت اکسیدانی تام نداشت. غلظت عنصر روی پلاسما در

گروه دریافت‌کننده مکمل بالاتر بود (P<۰/۰۵). در گروه تیمار نسبت به گروه شاهد غلظت لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا افزایش و غلظت لیپوپروتئین‌های با چگالی پایین کاهش یافت (P<۰/۰۵). فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز، تعداد گلبول‌های قرمز، غلظت هموگلوبین و هماتوکریت در گروه دریافت‌کننده عناصر معدنی کمیاب، افزایش یافت (P<۰/۰۵). غلظت هورمون تری یدوتایرونین در پلاسمای گوساله‌های گروه تیمار افزایش یافت (P<۰/۰۵).

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی افزودن عناصر معدنی کمیاب به شیر و جیره آغازین باعث بهبود عملکرد رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گوساله‌های شیرخوار نشد، درحالی‌که برخی فراسنجه‌های بیوشیمیایی، هورمونی و آنزیمی مرتبط با التهاب، استخوان‌سازی و سوخت‌وساز پایه سلول‌ها در گوساله‌های شیرخوار بهبود یافت.

استناد: موذنی‌زاده، م.ح.، توحیدی، آ.، رضایزدی، ک.، ژندی، م. (۱۴۰۲). تأثیر مکمل سازی برخی عناصر کم‌نیاز بر عملکرد رشد، فراسنجه‌های بیوشیمیایی، آنزیمی، آنتی‌اکسیدانی، هورمونی و خون‌شناسی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین. *پژوهش در نشخوارکنندگان*، ۱۱(۱)، ۹۲-۷۵

DOI: 10.22069/ejrr.2022.20590.1863

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

انتقال جنین از محیط داخل رحمی به محیط خارج رحم، انتقال فیزیولوژیک از مرحله جنینی به مرحله نوزادی و مواجهه با تنش‌های محیطی نظیر تنش‌های دمایی و عوامل بیماری‌زا باعث افزایش تولید رادیکال‌های آزاد می‌شود. غلظت رادیکال‌های آزاد در خون گوساله‌های تازه متولدشده بیشتر از گاوهای بالغ است (Gaál و همکاران، ۲۰۰۶) که نشان می‌دهد، تولد باعث ایجاد تنش اکسیداتیو در گوساله‌ها می‌شود. مواد معدنی کمیاب بخشی از آنزیم‌های متعدد هستند و هماهنگ‌کننده فرآیندهای زیستی بوده و در نتیجه برای حفظ بهینه سلامت و تولید ضروری‌اند. عناصر کمیاب مس، روی، منگنز و آهن برای رشد طبیعی بافت، هموستاز، عملکرد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تنظیم سلولی موردنیاز هستند و باید در غلظت‌های محدودی در بدن حفظ شوند تا رشد، سلامت و عملکرد مطلوب در حیوانات اهلی تضمین شود (Underwood و Suttle، ۱۹۹۹)

آهن جزء ضروری هموگلوبین، میوگلوبین و چندین آنزیم مانند کاتالاز، پراکسیداز و سیتوکروم اکسیداز است (Harvey، ۲۰۰۰). در نشخوارکنندگان نوزاد تبدیل هموگلوبین جنینی به بالغ و نرخ زیاد ساخت گلبول قرمز، به مکمل آهن نیاز دارد (Radwinska و Zarczynska، ۲۰۱۴). علی‌رغم اهمیت آهن برای رشد طبیعی گوساله‌ها و مقاومت به عفونت‌ها، شیر منبع فقیری از آهن بوده و ممکن است احتیاجات گوساله‌های تازه متولدشده را تأمین نکند (Harvey، ۲۰۰۰). Rajabian و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند بین کمبود آهن و اختلال در سامانه دفاعی آنتی‌اکسیدانی در گوساله‌های تازه متولدشده ارتباط وجود دارد. کمبود آهن در گوساله‌ها با علائم بالینی از جمله کاهش رشد، از دست دادن اشتها و افزایش نرخ عفونت همراه است. مکمل آهن در گوساله‌های شیرخوار باعث افزایش حجم سلول‌های خونی و مقدار هموگلوبین خون گوساله‌های شیرخوار شد (Mohri و همکاران، ۲۰۰۴؛ Kume و Tanabe، ۱۹۹۶).

در همه گونه‌ها، کمبود عنصر روی با کاهش اشتها، عقب‌ماندگی رشد و مشکلات اسکلتی همراه است (Suttle، ۲۰۱۰) در سامانه آنتی‌اکسیدانی عنصر روی جزئی از آنزیم مس-روی- سوپراکسید دیسموتاز است که مسئول تبدیل رادیکال‌های سوپراکسید به هیدروژن پروکسید در سیتوزول است (Halliwell و Gutteridge، ۲۰۱۵). در تحقیق Wei و همکاران (۲۰۱۹) مشخص شد که مکمل روی باعث افزایش غلظت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، آلکالین فسفاتاز و متالوتیونین و کاهش سطح مالون‌دی‌آلدئید سرم گوساله‌های شیرخوار شد.

مس عنصر کم‌مصرف ضروری برای حیوانات بوده و در سامانه‌های آنزیمی زیادی حضور دارد، از جمله سیتوکروم اکسیداز که در تولید آدنوزین تری فسفات نقش دارد و سوپراکسید دیسموتاز که در سامانه دفاعی و غیرفعال سازی رادیکال‌های فعال اکسیژن نقش دارد (Prohaska و Broderius، ۲۰۰۶). کمبود مس منجر به کاهش افزایش وزن روزانه در گوساله‌ها می‌شود (Suttle، ۲۰۱۰).

نقش عنصر منگنز در ساخت غضروف برای تشکیل صفحات رشد است که مستقیماً بر رشد استخوان‌های بلند تأثیر دارد. آنزیم منگنز- سوپراکسید دیسموتاز در ماتریکس میتوکندری یافت شده و رادیکال‌های سوپراکسید را به هیدروژن پروکسید تبدیل می‌کند. مطالعات متعددی اثر مواد معدنی کمیاب مانند روی، مس، منگنز و سلنیوم را بر ایمنی (Underwood و Suttle، ۱۹۹۹) و عملکرد سلامت و رشد (Spears و Kegley، ۲۰۰۲) در گوساله به‌ویژه در حیوانات در معرض تنش (Duff و Galyean،

۲۰۰۷) اثبات کرده است.مکمل سازی این عناصر بر ضریب تبدیل خوراک (Richson وKegley، ۲۰۱۱)، بهبود پاسخ ایمنی (Arthington و Havenga، ۲۰۱۲) و کاهش هزینه‌های درمان (Richson و Kegley، ۲۰۱۱) را در گوساله‌ها گزارش کردند. تزریق عناصر کمیاب مس، روی و منگنز در زمان شیرگیری باعث افزایش غلظت پلاسمایی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، غلظت پلاکت‌های خون و اجزای سامانه ایمنی گوساله‌ها شد (Vedovatto و همکاران، ۲۰۱۹). Teixeira و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند که تزریق مکمل مواد معدنی دارای عناصر روی، منگنز، مس و سلنیوم بعد از تولد در گوساله‌ها، باعث افزایش عملکرد نوتروفیل و کاهش بیماری شد. مقدار مواد معدنی آغوز و شیر به وضعیت تغذیه‌ای حیوانات شیرده (غلظت مواد معدنی موجود در جیره) بستگی داشته و در اغلب مواقع بهینه نیستند. مطالعات محدودی اثر افزودن هم‌زمان عناصر معدنی کمیاب بر رشد و فراسنجه‌های بیوشیمیایی گوساله‌های شیرخوار را بررسی کردند. لذا هدف از اجرای این طرح مطالعه اثر مکمل سازی هم‌زمان چهار عنصر معدنی کم‌نیاز با اثرات آنتی‌اکسیدانی (روی، مس، منگنز، آهن) به شیر و جیره آغازین و ارزیابی عملکرد رشد، وضعیت آنتی‌اکسیدانی و التهاب و برخی فراسنجه‌های خونی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین است.

مواد و روش‌ها

حیوانات و خوراک دادن: این آزمایش از بهمن‌ماه سال ۱۳۹۹ به مدت سه ماه در مزرعه گاو شیری تلیسه نمونه واحد حسن آباد واقع در حسن آباد فشافویه استان تهران انجام شد. تعداد ۲۰ رأس گوساله نر و ماده یک روزه نژاد هلشتاین با میانگین وزن تولد ۵±۴۰ کیلوگرم انتخاب شدند. گوساله‌ها بلافاصله بعد از تولد از مادرهایشان جداشده و در جایگاه‌های انفرادی با بستر پوشیده از کلش نگهداری شدند. هر کدام از گوساله‌ها طی اولین ساعات پس از تولد ۲ کیلوگرم و پس‌ازآن تا ۴۸ ساعت دومرتبه روزانه آغوز دریافت کردند. پس‌ازآن گوساله‌ها تا انتهای دوره و قطع شیر تا ۶۳ روزگی بر اساس ۱۰ درصد وزن بدن، روزانه شیر دریافت کردند. دسترسی آزاد به آب و جیره آغازین با کیفیت زیاد تا قطع شیر ادامه داشت (جدول ۱).

گروه‌های آزمایشی: گوساله‌ها در دو گروه (هر تیمار ۱۰ رأس گوساله) اختصاص یافت: ۱) گروه شاهد که شیر و جیره آغازین پایه به همراه پروتئین آب پنیر (دو درصد جیره آغازین و سه گرم در هر لیتر شیر) را به‌عنوان حامل عناصر معدنی دریافت کردند ۲) گروه تیمار دریافت‌کننده شیر به همراه ۱۵ قسمت در میلیون سولفات آهن، ۶ قسمت در میلیون سولفات روی، ۶ قسمت در میلیون سولفات منگنز، ۱/۵ قسمت در میلیون سولفات مس و جیره آغازین پایه به همراه ۱۰۰ قسمت در میلیون سولفات آهن، ۴۰ قسمت در میلیون سولفات روی، ۴۰ قسمت در میلیون سولفات منگنز و ۱۰ قسمت در میلیون سولفات مس.

عملکرد رشد: جهت محاسبه ضریب تبدیل خوراک و متوسط افزایش وزن روزانه، مصرف خوراک به‌صورت روزانه با توزین جیره باقی‌مانده از روز قبل اندازه‌گیری شد و حیوانات به‌صورت هفتگی وزن‌کشی شدند.

نمونه‌گیری از خون: نمونه‌های خون در روز ۰، ۲۱، ۴۲ و ۶۳ قبل از شیردهی نوبت صبح از سیاهرگ گردنی با لوله‌های تحت خلأ دارای هپارین جمع‌آوری شدند. برای جداسازی پلاسما، نمونه‌های خون در ۱۰۰۰g به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ و پلاسما جداسازی شده و در دمای منفی ۸۰ درجه سانتی‌گراد منجمد نگهداری شد.

جدول ۱- اجزای خوراک آغازین پایه (بر اساس درصد ماده خشک)*

Table 1- Ingredients of basal starter feed (based on dry matter %)

درصد percent	اجزا Ingredients
43.7	دانه ذرت Corn grain
30.0	کنجاله سویا Soybean meal
15.0	دانه جو Barley grain
1.0	کنجاله گلوتن ذرت Corn gluten meal
2.0	کنجاله ماهی Fish meal
3.0	سبوس گندم Wheat bran
2.0	فول فت سویا Full fat soy
0.5	نمک Salt
1.0	بیکربنات سدیم Sodium bicarbonate
0.5	دی‌کلسیم فسفات Dicalcium phosphate
0.5	کربنات کلسیم Calcium carbonate
0.3	پیش مخلوط مواد معدنی Mineral premix
0.5	پیش مخلوط مواد ویتامینی Vitamin premix
درصد در ماده خشک Percent in dry matter	ترکیبات شیمیایی Chemical composition
88.63	ماده خشک Dry matter
3.10	انرژی قابل متابولیسم (مگاکالری در کیلوگرم) Metabolizable energy (Mcal/kg)
22.00	پروتئین خام Crude protein
29.29	فیبر محلول در شوینده خنثی NDF
11.62	فیبر محلول در شوینده اسیدی ADF
3.85	عصاره اتری Ether Extract
7.29	خاکستر Ash

*: پیش مخلوط مواد معدنی شامل ۱۳۵۰۰ میلی‌گرم منگنز، ۱۸۰۰۰ میلی‌گرم روی، ۴۵۰۰ میلی‌گرم مس، ۱۰۰ میلی‌گرم کبالت، ۷۲ میلی‌گرم سلنیوم و ۲۰۰ میلی‌گرم ید در هر کیلوگرم است.

Mineral premix contained per Kg: 13500 mg manganese, 18000 mg zinc, 4500 mg copper, 100 mg cobalt, 72 mg selenium, 200 mg iodine.

*: پیش مخلوط ویتامینی شامل ۱۰۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A، ۲۵۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D3 و ۵۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین E در هر کیلوگرم است.

Vitamin premix contained per Kg: 1000000 IU Vitamin A, 250000 IU Vitamin D3, 5000 IU Vitamin E.

سطوح مواد معدنی پلاسما: غلظت مواد معدنی شامل آهن، مس، روی و منگنز با استفاده از کیت‌های تجاری شرکت دیالب کشور اتریش و روش فتومتریک با استفاده از دستگاه اتوآنالایزر BT1500 ساخت کشور ایتالیا اندازه‌گیری شد.

فراسنجه‌های بیوشیمیایی پلاسما: غلظت پروتئین کل، گلوکز، نیتروژن اوره‌ای خون، کلسترول، تری‌گلیسیرید، آلبومین، لیپوپروتئین‌های با چگالی زیاد و لیپوپروتئین‌های با چگالی پایین با استفاده از کیت‌های تجاری شرکت پارس آزمون و روش فتومتریک با استفاده از دستگاه میکروپلیت ریدر اتومات EON-BIOTEK, America اندازه‌گیری شد.

فراسنجه‌های آنزیمی: غلظت آنزیم‌های آلکالین فسفاتاز، لاکتات دهیدروژناز، آسپارتات آمینوترانسفراز و آلانین آمینوترانسفراز با استفاده از کیت‌های شرکت پارس آزمون با روش فتومتریک و با استفاده از دستگاه میکروپلیت ریدر اتومات EON-BIOTEK, America اندازه‌گیری شد.

فراسنجه‌های خون‌شناسی: فراسنجه‌های خون‌شناسی تعداد گلبول‌های قرمز (L/ $۱۰^{۱۲}$)، مقدار هموگلوبین (g/dl)، هماتوکریت (درصد)، مقدار پلاکت (mL/ $۱۰^{۳}$) و حجم سلول‌های خونی (درصد) با استفاده از دستگاه Exigo H400 ساخت کشور سوئد و شمارش تفریقی گلبول‌های سفید (mL/ $۱۰^{۳}$) با روش رنگ‌آمیزی رایت گیمسا و تهیه گستره لام و با میکروسکوپ اندازه‌گیری شد.

فراسنجه‌های هورمونی: غلظت هورمون‌های تری‌یدوتایرونین و تیروکسین پلاسما با استفاده از کیت‌های تجاری شرکت پیشتاز طب با روش الایزا و با استفاده از دستگاه میکروپلیت ریدر اتومات EON-BIOTEK, America اندازه‌گیری شد.

وضعیت آنتی‌اکسیدانی: فعالیت آنزیم کاتالاز، غلظت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام سرم با استفاده از کیت‌های تجاری شرکت نوند سلامت با روش فتومتریک و با استفاده از دستگاه میکروپلیت ریدر اتومات EON-BIOTEK, America اندازه‌گیری شد.

آنالیز آماری: با استفاده از رویه آماری Univariate نرم‌افزار SAS 9.1 (2001, Institute Inc., Cary, NC, USA) و بر اساس نتایج آزمون کولموگروف اسمیرنوف و ارزیابی نمودار پراکندگی، کشیدگی و چولگی، توزیع نرمال باقی‌مانده‌ها بررسی شد و در موارد لزوم داده‌های غیر نرمال تصحیح شد. داده‌های تکرارشونده در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از رویه آماری Mixed و آزمون توکی و سطح معنی‌داری پنج درصد آنالیز شده و نتایج به‌صورت میانگین حداقل مربعات گزارش شدند. مدل آزمایشی و اجزای آن به شکل زیر خواهد بود.

$$Y_{ijkl}= \mu \pm A_i + B_j + b(W_i-W)_l + \delta(A)_{ik} + AB_{ij} + e_{ijkl}$$

Y_{ijkl}: صفت اندازه‌گیری شده، μ: اثر ثابت میانگین، A_i: اثر ثابت i مین تیمار، B_j: اثر ثابت زمان، $\delta(A)_{ik}$: اثر تصادفی حیوان، $b(W_i-W)_l$: اثر کواریت، e_{ijkl}: اثر خطای آزمایشی

نتایج و بحث

نتایج آزمایش حاضر (جدول ۲) نشان داد که مکمل مواد معدنی کم‌مصرف دارای عناصر مس، آهن، روی و منگنز نتوانست وزن بدن، میانگین مصرف خوراک روزانه و ضریب تبدیل غذایی را در گوساله-های شیرخوار هلشتاین افزایش دهد. در این پژوهش چون سطح مواد معدنی جیره پایه برای احتیاجات پیشنهادی NRC (2001) تنظیم‌شده بود، بنابراین احتمالاً افزودن مکمل معدنی نتوانسته تأثیری

بر وزن بدن و مصرف خوراک داشته باشد. هماهنگ با نتایج مطالعه حاضر، گزارش‌شده که تغذیه مکمل معدنی دارای عناصر مس، روی و منگنز در گوساله‌ها تأثیر معنی‌داری بر وزن بدن، افزایش وزن روزانه و مصرف ماده خشک روزانه نداشت (Ryan و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین مشخص شده که تغذیه مکمل عنصر روی تأثیر معنی‌داری برافزایش وزن و مصرف خوراک روزانه در گوساله‌ها ندارد (Mandal و همکاران، ۲۰۰۷).

جدول ۲- میانگین وزن بدن، افزایش وزن روزانه، مصرف خوراک روزانه و ضریب تبدیل غذایی در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

Table 2- Means of body weight, average daily gain, average daily feed intake and conversion ratio in Holstein suckling calves

P-value	SEM	مکمل معدنی Trace Mineral	شاهد Control	
		41.13	41.08	وزن تولد (کیلوگرم) Birth Weight (Kg)
0.21	1.29	77.78	79.43	وزن نهایی (کیلوگرم) Final Weight (Kg)
0.36	0.02	0.58	0.61	افزایش وزن روزانه (کیلوگرم) Average Daily Gain (Kg)
0.07	0.03	1.03	1.10	میانگین مصرف خوراک روزانه (کیلوگرم) Average Daily Feed Intake (Kg)
0. 89	0.12	2.05	2.03	ضریب تبدیل خوراک Feed Conversion Ratio

*Trace Mineral group calves were fed milk including 15 part per million (ppm) iron sulfate (FeSo4), 6 ppm zinc sulfate (ZnSo4), 6 ppm manganese sulfate (MnSo4) and 1.5 ppm copper sulfate (CuSo4) supplement and basal starter diet including 100 ppm FeSo4, 40 ppm ZnSo4, 40 ppm MnSo4 and 10 ppm Cuso4 supplement until weaning on day 63.

در مطالعه حاضر (جدول ۳) سطح عنصر روی پلاسما در گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل مواد معدنی مس، آهن، روی و منگنز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. گزارش‌شده غلظت عنصر روی پلاسما نسبت به مصرف تغذیه‌ای این عنصر حساس است به‌ویژه اگر در سطوح بسیار کم یا بسیار زیاد تغذیه شود (Kincaid، ۱۹۹۹). مکمل مواد معدنی تأثیر معنی‌داری بر سطوح مس، آهن و منگنز پلاسما نداشت. هر دو گروه بر اساس احتیاجات پیشنهادی NRC (۲۰۰۱) برای این مواد معدنی تنظیم‌شده بودند. Ahola و همکاران (۲۰۰۵) هماهنگ با نتایج مطالعه حاضر گزارش دادند که مکمل مواد معدنی کمیاب حاوی مس، روی و منگنز باعث افزایش قابل‌توجه غلظت عنصر روی پلاسما در گوساله‌ها شد درحالی‌که غلظت مس پلاسما تغییر معنی‌داری نداشته و غلظت منگنز در این مطالعه اندازه‌گیری نشد. مکمل عنصر روی باعث افزایش معنی‌دار غلظت سرمی این عنصر در گوساله‌های شیرخوار شد (Zaboli و Elyasi، ۲۰۲۱).

نشان داده‌شده که سرم شاخص حساسی برای وضعیت مس بدن نیست. گاوهای با غلظت زیاد مس در کبد غلظت زیاد سرمی مس نداشته و گاوهای با غلظت پایین مس کبد، غلظت سرمی یکسانی در مقایسه با گاوهای با غلظت زیاد مس کبد داشتند (Olson و همکاران، ۱۹۹۱). غلظت پلاسمایی عنصر مس به‌طور کامل نسبت به کمبود مصرف مس حساس نیست، زیرا غلظت پلاسمایی تا زمانی که مس کبد کمتر از ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نباشد به‌طور مداوم کاهش نمی‌یابد (Claypool و همکاران، ۱۹۷۵). بنابراین ممکن است حیوانات به‌ویژه در کوتاه‌مدت

بدون تغییرات در سطوح مس پلاسما در حد آستانه باشند. Olson و همکاران (۱۹۹۹) نیز گزارش کردند تغذیه عناصر معدنی مس، منگنز، روی و کبالت سبب بهبود غلظت مس سرم نشد. در این مطالعه سطح سرمی منگنز در گوساله‌های گروه تیماری در مقایسه با گوساله‌های گروه شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. گزارش‌شده که گوساله‌های شیرخوار منگنز را ترجیحاً در کبد ذخیره می‌کنند (Howes و Dyer، ۱۹۷۱). همچنین Teixeira و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند مکمل مواد معدنی حاوی مس، روی، منگنز و سلنیوم سبب تغییر در سطح سرمی عناصر مس و منگنز نشد، درحالی‌که سطح عنصر روی در گوساله‌های شیرخوار افزایش یافت.

جدول ۳- میانگین غلظت پلاسمایی مس، آهن، روی، منگنز در گوساله‌های شیرخوار (بر اساس ppm)

Table 3- Means of plasma Copper, Iron, Zinc and Manganese concentration (ppm) in Holstein suckling calves

P-value	SEM	مکمل معدنی Trace Mineral	شاهد Control	
0.15	0.21	127.97	127.50	مس (قسمت در میلیون) Copper (ppm)
0.38	10.96	138.92	124.20	آهن (قسمت در میلیون) Iron (ppm)
0.008	3.11	96.69[a]	82.79[b]	روی (قسمت در میلیون) Zinc (ppm)
0.78	0.12	1.24	1.19	منگنز (قسمت در میلیون) Manganese (ppm)

[a-b] حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ($P< ۰/۰۵$) است

[a-b] different superscripts show a significant difference at ($p< 0.05$).

*Trace Mineral group calves were fed milk including 15 part per million (ppm) iron sulfate (FeSo4), 6 ppm zinc sulfate (ZnSo4), 6 ppm manganese sulfate (MnSo4) and 1.5 ppm copper sulfate (CuSo4) supplement and basal starter diet including 100 ppm FeSo4, 40 ppm ZnSo4, 40 ppm MnSo4 and 10 ppm Cuso4 supplement until weaning on day 63.

در این آزمایش (جدول ۴) استفاده از مکمل مواد معدنی مس، آهن، روی و منگنز در خوراک آغازین و شیر گوساله‌های شیرخوار هلشتاین اثر معنی‌داری بر غلظت فراسنجه‌های بیوشیمیایی پلاسمایی نظیر پروتئین کل، گلوکز، تری‌گلیسیرید، کلسترول و اوره نداشت. در حالی‌که گوساله‌های گروه تیمار افزایش قابل‌توجه آلبومین سرم و افزایش معنی‌دار لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا و کاهش معنی‌دار لیپوپروتئین‌های با چگالی پایین را نشان دادند.

آلبومین پروتئینی است که در کبد ساخته‌شده و مسئول ۷۵ درصد فشار اسمزی پلاسما است و پروتئین فاز حاد منفی محسوب می‌شود (Tothova و همکاران، ۲۰۱۴). پروتئین‌های فاز حاد به دو گروه مثبت و منفی دسته‌بندی می‌شوند. آن‌هایی که نظیر آلبومین پس از عفونت سطحشان کاهش پیدا می‌کند به‌عنوان پروتئین فاز حاد منفی در نظر گرفته می‌شوند. در آزمایش حاضر غلظت آلبومین پلاسما در گروه تیمار نسبت به گروه شاهد به شکل قابل‌توجهی بیشتر بود. غلظت کمتر آلبومین پلاسما در گوساله‌های گروه شاهد ممکن است با اختلال عملکرد احتمالی سلول‌های کبدی ناشی از التهاب همراه باشد (Sabry و Wael، ۱۹۷۱). بنابراین غلظت کمتر آلبومین پلاسما در گروه شاهد می‌تواند با جریان فرآیند التهاب در گوساله‌ها ارتباط داشته باشد. Yaghoob و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که مکمل مواد معدنی سبب افزایش آلبومین سرم شد.

مطالعه حاضر نشان داد که مکمل مواد معدنی کم‌مصرف باعث افزایش غلظت پلاسمایی لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا و کاهش غلظت لیپوپروتئین‌های با چگالی پایین شد. ارتباط بین التهاب و متابولیسم چربی در انسان و گونه‌های مختلف حیوانات اثبات‌شده است (Carpentier و Scruel، ۲۰۰۲). yamamoto و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا در ایمنی ذاتی ضروری بوده و غلظت آن‌ها در سرم طی التهاب کاهش می‌یابد. White و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که غلظت لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا احتمالاً در گوساله‌های دارای التهاب به دلیل اکسیداسیون کاهش می‌یابد. غلظت بیشتر لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا در گروه تیمار در مقایسه با گروه شاهد احتمالاً نشانه بهبود وضعیت التهابی است (Wu و همکاران، ۲۰۰۴).

جدول ۴- میانگین فراسنجه‌های بیوشیمیایی پلاسما در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

Table 4- means of plasma biochemical parameters in Holstein suckling calves

P-value	SEM	مکمل معدنی Trace Mineral	شاهد Control	
0.08	0.08	3.66	3.42	آلبومین (گرم بر دسی‌لیتر) Albumin (g dl^{-1})
0.43	2.31	96.43	98.96	گلوکز (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر) Glucose (mg dl^{-1})
0.43	2.31	8.63	8.73	پروتئین کل (میلی‌مول بر لیتر) Total Protein (mmol l^{-1})
0.35	0.78	25.99	27.10	اوره (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر) Urea (mg dl^{-1})
0.13	0.03	0.33	0.42	بیلی روبین دایرکت (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر) Direct Bilirubin (mg dl^{-1})
0.64	0.07	0.94	0.99	بیلی روبین کل (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر) Total Bilirubin (mg dl^{-1})
0.24	0.01	0.24	0.22	تری گلیسرید (گرم بر دسی‌لیتر) Triglyceride (g dl^{-1})
0.15	0.12	1.36	1.65	کلسترول (میلی‌مول بر لیتر) Cholesterol (mmol l^{-1})
0.04	0.11	1.13^{b}	1.51^{a}	لیپوپروتئین با چگالی پایین (میلی‌مول بر لیتر) Low Density Lipoprotein (mmol l^{-1})
0.03	0.06	1.93^{a}	1.71^{b}	لیپوپروتئین با چگالی بالا (میلی‌مول بر لیتر) High Density Lipoprotein (mmol l^{-1})

$^{a-b}$حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی‌دار (P< ۰/۰۵) است

$^{a-b}$ Different superscripts show a significant difference at ($p< 0.05$).

*Trace Mineral group calves were fed milk including 15 part per million (ppm) iron sulfate (FeSo4), 6 ppm zinc sulfate (ZnSo4), 6 ppm manganese sulfate (MnSo4) and 1.5 ppm copper sulfate (CuSo4) supplement and basal starter diet including 100 ppm FeSo4, 40 ppm ZnSo4, 40 ppm MnSo4 and 10 ppm Cuso4 supplement until weaning on day 63.

طبق نتایج آزمایش حاضر (جدول ۵) غلظت آنزیم آلکالین فسفاتاز تحت تأثیر مکمل مواد معدنی قرار گرفت، در حالی‌که غلظت لاکتات دهیدروژناز، آلانین آمینوترانسفراز و آسپارتات آمینوترانسفراز تحت تأثیر تیمار قرار نگرفت. آلکالین فسفاتاز آنزیم حاوی عنصر روی بوده و به‌وسیله کبد، استخوان و مقادیر اندک در روده و کلیه ساخته می‌شود. آلکالین فسفاتاز طی بلوغ استئوبلاستی توسط استئوبلاست‌ها ساخته و ترشح می‌شود و پس از تبدیل پروکلاژن به کلاژن بافت‌های معدنی شده را شکل می‌دهد (Yamaguchi و همکاران، ۱۹۸۸). پیشنهادشده است که غلظت‌های سرمی آنزیم‌های وابسته به عنصر روی از جمله

آلکالین فسفاتاز و سوپراکسید دیسموتاز و پروتئین‌های متصل‌شونده به عنصر روی نظیر متالوتیونین و انسولین علاوه بر مقادیر سرمی و بافتی این عنصر شاخص‌های مناسبی برای وضعیت تغذیه‌ای روی هستند (Yin و همکاران، ۲۰۰۹). Samman و همکاران (۱۹۹۶) گزارش دادند که فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز در گلبول‌های قرمز به دلیل کمبود روی رژیم غذایی کاهش می‌یابد.

جدول ۵-میانگین غلظت آنزیم‌های پلاسما در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

Table 5- means of plasma enzyme concentration in Holstein suckling calves

P-value	SEM	مکمل معدنی Trace Mineral	شاهد Control	
0.02	58.19	1019.65[a]	799.58[b]	آلکالین فسفاتاز (واحد بر لیتر) Alkaline Phosphatase (U l^{-1})
0.19	29.27	864.98	807.16	لاکتات دهیدروژناز (واحد بر لیتر) Lactate Dehydrogenase (U l^{-1})
0.15	2.70	59.21	52.64	آسپارتات آمینوترانسفراز (واحد بر لیتر) Aspartate Aminotransferase (U l^{-1})
0.07	0.69	24.75	22.22	آلانین آمینوترانسفراز (واحد بر لیتر) Alanine Aminotransferase (U l^{-1})

[a-b]**حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی‌دار (P< ۰/۰۵) است.**

[a-]b Different superscripts show a significant difference at (p< 0.05).

*Trace Mineral group calves were fed milk including 15 part per million (ppm) iron sulfate (FeSo4), 6 ppm zinc sulfate (ZnSo4), 6 ppm manganese sulfate (MnSo4) and 1.5 ppm copper sulfate (CuSo4) supplement and basal starter diet including 100 ppm FeSo4, 40 ppm ZnSo4, 40 ppm MnSo4 and 10 ppm Cuso4 supplement until weaning on day 63.

طبق نتایج مطالعه حاضر (جدول ۶) تفاوتی در میزان آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و وضعیت آنتی‌اکسیدانی تام پلاسمایی بین گوساله‌های گروه شاهد و تیمار وجود نداشت که نشان می‌دهد احتمالاً سطح مواد معدنی جیره پایه احتیاجات گوساله‌های شیرخوار را تأمین کرده است. یکی از آنزیم‌های مهم وابسته به عناصر روی، مس و منگنز آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بوده و یک متالوآنزیم آنتی‌اکسیدانی بسیار مؤثر است. Ahola و همکاران، (۲۰۰۵) نشان دادند که در گاوها فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بین گروه شاهد و دریافت‌کننده مکمل عناصر معدنی حاوی مس، روی و منگنز تفاوت معنی‌داری نداشت. Teixeira و همکاران، (۲۰۱۴) نشان دادند که مکمل تزریقی عناصر معدنی کم‌مصرف مس، روی، منگنز و سلنیوم تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز ندارد. کاتالاز یک آنزیم حاوی هم و عنصر آهن است و در محافظت از سلول‌ها در برابر رادیکال‌های آزاد اهمیت دارد. طبق نتایج مطالعه حاضر آنزیم کاتالاز تحت تأثیر تیمار قرار نگرفت. فعالیت آنزیم کاتالاز در موش‌ها تحت تأثیر کمبود آهن قرار نگرفت (Rao و Jagadeesan، ۱۹۹۶).

جدول ۶-میانگین وضعیت آنتی‌اکسیدانی پلاسمای گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

Table 6- means of plasma antioxidant status in Holstein suckling calves

P-value	SEM	مکمل معدنی Trace Mineral	شاهد Control	
0.64	0.03	0.28	0.26	کاتالاز (نانومول بر دقیقه بر میلی‌لیتر) Catalase (nmol min^{-1} ml^{-1})
0.31	3.38	257.68	263.93	سوپراکسید دیسموتاز (واحد بر میلی‌لیتر) Superoxide Dismutase (Uml^{-1})
0.78	0.07	1.99	1.96	ظرفیت اکسیدانی تام (نانومول بر میلی‌لیتر) Total Antioxidant Capacity (nmol ml^{-1})

*Trace Mineral group calves were fed milk including 15 part per million (ppm) iron sulfate (FeSo4), 6 ppm zinc sulfate (ZnSo4), 6 ppm manganese sulfate (MnSo4) and 1.5 ppm copper sulfate (CuSo4) supplement and basal starter diet including 100 ppm FeSo4, 40 ppm ZnSo4, 40 ppm MnSo4 and 10 ppm Cuso4 supplement until weaning on day 63.

یافته‌های آزمایش حاضر (جدول ۷) نشان داد سلول‌های قرمز خون، غلظت هموگلوبین و هماتوکریت در گروه دریافت‌کننده مکمل نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. تزریق عناصر معدنی آهن و مس به گوساله‌های شیرخوار سبب افزایش درصد حجم بسته‌های خونی، میزان هموگلوبین و تعداد گلبول‌های قرمز خون گوساله‌ها شد (Heidarpour و همکاران، ۲۰۰۸). مکمل عناصر معدنی حاوی مس، روی و منگنز باعث افزایش مقدار هموگلوبین و درصد حجم بسته‌های خونی در تلیسه‌ها و گاوهای شیری شد (Biswas، ۲۰۰۴). مکمل معدنی حاوی عناصر مس، منگنز، روی و کبالت باعث افزایش غلظت هموگلوبین در گاوهای شیری شد (Tiwari و همکاران، ۲۰۰۰). کمبود مس با کاهش مقدار گلبول‌های قرمز خون و غلظت هموگلوبین همراه است (Sharma و همکاران، ۲۰۰۵). کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گلبول‌های قرمز می‌تواند توضیح احتمالی برای تغییرات خون‌شناسی باشد (Vedovatto و همکاران، ۲۰۱۹). کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز سیتوزولی سبب افزایش تخریب اکسیداتیو و کاهش نیمه عمر گلبول‌های قرمز می‌شود (Razavi و همکاران، ۲۰۱۱). هرچند غلظت این آنزیم در آزمایش حاضر تغییر معنی‌داری نداشت. گزارش‌شده که عنصر مس برای تولید گویچه‌های قرمز ضروری است (Rodostits و همکاران، ۲۰۰۰). Miyata و همکاران، (۱۹۸۴) نشان دادند که بیشتر آهن چه به‌صورت خوراکی یا تزریقی توسط گلبول‌های قرمز خون استفاده می‌شود و تنها مقدار کمی توسط محل‌های ذخیره‌سازی جذب می‌شود. Mohri و همکاران، (۲۰۰۴) گزارش دادند که تولید کافی گلبول‌های قرمز و هموگلوبین با مقدار کافی آهن در خوراک حاصل می‌شود (Mohri و همکاران، ۲۰۰۴؛ Miyata و همکاران، ۱۹۸۴؛ Kume و Tanabe، ۲۰۱۴) گزارش کردند که استفاده از مکمل آهن باعث افزایش غلظت هموگلوبین و تعداد گلبول‌های قرمز خون می‌شود که با نتایج پژوهش حاضر منطبق است. در مطالعه حاضر، مکمل مواد معدنی باعث افزایش معنی‌دار غلظت نوتروفیل و بازوفیل در خون گوساله‌ها شد. این نتایج همسو با نتایج دیگر پژوهش‌هایی است که نشان دادند کاربرد مواد معدنی کم‌مصرف حاوی مس، روی، منگنز و سلنیوم به شکل تزریقی سامانه ایمنی را تحریک می‌کند (Teixeira و همکاران، ۲۰۱۴؛ Vedovatto و همکاران، ۲۰۱۹). مشخص‌شده عنصر روی برای سلول‌هایی که تقسیم سلولی بالایی دارند به‌ویژه در سامانه ایمنی ضروری است و همچنین عنصر مس پاسخ‌های نوتروفیل و مونوسیت را تحریک می‌کند (Maggini و همکاران، ۲۰۰۷).

جدول ۷- میانگین فراسنجه‌های خون‌شناسی در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

Table 7- means of hematological parameters in Holstein suckling calves

P-value	SEM	مکمل معدنی Trace Mineral	شاهد Control	
0.02	0.22	9.03[a]	8.19[b]	گلبول‌های قرمز (۱۰^{۱۲}بر میلی‌لیتر) Red Blood Cells (10^{12} l^{-1})
0.01	0.25	12.21[a]	10.89[b]	هموگلوبین (گرم بر دسی‌لیتر) Hemoglobin Count (g dl^{-1})
0.01	0.50	42.22[a]	36.29[b]	هماتوکریت (درصد) Hematocrit (%)
0.55	0.33	8.90	9.20	گلبول‌های سفید (۱۰^{۳}بر میلی‌لیتر) White Blood Cells (10^{3} ml^{-1})
0.72	1.89	206.77	205.80	پلاکت (۱۰^{۳} بر میلی‌لیتر) Platelet (10^{3} ml^{-1})
0.44	0.65	31.02	31.92	حجم بسته‌های خونی (درصد) Packed Cell Volume (%)
0.01	0.34	69.60[a]	64.65[b]	نوتروفیل (درصد) Neutrophil (%)
0.40	0.04	0.65	0.59	مونوسیت (درصد) Monocyte (%)
0.18	0.02	0.53	0.48	ائوزینوفیل (درصد) Eosinophil (%)
0.02	0.03	0.50[a]	0.38[b]	بازوفیل (درصد) Basophil (%)

[a-b]حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی‌دار (P< ۰/۰۵) است

[a-b] Different superscripts show a significant difference at (p< 0.05).

*Trace Mineral group calves were fed milk including 15 part per million (ppm) iron sulfate (FeSo4), 6 ppm zinc sulfate (ZnSo4), 6 ppm manganese sulfate (MnSo4) and 1.5 ppm copper sulfate (CuSo4) supplement and basal starter diet including 100 ppm FeSo4, 40 ppm ZnSo4, 40 ppm MnSo4 and 10 ppm Cuso4 supplement until weaning on day 63.

در مطالعه حاضر (جدول ۸) مکمل مواد معدنی باعث افزایش معنی‌دار غلظت هورمون تری‌یدوتایرونین در خون گوساله‌ها شد. استفاده از مکمل خوراکی آهن باعث افزایش غلظت هورمون تری‌یدوتایرونین گوساله‌ها شد (Ceppi و همکاران، ۱۹۹۴؛ Eisa و Elgebaly، ۲۰۱۰). تری‌یدوتایرونین فعال‌ترین هورمون تیروئیدی است. تولید و متابولیسم هورمون‌های تیروئیدی به عناصر کم‌مصرفی نظیر آهن، مس و روی وابسته بوده و کمبود این عناصر عملکرد طبیعی تیروئید را مختل می‌کند. عنصر مس در سوخت‌وساز اسیدآمینه تایروزین برای تولید هورمون‌های تیروئیدی نیاز است (Hess و Zimmermann، ۲۰۰۴). کمبود مس ترشح آنزیم‌های تایروزین هیدروکسیلاز و دوپامین هیدروکسیلاز حاوی عنصر مس را در نورون‌های هیپوتالاموسی مختل می‌کند که این امر باعث مهار ساخت فاکتور آزادکننده هورمون تیروئیدی می‌شود (Hess و Zimmermann، ۲۰۰۴). علاوه بر این مشخص‌شده که متابولیسم تیروئید در اثر کم‌خونی ناشی از فقر آهن مختل می‌شود. کم‌خونی ناشی از فقر آهن می‌تواند سامانه عصبی مرکزی تنظیم‌کننده متابولیسم تیروئید و اتصال هسته‌ای تری‌یدوتایرونین را مختل کرده و فعالیت آنزیم دیودیناز ۵ کبدی را تغییر دهد که تبدیل تیروکسین به تری‌یدوتایرونین را تسریع می‌کند (Zimmerman، ۲۰۰۴). یکی دیگر از سازوکارهای بالقوه، اختلال در فعالیت آنزیم تیروئید پروکسیداز است (Zimmerman، ۲۰۰۴). تیروئید پروکسیداز یک آنزیم حاوی هم است که دو مرحله ابتدایی ساخت هورمون‌های تیروئیدی را تسریع می‌کند.

جدول ۸ - میانگین غلظت هورمون‌های تیروئیدی پلاسما در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

Table 8- means of plasma thyroid hormones concentration in Holstein suckling calves

P-value	SEM	مکمل معدنی Trace Mineral	شاهد Control	
0.01	0.08	2.47[a]	2.04[b]	تری‌یدوتایرونین (نانوگرم بر میلی‌لیتر) Triiodothyronine (ng ml^{-1})
0.68	0.18	10.02	10.13	تیروکسین (نانوگرم بر میلی‌لیتر) Thyroxine (ng ml^{-1})

[a-b]حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی‌دار (P< ۰/۰۵) است

[a-b] Different superscripts show a significant difference at (p< 0.05).

*Trace Mineral group calves were fed milk including 15 part per million (ppm) iron sulfate (FeSo4), 6 ppm zinc sulfate (ZnSo4), 6 ppm manganese sulfate (MnSo4) and 1.5 ppm copper sulfate (CuSo4) supplement and basal starter diet including 100 ppm FeSo4, 40 ppm ZnSo4, 40 ppm MnSo4 and 10 ppm Cuso4 supplement until weaning on day 63.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مکمل کردن عناصر معدنی کم‌مصرف آهن، مس، روی و منگنز باعث بهبود عملکرد رشد یا آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گوساله‌های شیرخوار نشد. با این‌حال مکمل مذکور سبب بهبود برخی فراسنجه‌های بیوشیمیایی مرتبط با التهاب (آلبومین، لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا و لیپوپروتئین‌های با چگالی پایین)، فعالیت آنزیمی مرتبط با استخوان‌سازی (آلکالین فسفاتاز) و فراسنجه‌های خون‌شناسی (تعداد سلول‌های قرمز خون، میزان هموگلوبین، درصد هماتوکریت و نوتروفیل‌ها) و هورمون‌های مؤثر بر رشد و سوخت‌وساز پایه در گوساله‌های شیرخوار شد که می‌تواند نشانه بهبود وضعیت التهاب و همچنین اکسیژن‌رسانی و پشتیبانی بهتر از رشد در گوساله‌های گروه تیمار باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در قالب طرح تحقیقاتی با شماره ۷۱۰۸۰۱۷/۶/۴۵ و تحت قرارداد شماره ۹۷-۶۵۸۳۲۵۷ مورخ ۱۳۹۷/۰۹/۲۵ با شرکت بیوشم کشور آلمان انجام شد.

منابع

Ahola, J.K., Sharpe, L.R., Dorton, K.L., Burns, P.D., Stanton, T.L. and Engle, T.E. 2005. Effects of lifetime copper, zinc, and manganese supplementation and source on performance, mineral status, immunity, and carcass characteristics of feedlot cattle. The Professional Animal Scientist, 21(4): 305-317.

Arthington, J.D. and Havenga, L. J. 2012. Effect of injectable trace minerals on the humoral immune response to multivalent vaccine administration in beef calves. Journal of Animal Science, 90(6): 1966-1971.

Biswas, P.K. 2004. Studies on supplemental organic and inorganic trace minerals and exogenous phytase on reproductive and productive performances of anoestrous cattle (Doctoral dissertation, Kolkata).

Carpentier, Y.A. and Scruel, O. 2002. Changes in the concentration and composition of plasma lipoproteins during the acute phase response. Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care, 5(2): 153-158.

Ceppi, A. and Blum, J.W. 1994. Effects of growth hormone on growth performance, haematology, metabolites and hormones in iron- deficient veal calves. Journal of Veterinary Medicine Series, 41(110): 443-458.

Clark, J.H., Olson, K. C., Schmidt, T.B., Larson, R. L., Ellersieck, M. R., Alkire, D. O. and Carr, C. C. 2006. Effects of respiratory disease risk and a bolus injection of trace minerals at receiving on growing and finishing performance by beef steers. The Professional Animal Scientist, 22(3): 245-251.

Claypool, D.W., Adams, F.W., Pendell, H.W., Hartmann Jr, N.A. and Bone, J.F. 1975. Relationship between the level of copper in the blood plasma and liver of cattle. Journal of Animal Science, 41(3): 911-914.

Duff, G.C. and Galyean, M.L. 2007. Board-invited review: recent advances in management of highly stressed, newly received feedlot cattle. Journal of Animal Science, 85(3): 823-840.

Eisa, A.M. and Elgebaly, L.S. 2010. Effect of ferrous sulphate on haematological, biochemical and immunological parameters in neonatal calves. Veterinaria Italiana, 46(3): 329-335.

Gaál, T., Ribiczeyné-Szabó, P., Stadler, K., Jakus, J., Reiczigel, J., Kövér, P. and Sümeghy, L. 2006. Free radicals, lipid peroxidation and the antioxidant system in the blood of cows and newborn calves around calving. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 143(4): 391-396.

Halliwell, B. and Gutteridge, J.M. 2015. Free radicals in biology and medicine. Oxford University Press, USA.

Harvey, J.W. 2000. Microcytic Anemia. (5th ed.) In: Feldman BF, Zinkl JG, Jain NC (eds) Schalm's veterinary hematology, 5th edn. Lippincott, Williams and Wilkins, Philadelphia, PA, 201–204.

Heidarpour Bami, M., Mohri, M. and Seifi, H. A. 2008. Effects of parenteral supply of iron and copper on hematology, weight gain, and health in neonatal dairy calves. Veterinary Research Communications 32(7): 553–561.

Hess, S.Y. and Zimmermann, M.B. 2004. The effect of micronutrient deficiencies on iodine nutrition and thyroid metabolism. International Journal for Vitamin and Nutrition Research, 74(2): 103-115.

Howes, A.D. and Dyer, I.A. 1971. Diet and supplemental mineral effects on manganese metabolism in newborn calves. Journal of Animal Science, 32(1): 141-145.

Kincaid, R. L. 1999. Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. In Proceedings of the American Society of Animal Science, 77(1): 1-10.

Kume, S. I. and Tanabe, S. 1996. Effect of supplemental lactoferrin with ferrous iron on iron status of newborn calves. Journal of Dairy Science, 79(3): 459-464.

Maggini, S., Wintergerst, E.S., Beveridge, S. and Hornig, D. H. 2007. Selected vitamins and trace elements support immune function by strengthening epithelial barriers and cellular and humoral immune responses. British Journal of Nutrition, 98(1): 29-35.

Mandal, G.P., Dass, R.S., Isore, D.P., Garg, A.K. and Ram, G.C. 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.

Miyata, Y., Furugouri, K. and Shijimaya, K. 1984. Developmental changes in serum ferritin concentration of dairy calves. Journal of Dairy Science, 67(6): 1256-1263.

Mohri, M., Sarrafzadeh, F., Seifi, H.A. and Farzaneh, N. 2004. Effects of oral iron supplementation on some haematological parameters and iron biochemistry in neonatal dairy calves. Comparative Clinical Pathology, 13(2): 39-42.

National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle (7th revised ed.) National Academic Press, Washington, DC, USA.

Olson, P. A., Brink, D.R., Hickok, D. T., Carlson, M. P., Schneider, N. R., Deutscher, G. H. and Johnson, A.B. 1999. Effects of supplementation of organic and inorganic combinations of copper, cobalt, manganese, and zinc above nutrient requirement levels on postpartum two-year-old cows. Journal of Animal Science, 77(3): 522-532.

Prohaska, J.R. and Broderius, M. 2006. Plasma peptidylglycine alpha-amidating monooxygenase (PAM) and ceruloplasmin are affected by age and copper status in rats and

mice. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 143(3): 360-366.

Radwinska, J. and Zarczynska, K. 2014. Effects of mineral deficiency on the health of young ruminants. Journal of Elementology, 19(3): 915-928.

Rajabian, F., Mohri, M. and Heidarpour, M. 2017. Relationships between oxidative stress, haematology and iron profile in anaemic and non- anaemic calves. Veterinary Record, 181(10): 265-265.

Rao, J. and Jagadeesan, V. 1996. Lipid peroxidation and activities of antioxidant enzymes in iron deficiency and effect of carcinogen feeding. Free Radical Biology and Medicine, 21(1): 103-108.

Razavi, S. M., Nazifi, S., Bateni, M. and Rakhshandehroo, E. 2011. Alterations of erythrocyte antioxidant mechanisms: Antioxidant enzymes, lipid peroxidation and serum trace elements associated with anemia in bovine tropical theileriosis. Veterinary Parasitology, 180(3): 209-214.

Richeson, J. T. and Kegley, E. B. 2011. Effect of supplemental trace minerals from injection on health and performance of highly stressed, newly received beef heifers. The professional Animal Scientist, 27(5): 461-466.

Rodostits, O.M., Gay, C.C., Blood, D.C. and Hinchcliff, K.W. 2000. In: Veterinary Medicine, (9th ed.) W.B. Saunders Co. Ltd.

Ryan, A.W., Kegley, E.B., Hawley, J., Powell, J.G., Hornsby, J.A., Reynolds, J. L. and Laudert, S.B. 2015. Supplemental trace minerals (zinc, copper, and manganese) as sulfates, organic amino acid complexes, or hydroxy trace-mineral sources for shipping-stressed calves. The Professional Animal Scientist, 31(4): 333-341.

Sabry, M.E. and Wael, M.E. 2013. Acute phase proteins, lipid profile and proinflammatory cytokines in healthy and bronchopneumonic water buffalo calves. American Journal of Biochemistry and Biotechnology, 9(1): 34-40.

Samman, S., Soto, C., Cooke, L., Ahmad, Z. and Farmakalidis, E. 1996. Is erythrocyte alkaline phosphatase activity a marker of zinc status in humans? Biological Trace Element Research, 51(3): 285-291.

Sharma, M.C., Joshi, C., Pathak, N.N. and Kaur, H. 2005. Copper status and enzyme, hormone, vitamin and immune function in heifers. Research in Veterinary Science, 79(2): 113-123.

Spears, J.W. and Kegley, E.B. 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.

Suttle, N.F. 2010. Mineral nutrition of livestock. CABI; 4th edition (October 19, 2010).

Teixeira, A.G.V., Lima, F.S., Bicalho, M.L.S., Kussler, A., Lima, S.F., Felippe, M.J. and Bicalho, R.C. 2014. Effect of an injectable trace mineral supplement containing selenium, copper, zinc, and manganese on immunity, health, and growth of dairy calves. Journal of Dairy Science, 97(7): 4216-4226.

Tiwari, S. P., Jain, R.K., Mishra, U. K., Mishra, O.P., Patel, J.R. and Rajagopal, S. 2000. Effect of trace mineral (mineral capsule) supplementation on nutrient utilization and rumen fermentation pattern in Sahiwal cows (Bos indicus). Indian Journal of Animal Sciences, 70(5): 504-507.

Tóthová, C., Nagy, O. and Kováč, G. 2014. Relationship between some variables of protein profile and indicators of lipomobilization in dairy cows after calving. Archives Animal Breeding, 57(1): 1-9.

Underwood, E.J. and Suttle, N.F. 1999. The Mineral Nutrition of Livestock (3th ed).

Vedovatto, M., Moriel, P., Cooke, R.F., Costa, D. S., Faria, F.J.C., Neto, I.M.C. and Franco, G.L. 2019. Effects of a single trace mineral injection on body parameters, ovarian structures, pregnancy rate and components of the innate immune system of grazing Nellore cows synchronized to a fixed-time AI protocol. Livestock Science, 225: 123-128.

Yamaguchi, M., Oishi, H. and Suketa, Y. 1988. Zinc stimulation of bone protein synthesis in tissue culture: activation of aminoacyl-tRNA synthetase. Biochemical Pharmacology, 37(21): 4075-4080.

Yamamoto, M., Oohashi, T., Katoh, N. and Oikawa, S. 2000. Increased serum concentration of apolipoprotein C-III and its greater distribution to chylomicrons than to the high-density lipoprotein fraction in a calf with hyperlipidemia. Journal of Veterinary Medical Science, 62(10): 1033-1039.

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

Yin, J., Li, X., Li, D., Yue, T., Fang, Q., Ni, J. and Wu, G. 2009. Dietary supplementation with zinc oxide stimulates ghrelin secretion from the stomach of young pigs. The Journal of Nutritional Biochemistry, 20(10): 783-790.

Wei, J., Ma, F., Hao, L., Shan, Q. and 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.

White, R., Giordano, S. and Datta, G. 2017. Role of HDL-associated proteins and lipids in the regulation of inflammation. Advances in Lipoprotein Research, 10: 67141.

Wu, A., Hinds, C. J. and Thiemermann, C. 2004. High-density lipoproteins in sepsis and septic shock: metabolism, actions, and therapeutic applications. Shock, 21(3): 210-221.

Zaboli, K. and Elyasi, M. 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. (In Persian).

Zimmermann, M. B. 2006. The influence of iron status on iodine utilization and thyroid function. Annual Review of Nutrition, 26(1): 367-389.