



RESEARCH PAPER

OPEN ACCESS

Effect of feeding inorganic and chelated supplements of trace elements on performance, nutrient digestibility, blood parameters, and fecal score of suckling Holstein calves

Gh. Khadem¹, T. Ghoorchi¹, A. Toghdory¹, K. Mehrani^{1*}, K. Amozadeh Araee¹

1. Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran

(Received: 12-05-2025 – Revised: 10-08-2025 – Accepted: 11-08-2025 – Available online: 03-09-2025)

Abstract

Introduction: Calf rearing is one of the most important and sensitive management programs in livestock farms. Calves are a key factor in profitability; therefore, using appropriate nutritional methods for better growth and health is crucial. One such method is transitioning calves earlier from milk feeding to a dry diet. Faster feeding of the starter diet and the development of rumen villi prepare the calf for the transition period and reduce labor and feeding costs. Early weaning shortens the liquid feeding period. Since calves are susceptible to diarrhea and digestive issues during this phase, reducing their duration can be highly beneficial. However, one of the most important points in the livestock industry is animal nutrition, which is directly related to the growth, health, and mortality of livestock. Therefore, to achieve proper growth and health of livestock to improve production efficiency in animal husbandry, new methods are needed in the livestock nutrition sector. This study was conducted to compare the effect of feeding chelated and mineral forms of trace elements (cobalt, iodine, selenium, zinc, manganese, iron, and copper) on performance, nutrient digestibility, blood parameters, and stool consistency of suckling Holstein calves.

Materials and methods: Thirty-six calves with an age of 7 ± 3 days and an initial body weight of 36.2 ± 3.8 kg were divided into three treatments and 12 replications in a completely randomized design. The treatments included: 1. Control group (without mineral supplement), 2. Feeding with two grams of mineral supplement per calf per day, and 3. Feeding with two grams of chelated supplement per calf per day. In the first three days of life, calves received colostrum at a rate of 10% of their body weight. From the fourth day to 60 days of age, they received four liters of milk twice a day (7 am and 7 pm). During the experiment, calves had free access to feed and water. To assess performance, calves were weighed on days 0, 30, and 60 to monitor weight changes. Feed intake and post-feeding were also recorded daily. The increase in feed intake was determined based on the remaining feed of each animal on the following day, so that if the animal left less than 10% of its own feed on three consecutive days, the feed intake was increased. This process continued until the end of the experiment. Feed conversion ratio was obtained from the ratio of the average dry matter intake of each calf to the average daily weight gain during the period. Fecal and feed samples were collected on days 55 to 59 for five days for digestibility tests. To measure blood parameters on day 60 of the study, fasting blood was drawn from the calf's jugular vein before morning feeding using heparinized venoject tubes. To assess the health index of the calves, the appearance of feces was assessed daily during the experiment. The feces score was scored daily for each calf as an indicator of animal health.

Results and discussion: According to the results of the present study, adding chelated supplements improved the weight at 30 days, 60 days, weight changes, daily weight gain from 1 to 30 days, and for the entire period ($P < 0.05$). There was no significant difference in body weight at 30 days or daily weight gain (1-30 days) between calves

* Corresponding author: katayoun.mehrani_s99@gau.ac.ir



receiving chelated and mineral supplements. Supplementing calf milk with chelated minerals increased total and daily dry matter intake, starter intake, and feed conversion ratio ($P<0.05$). The results of the present study showed that adding mineral supplements and chelated trace elements to calf milk improved the digestibility of dry matter, organic matter, crude fat, and neutral detergent insoluble fiber ($P<0.05$). However, no significant difference was observed between calves receiving trace elements. According to the results, adding mineral elements to calf milk increased blood glucose concentration ($P<0.05$). However, the addition of trace minerals had no significant effect on the concentrations of cholesterol, triglycerides, urea nitrogen, total protein, albumin, and globulin. Serum zinc concentrations in calves receiving mineral supplements were higher than in the other two groups ($P<0.05$), while this difference was not significant in calves receiving chelated supplements. Calves in the control and chelated supplements groups had the highest (2.30) and lowest (1.86) fecal score among the experimental treatments, respectively ($P<0.05$).

Conclusions: Overall, this study suggests that supplementing milk with chelated minerals, rather than inorganic sources, improves performance traits, enhances stool consistency, and positively influences key physiological parameters in suckling calves.

Keywords: Fecal score, Performance, Calves, Trace elements

Ethics statement: This study was conducted with the full consideration of animal welfare and the approval of this study was granted by the Ethics Committee of Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Iran.

Data availability statement: The data that support the findings of this study are available on request from the corresponding author.

Conflicts of interest: The authors declare no conflicts of interest.

Funding: The authors received no specific funding for this work.

How to cite this article:

Khadem, Gh., Ghoorchi, T., Toghdory, A., Mehrani, K., & Amozadeh Araee, K. (2025). Effect of feeding inorganic and chelated supplements of trace elements on performance, nutrient digestibility, blood parameters, and fecal score of suckling Holstein calves. *Animal Production Research*, 14(4), 95-106. doi: 10.22124/ar.2025.30644.1896



مقاله پژوهشی

اثر تغذیه مکمل‌های کیلاته و معدنی عناصر کم‌نیاز بر عملکرد، قابلیت هضم مواد مغذی، فراسنجه‌های خونی و قوام مدفوع گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

قاسم خادم^۱، تقی قورچی^۱، عبدالحکیم توغدیری^۱، کتایون مهرانی^{۱*}، کامل عموزاده آرائی^۱

۱- گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۲ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۱۹ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰ - تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۴/۰۶/۱۲)

چکیده

این پژوهش با هدف مقایسه اثر تغذیه شکل‌های کیلاته و معدنی عناصر کم‌مصرف (روی، مس، منگنز، کروم، سلنیوم و کبالت) بر عملکرد، قابلیت هضم مواد مغذی، فراسنجه‌های خونی و قوام مدفوع گوساله‌های شیرخوار هلشتاین انجام شد. بدین منظور، از گوساله‌هایی با سن 7 ± 3 روزگی و وزن بدن اولیه $36/2 \pm 3/8$ کیلوگرم، در سه تیمار و ۱۲ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. تیمارها شامل: ۱- شاهد (بدون مکمل مواد معدنی)، ۲- تغذیه با دو گرم مکمل معدنی به‌ازای هر رأس گوساله در روز و ۳- تغذیه با دو گرم مکمل کیلاته به‌ازای هر رأس گوساله در روز بودند. نتایج نشان داد افزودن مکمل کیلاته موجب بهبود وزن بدن در روزهای ۳۰ و ۶۰ آزمایش، افزایش وزن روزانه در دوره ۱ تا ۳۰ روزگی آزمایش و کل دوره و نیز بهبود عملکرد کلی رشد گوساله‌ها شد ($P < 0/05$). بین گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل کیلاته و معدنی از نظر وزن ۳۰ روزگی و افزایش وزن روزانه یک تا ۳۰ روزگی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. مکمل کردن شیر گوساله‌ها با مواد معدنی کیلاته سبب افزایش ماده خشک مصرفی کل و روزانه، استاتر مصرفی و ضریب تبدیل خوراک شد ($P < 0/05$). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزودن مکمل معدنی و کیلاته عناصر کم‌مصرف به شیر گوساله‌ها سبب بهبود قابلیت هضم ماده خشک، ماده آلی، چربی خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی شد ($P < 0/05$). افزودن عناصر معدنی به شیر باعث افزایش غلظت گلوکز خون شد ($P < 0/05$)، در حالی که تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلسترول، تری‌گلیسرید، نیتروژن اوره‌ای، پروتئین کل، آلبومین و گلوبولین نداشت. غلظت روی سرم در گروه دریافت‌کننده مکمل معدنی بیشتر از سایر گروه‌ها بود ($P < 0/05$)، در حالی که این اختلاف با گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل کیلاته معنی‌دار نبود. گوساله‌های گروه شاهد و مکمل کیلاته، به‌ترتیب بیشترین ($2/30$) و کمترین ($1/86$) نمره قوام مدفوع را بین تیمارهای آزمایشی داشتند ($P < 0/05$). به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که افزودن مکمل مواد معدنی با منبع کیلاته و غیرآلی به شیر مصرفی می‌تواند موجب بهبود عملکرد، وضعیت قوام مدفوع و فراسنجه‌های اندازه‌گیری شده در گوساله‌های شیرخوار نسبت به گروه شاهد شود.

واژه‌های کلیدی: اسکور مدفوع، عملکرد، گوساله، مواد معدنی کم‌مصرف

* نویسنده مسئول: katayoun.mehrani_s99@gau.ac.ir

مقدمه

انجام شده به‌وسیله Jacometo et al. (2015). تغذیه گاوهای آبستن با مکمل‌های آلی عناصر معدنی در ماه آخر آبستنی منجر به تولد گوساله‌هایی با رشد اسکلتی بهتر و سیستم ایمنی قوی‌تر شد.

مواد معدنی به‌طور عمده برای رشد عضلات، عملکرد سیستم عصبی و فعالیت آنزیم‌ها و هورمون‌ها ضروری هستند. نیاز دام به این عناصر به عواملی نظیر سن، اندازه بدن و وضعیت فیزیولوژیکی (مانند آبستنی، رشد یا شیردهی) بستگی دارد. با این حال، جذب این مواد نسبت به سایر مواد مغذی کمتر بوده و کمبود آن‌ها که اغلب به‌صورت بالینی ظاهر نمی‌شود، می‌تواند مشکلات جدی‌تری نسبت به کمبودهای بالینی ایجاد کند (Kinal et al., 2007). ترکیبات آلی مواد معدنی، نقشی کلیدی در بهبود جذب این مواد از دستگاه گوارش دارند. کیلات‌های معدنی با جلوگیری از تبدیل عناصر به شکل‌های غیرمحلول و کاهش تأثیر کلونیدهای بازدارنده جذب، موجب افزایش فراهمی‌زیستی می‌شوند. از دیگر مزایای مصرف مواد معدنی آلی، کاهش دفع این عناصر از راه مدفوع و در نتیجه، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی است (Spears, 1996). تحقیقات نشان داده‌اند که منابع آلی مواد معدنی، در مقایسه با منابع معدنی غیر آلی، تأثیر بهتری بر تقویت سیستم ایمنی و افزایش تولید شیر دارند (Wang et al., 2013). آزمایش‌های متعددی برای بررسی اثر منابع آلی مواد معدنی بر رشد و سلامت گوساله‌ها انجام شده‌اند. نتایج نشان داده است که این منابع در مقایسه با منابع غیر آلی، رشد اسکلتی و راندمان خوراک گوساله‌ها را در شرایط رشد سریع بهبود می‌بخشد (Osorio et al., 2012). همچنین، مصرف مکمل‌های آلی عناصر کم‌نیاز مانند سلنیوم آلی و مخمر سلنیوم سبب بهبود انتقال سلنیوم از مسیر جفت و شیر به گوساله‌ها و تقویت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها می‌شود (Ortman & Pehrson, 1999; Mudgal et al., 2019). پژوهش‌ها همچنین نشان داده‌اند که افزودن مکمل‌های معدنی به جیره می‌تواند غلظت عناصر کلیدی مانند کبالت، مس و روی را در کبد افزایش داده و در نتیجه، عملکرد و سلامت دام را ارتقاء بخشد (Marques et al., 2016). مطالعات نشان می‌دهد که مکمل‌سازی شیر مصرفی گوساله‌های تازه متولدشده با عناصری مانند روی (Glover et al., 2020; Chang et al., 2013) و سلنیوم (Chang et al., 2020) موجب کاهش بروز اسهال و بهبود عملکرد رشد

پرورش گوساله از مهم‌ترین و حساس‌ترین برنامه‌های مدیریتی در دامداری‌ها به شمار می‌رود، زیرا گوساله‌ها از عوامل اصلی سودآوری در واحدهای دامپروری هستند. به همین جهت، به‌کارگیری روش‌های تغذیه‌ای مناسب به‌منظور ارتقاء رشد و سلامت بهتر آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Bretschneider et al., 2008). یکی از این روش‌ها، انتقال زود هنگام گوساله‌ها از تغذیه با شیر به جیره خشک است. تغذیه سریع‌تر جیره آغازین و توسعه پرزهای شکمبه، آمادگی گوساله را برای دوره انتقال فراهم کرده و سبب کاهش هزینه کارگری و تغذیه می‌شود (Anderson et al., 1987; Osorio et al., 2012). شیرگیری زود هنگام، علاوه بر کاهش مدت زمان وابستگی به خوراک مایع، به دلیل کاهش بروز مشکلات گوارشی همچون اسهال، از مزایای زیادی برخوردار است و نیازمند استفاده از راهکارهای نوین تغذیه‌ای است (Hess et al., 2008). در پرورش گوساله‌ها، با وجود تأمین انرژی و پروتئین مورد نیاز، گاهی رشد مطلوب حاصل نمی‌شود که یکی از دلایل آن، عدم تأمین کافی عناصر معدنی در جیره است. به همین دلیل، تأمین عناصر کم‌نیاز معدنی در ابتدای تولد برای حفظ سلامت و دستیابی به عملکرد بهینه ضروری است (Spears & Weiss, 2008). وجود عناصر معدنی به میزان موردنیاز و کافی جهت تولید محصولات مختلف، رشد و نگهداری در دام و طیور ضروری است (Underwood & Suttle, 1999). کمبود این عناصر می‌تواند منجر به بروز بیماری‌ها و اختلالات متعددی در گوساله‌ها شود. برای مثال، کمبود سلنیوم به بیماری عضله سفید، کمبود ید به گواتر و کمبود آهن به کم‌خونی منجر می‌شود. همچنین، کمبود مس، روی و سلنیوم می‌تواند سبب کاهش انتقال ایمنوگلوبولین‌های آغوز و تضعیف سیستم ایمنی شود. به‌طور کلی، در گله‌هایی که با فقر عناصر معدنی مواجه هستند، وقوع اسهال در گوساله‌ها رایج‌تر است (Enjalbert et al., 2009). در مطالعه Teixeira et al. (2014)، تزریق ترکیبی از عناصر معدنی کم‌مصرف (سلنیوم، مس، روی و منگنز) به گوساله‌ها سبب افزایش فعالیت نوتروفیل‌ها و گلوکوتائین پراکسیداز و کاهش علائم اسهال و پنومونی شد. همچنین، مشخص شده است که این عناصر علاوه بر آثار ایمنی و سلامت، در رشد و توسعه شکمبه نیز نقش دارند. در بررسی

به منظور تعیین مصرف روزانه خوراک، خوراک داده شده و باقی مانده خوراک برای هر دام در هر روز توزین و ثبت می شد. مصرف روزانه خوراک برای هر دام از تفاوت میان خوراک ارائه شده و باقی مانده آن در روز بعد محاسبه شد. میانگین مصرف خوراک برای هر تیمار نیز بر اساس میانگین مصرف روزانه دام های آن تیمار در طول دوره محاسبه شد. همچنین، افزایش مقدار خوراک داده شده به دام ها بر اساس پس آخور هر دام در روز بعد مشخص می شد، به طوری که اگر دام در سه روز متوالی پس آخور کمتر از ۱۰ درصد از خود باقی می گذاشت، خوراک دام افزایش می یافت. این روند تا پایان دوره آزمایش ادامه یافت. وزن کشتی گوساله ها در روز صفر، ۳۰ و ۶۰ آزمایش به صورت ناشتا، پس از ۱۶ ساعت گرسنگی با استفاده از باسکول دیجیتال صورت گرفت. افزایش وزن روزانه با تقسیم تغییرات وزن در بازه زمانی مشخص بر تعداد روزهای آن بازه محاسبه شد. همچنین، ماده خشک مصرفی، افزایش وزن روزانه، وزن نهایی و ضریب تبدیل خوراک برای هر دام و تیمار محاسبه شد. ضریب تبدیل خوراک از نسبت میانگین ماده خشک مصرفی هر گوساله به میانگین افزایش وزن روزانه طی دوره به دست آمد.

برای اندازه گیری قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی از نشانگر داخلی خاکستر نامحلول در اسید (AIA) استفاده شد (Van Keulen & Young, 1977). طی مدت سه روز پایانی آزمایش، نمونه هایی از رکتوم گوساله ها جمع آوری شده و با یکدیگر مخلوط شدند و یک نمونه ۱۰۰ گرمی مدفوع جهت تجزیه شیمیایی در نایلون پلاستیکی پرسی گذاشته و درب آن را بسته و در برودت ۲۰- درجه سلسیوس فریز شد. سپس، درصد ماده خشک، ماده آلی و الیاف نامحلول در شونده خنثی نمونه ها در آزمایشگاه بر اساس روش های AOAC (2005) و Van Soest et al. (1991) تعیین شد. در نهایت، قابلیت هضم مواد مغذی با استفاده از فرمول های مربوط به آزمون های گوارشی محاسبه شد.

$$\text{درصد ماده مغذی در مدفوع} \times \frac{\text{درصد AIA در خوراک}}{100 - (100 \times \text{درصد قابلیت هضم ظاهری در صد ماده مغذی در خوراک})} = \text{درصد قابلیت هضم ظاهری}$$

در روز پایانی آزمایش و پیش از وعده غذایی صبح، نمونه خون به میزان ۱۰ میلی لیتر از ورید گردن هر دام بدون استفاده از ماده ضد انعقاد گرفته شد و بلافاصله در فلاسک حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل شد. لوله ها در $g \times 3000$ به مدت ۱۰ دقیقه برای جداسازی سرم، سانتریفیوژ شد.

آن ها می شود. از آنجایی که تحقیقات انجام شده در مورد تأثیر عناصر معدنی کیلات شده با اسیدهای آلی محدود هستند، این مطالعه با هدف ارزیابی تأثیر تغذیه مکمل های کیلاته (لیگاند با اسید سیتریک) و معدنی (بر پایه سولفات) عناصر کم نیاز بر عملکرد، قابلیت هضم مواد مغذی، فراسنجه های خونی و قوام مدفوع گوساله های شیرخوار هلشتاین انجام شد.

مواد و روش ها

این تحقیق در واحد پرورش گاو شیری مهرماندگار واقع در شهرستان گرگان انجام شد. در این پژوهش از ۳۶ رأس گوساله ماده شیرخوار نژاد هلشتاین با سن 3 ± 7 روزگی و وزن بدن اولیه $3/8 \pm 36/2$ کیلوگرم در سه تیمار و ۱۲ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی به مدت ۶۰ روز استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل: تیمار ۱- شاهد (بدون دریافت مکمل مواد معدنی)، تیمار ۲- تغذیه روزانه با دو گرم مکمل معدنی به ازای هر رأس گوساله و تیمار ۳- تغذیه روزانه با دو گرم مکمل کیلاته به ازای هر رأس گوساله بودند. در این پژوهش، گوساله ها در جایگاه انفرادی با کف بتنی و دارای بستری از کلس که قبلاً شعله افکنی و ضد عفونی شده، نگهداری شدند. گوساله ها طی زمان شیرخوارگی، روزانه با دو وعده شیر کامل (چهار لیتر) به میزان ۱۰ درصد وزن بدن تغذیه شدند. تمام گوساله ها در شرایط یکسان مدیریتی و تغذیه ای قرار گرفته و خوراک آغازین به اضافه یونجه (نسبت ۹۰ به ۱۰ کنسانتره به علوفه) در اختیار گوساله ها قرار داده شد و میزان مصرف روزانه آن ها ثبت شد به طوری که مقدار خوراک در آخور گوساله ها بین ۵ تا ۱۰ درصد وجود داشت. خوراک هر روز راس ساعت هفت صبح و چهار عصر، پس از توزین در اختیار گوساله ها قرار گرفت. همچنین، آب تمیز به صورت آزاد طی آزمایش در اختیار گوساله ها قرار داشت. درصد مواد خوراکی و مقدار مواد مغذی جیره تیمارها در جدول ۱ ارائه شده است.

مکمل های مورد نیاز این پژوهش از شرکت آسا تهیه شد و سپس به انبار خوراک منتقل شد و پس از ترکیب با شیر به گوساله ها خوراند. مکمل کیلاته بر پایه اسیدسیتریک و همچنین، نوع معدنی آن ها بر پایه سولفات بوده است. مکمل به ترتیب حاوی عناصر روی (۴۰۰۰)، مس (۷۰۰)، منگنز (۲۰۰۰)، کروم (۶۵۰)، سلنیوم (۱۸۰) و کبالت (۲۰۰) بر حسب پی پی ام بوده است.

معدنی کیلاته سبب بهبود ماده خشک مصرفی کل و روزانه و استاتر مصرفی شد ($P < 0.05$). از نظر ضریب تبدیل خوراک، گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل کیلاته و معدنی بهتر از گوساله‌های شاهد بودند ($P < 0.05$). Spears (1996) گزارش کرد که استفاده از شکل غیرمعدنی عناصر کم‌مصرف در جیره دام‌های در حال رشد، به علت زیست‌فراهمی بالا، منجر به عملکرد رشد بهتر آن‌ها می‌شود. منطبق با نتایج پژوهش حاضر، Mousavi-Haghshenas et al. (2022) بیان کردند که مکمل کردن جیره با عناصر معدنی کیلاته کم‌مصرف (کبالت، کروم، مس، آهن، روی و سلنیوم) باعث افزایش نرخ رشد در گوساله‌های شیرخوار شد. در پژوهش حاضر نیز مشاهده شد که افزودن مکمل زیست‌با به شیر گوساله‌ها، تأثیر مثبتی بر نرخ رشد دارد که این اثر در مکمل کیلاته مشهودتر بود. در پژوهشی، Feldmann et al. (2019) گوساله‌های تازه به دنیا آمده را به مدت دو هفته با دو منبع مختلف عنصر روی به صورت غنی‌سازی در شیر مصرفی مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند مکمل کردن شیر با ۸۰ میلی‌گرم عنصر روی به صورت سولفات روی یا روی-متیونین منجر به بهبود افزایش وزن در گوساله‌ها شد. افزایش ماده خشک مصرفی در دوره پیش از شیرگیری در گوساله‌های شیرخوار از اهمیت زیادی برخوردار است. در همین راستا، Stamey et al. (2012) همبستگی بالایی بین میزان ماده خشک مصرفی در دوره قبل از شیرگیری و افزایش وزن پس از شیرگیری گزارش کردند. منطبق با نتایج پژوهش حاضر، Spears (1996) بیان کرد که گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل روی آلی (پیوند شده با اسید آلی)، نسبت به گروه دریافت‌کننده مکمل سولفات روی، خوراک آغازین بیشتری مصرف کردند. Zarbalizadeh-Saed et al. (2020) گزارش کردند که تغذیه بلوس‌های آهسته‌رشد سلنیوم و ید سبب افزایش وزن روزانه بره‌ها شد که منطبق بر پژوهش حاضر بود.

برخی از پژوهشگران گزارش کردند که مصرف خوراک آغازین بین گوساله‌های دریافت‌کننده مواد معدنی آلی یا غیرآلی، مانند کبالت، منگنز، مس، آهن (Osorio et al., 2012; Gelsinger et al., 2016) و روی (Chang et al., 2020)، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (Alijani et al., 2020). Mallaki et al. (2015) گزارش کردند که استفاده

غلظت گلوکز، تری‌گلیسیرید، کلسترول و نیتروژن اوره‌ای خون به وسیله کیت‌های تجاری دلتادرمان فارس با استفاده از اتوانالایزر (مدل BT 1500) ساخت کشور ایتالیا اندازه‌گیری شد.

به منظور بررسی شاخص سلامتی گوساله‌ها طی مدت آزمایش، شکل ظاهری مدفوع به صورت روزانه مورد ارزیابی قرار گرفت. امتیازدهی قوام مدفوع به عنوان شاخص سلامت دام به صورت روزانه برای هر یک از گوساله‌ها در نظر گرفته شد. امتیاز مدفوع شامل چهار امتیاز به ترتیب از یک تا چهار به شرح زیر انجام شد: امتیاز یک برای مدفوع طبیعی (مدفوع طبیعی محکم که شکل فیزیکی آن بعد از افتادن در جایگاه حفظ شود)، امتیاز دو برای مدفوع نرم (مدفوعی کپه‌ای که پس از افتادن در جایگاه پخش شود و بخش جامد از مایع بیشتر است)، امتیاز سه برای مدفوع شل (مدفوعی که پس از افتادن در جایگاه پخش شود و بخش مایع و جامد آن برابر باشد و روی زمین جاری شود) و امتیاز چهار برای مدفوع آبکی (مدفوعی که آبکی و موکوسی باشد) در نظر گرفته شد (Larson et al., 1997). در صورتی که نمره مدفوع به طور متوسط برای سیالیت و قوام مدفوع ≥ 3 باشد، یک روز اسهال برای آن گوساله ثبت می‌شود.

داده‌های به دست آمده در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار و ۱۲ تکرار با استفاده از نرم‌افزار SAS (2004) (نسخه ۹/۱) تجزیه آماری شد. داده‌های مربوط به عملکرد رشد دام‌ها، امتیاز قوام مدفوع، قابلیت هضم مواد مغذی و فراسنجه‌های خونی با استفاده از رویه GLM تجزیه و تحلیل شدند. همچنین، میانگین تیمارها با آزمون دانکن در سطح معنی‌داری برابر با پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

اطلاعات مربوط به عملکرد گوساله‌های شیرخوار دریافت‌کننده مکمل عناصر کم‌مصرف در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، افزودن مکمل کیلاته سبب بهبود وزن سی روزگی، شصت روزگی، افزایش وزن روزانه در بازه‌های یک تا سی روزگی و یک تا شصت روزگی آزمایش و نیز افزایش تغییرات وزنی گوساله‌های شیرخوار شد ($P < 0.05$)، در حالی که بین گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل کیلاته و معدنی از نظر وزن روز سی‌ام، و افزایش وزن روزانه طی سی روز اول آزمایش، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. مکمل کردن شیر گوساله‌ها با مواد

جدول ۱- مواد خوراکی تشکیل دهنده و ترکیب شیمیایی جیره گوساله‌های شیرخوار

Table 1. Ingredients and chemical composition of suckling calf diets

Feed components (% DM)	%	Chemical compounds	%
Alfalfa	10.00	Dry matter (%)	0.89
Barley grain	10.00	Crude protein (%)	21.75
Corn grain	40.00	Crude fat (%)	2.24
Wheat bran	5.00	Acid detergent fiber (%)	7.48
Soybean meal	32.00	Neutral detergent fiber (%)	21.35
Vitamin-mineral supplement ¹	1.00	Ash (%)	3.89
Toxin binder	1.00	Metabolizable energy (Mcal/kg)	2.86
Sodium bicarbonate	1.00		

¹ Vitamin and mineral premix provided per kilogram of ration: Vitamin A: 1000000 IU, Vitamin D₃: 250000 IU, Vitamin E: 3000 IU, Magnesium: 32000 mg, Manganese: 10000 mg, Zinc: 10000 mg, Copper: 300 mg, Selenium: 100 mg, Calcium: 100 mg, Iron: 3000 mg, Cobalt: 100 mg, Phosphorus: 30000 mg, Monensin: 1500 mg, Antioxidant 100 mg.

مصرف کمتر آن‌ها به‌وسیله دام می‌شود. بهبود زیست‌فراهمی و کاهش پراکسیداسیون ناشی از استفاده از مکمل‌های کیلاته، در نهایت موجب بهبود افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک می‌شود (Osorio et al., 2012; Spears et al., 2014). در مجموع، عملکرد دام تابعی از میزان خوراک مصرفی، قابلیت هضم جیره، تخمیر شکمبه‌ای و توانایی سوخت‌وساز مواد مغذی در بدن است (McDonald et al., 2011).

جدول ۳، تغییرات قابلیت هضم مواد مغذی و قوام مدفوع گوساله‌های شیرخوار هلشتاین طی آزمایش را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، افزودن مکمل معدنی و کیلاته عناصر کم‌مصرف به شیر گوساله‌ها سبب بهبود قابلیت هضم ماده خشک، ماده آلی، چربی خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی شد ($P < 0.05$). هر چند، بین گوساله‌های دریافت‌کننده عناصر کم‌مصرف، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. گوساله‌های گروه شاهد و مکمل کیلاته به-ترتیب بیشترین (۲/۳۰) و کمترین (۱/۸۶) نمره قوام مدفوع را بین تیمارهای آزمایشی داشتند ($P < 0.05$).

تأثیر مفید و اثرگذار بر ماده خشک مصرفی در گوساله‌هایی که از مکمل مواد معدنی کیلاته استفاده کردند، ممکن است به‌علت افزایش قابلیت هضم مواد مغذی در گوساله‌هایی که از منابع معدنی کیلاته تغذیه می‌کردند در مقایسه با آن‌هایی که از منابع معدنی غیر آلی مصرف می‌کردند باشد (Abdollahi et al., 2020). زیست‌فراهمی بیشتر مواد معدنی کیلاته و استفاده و تخمیر سریع به‌وسیله میکروارگانیزم‌های شکمبه می‌تواند قابلیت هضم مواد مغذی را بهبود بخشد (Juniper et al., 2019). جیره‌های با مقادیر زیاد نشاسته به علت کمبود مواد معدنی کم‌مصرف،

از شکل‌های مختلف عنصر روی (اسید آلی، سولفات و نانوآکسید روی) تأثیری بر افزایش وزن روزانه و تغییرات وزنی بره‌ها نداشت. در تضاد با نتایج حاضر، Ryan et al. (2015) و Mandal et al. (2007) گزارش کردند که مکمل معدنی حاوی عناصر منگنز، مس و روی، تأثیر معنی‌داری بر میانگین افزایش وزن روزانه، خوراک آغازین مصرفی و وزن بدن گوساله‌ها نداشت. (Chang et al., 2020). تفاوتی در مصرف خوراک آغازین در دو هفته اول زندگی بین تیمار شاهد و تیمارهای دریافت‌کننده روی-متیونین یا اکسید روی گزارش نکردند. همچنین، در پژوهشی که Osorio et al. (2012) روی گوساله‌های شیرخوار با دو منبع آلی و غیرآلی مواد معدنی کم‌مصرف شامل منگنز، مس و روی از سن کمتر از هفت روز انجام دادند، گزارش کردند که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی از نظر خوراک آغازین مصرفی در چهارده روز اول و هفته نهم زندگی مشاهده نشد. هر چند، مصرف خوراک آغازین در هفته سوم تا هشتم زندگی، اختلاف معنی‌داری را بین تیمارهای آزمایشی نشان داد.

به‌طور کلی، افزایش مصرف خوراک در این پژوهش می‌تواند به زیست‌فراهمی بیشتر و اثربخشی بالاتر مکمل‌های آلی نسبت داده شود، یعنی عواملی که می‌توانند موجب بهبود وضعیت سلامت، افزایش رشد دستگاه گوارش و بهبود عملکرد گوساله‌ها شوند. نتایج پژوهش Spears & Weiss (2014) نشان می‌دهد که مصرف منابع متفاوت عنصر روی (اکسید روی، روی کیلات شده با اسید آمینه و روی لاکتات) سبب رشد بافت اپیتلیوم شکمبه بزغاله‌ها شد. از طرف دیگر، شکل‌های غیرآلی مواد معدنی، اغلب به‌صورت سولفات‌ها و اگزالات‌ها مصرف می‌شوند و خوش‌خوراکی کمتری دارند (Ma et al., 2020) و احتمالاً این امر سبب

جدول ۲- اثر افزودن مکمل عناصر کم‌مصرف بر عملکرد گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

Table 2. Effect of micronutrient supplementation on the performance of Holstein suckling calves

Item	Experimental diets			SEM	P-value
	Control	Mineral supplement	Chelate supplement		
Initial body weight (kg)	35.99	36.61	37.74	0.641	0.164
Weight on day 30 (kg)	44.02 ^b	47.30 ^{ab}	49.97 ^a	1.138	0.003
Weight on day 60 (kg)	66.59 ^c	75.05 ^b	81.09 ^a	0.754	<0.0001
Body weight changes (kg)	30.60 ^c	38.44 ^b	43.35 ^a	0.390	<0.0001
1-30-day daily weight gain (kg/day)	0.267 ^b	0.356 ^{ab}	0.407 ^a	0.026	0.005
Total daily weight gain (kg/day)	0.510 ^c	0.640 ^b	0.722 ^a	0.005	<0.0001
Total dry matter intake (kg)	41.15 ^c	46.85 ^b	54.16 ^a	0.459	<0.0001
Daily starter intake (kg)	0.686 ^c	0.780 ^b	0.903 ^a	0.005	<0.0001
Dry matter intake (kg)	1.161 ^c	1.255 ^b	1.378 ^a	0.007	<0.0001
Feed conversion ratio	1.34 ^a	1.25 ^b	1.21 ^b	0.011	<0.0001

^{a-c} Different superscript letters in the same row represent a significant difference ($P < 0.05$).

SEM: Standard error of the means

Dry matter intake = Starter + Milk

Daily weight gains from day 1 to 30 of the experiment

Feed conversion ratio = Total dry matter intake / Body weight changes

Body weight changes = Weight on day 60 - Weight on day 0 of the experiment

داده و قوام مدفوع را بهبود بخشد (Brugger & Windisch, 2017). مواد معدنی کیلاته به دلیل زیست‌فراهمی بالاتر، آثار مثبت‌تری بر سلامت گوساله‌ها دارند. علاوه بر این، این ترکیبات بر مسیرهای آنتی‌اکسیدانی مؤثر هستند و با حفظ یکپارچگی ساختاری سلول‌های اپیتلیال در مقابل عفونت‌ها، پاسخ ایمنی دام را بالا نگه می‌دارد (Nemec et al., 2012). به‌عنوان مثال، (Brugger & Windisch, 2017) بیان کردند که عنصر روی در تعدیل پاسخ‌های التهابی و رشد میکروبیوتای روده مؤثر است و در دام‌هایی که دچار کمبود روی بودند، التهاب و عفونت افزایش یافت. (Ma et al., 2018) گزارش کردند که مکمل روی متیونین، یکپارچگی سد مخاط روده را بهبود می‌بخشد. نشان داده شده است که تغذیه مکمل آهن آلی در گوساله‌های شیرخوار سبب کاهش معنی‌دار امتیاز مدفوع، تعداد گوساله‌های مبتلا به اسهال و میانگین روزهای ابتلا به اسهال شد (Ghavidel et al., 2024).

اطلاعات مربوط به غلظت فراسنجه‌های خونی گوساله‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به نتایج، اضافه کردن عناصر معدنی به شیر گوساله‌ها سبب افزایش غلظت گلوکز خون شد ($P < 0.05$)، به طوری که بیشترین مقدار گلوکز (۹۲/۰۸ میلی‌گرم/دسی‌لیتر) و کمترین مقدار (۷۷/۹۱ میلی‌گرم/دسی‌لیتر) آن به ترتیب در گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل کیلاته و شاهد مشاهده شد، در حالی که افزودن عناصر معدنی کم‌مصرف، تأثیر معنی‌داری بر

می‌تواند هضم سلولز را کاهش دهند (Kargar et al., 2018). در چنین شرایطی، باکتری‌های تجزیه‌کننده نشاسته که در گوساله‌های مصرف‌کننده جیره‌های آغازین غنی از غلات فعال‌تر هستند، از عناصر معدنی کم‌مصرف استفاده می‌کنند. این امر می‌تواند موجب افزایش رقابت بین میکروارگانیسم‌ها برای این عناصر شده و در نتیجه، مقدار کافی از عناصر معدنی برای باکتری‌های سلولولیتیک باقی نمی‌ماند (Mousavi-Haghshenas et al., 2022). گزارش‌ها نشان می‌دهند که مواد معدنی آلی و کیلاته نه تنها به صورت مؤثرتری به وسیله باکتری‌های آمیلولیتیک استفاده می‌شوند، بلکه مواد آلی نیز با سرعت بالاتری در شکمبه تخمیر می‌شوند و در نتیجه، قابلیت هضم مواد مغذی و مصرف ماده خشک افزایش می‌یابد (Ma et al., 2020). (Chen et al., 2020) گزارش کردند که در گاوهای خشک دریافت‌کننده مکمل متیونین-روی، جمعیت باکتری‌های شکمبه افزایش یافته، مصرف ماده خشک بهبود یافته و غلظت آمونیاک شکمبه کاهش می‌یابد.

نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر نشان داد که مکمل کردن شیر با مواد معدنی کیلاته کم‌مصرف سبب کاهش معنی‌دار علائم اسهال و همچنین، افزایش قوام مدفوع در گوساله‌های شیرخوار شد. مواد معدنی مانند روی، مس و سلنیوم، نقش مهمی در کاهش رادیکال‌های آزاد و بهبود سطح ایمنی دام دارند. همچنین، نشان داده شده است که اضافه کردن عناصری مانند روی و مس به شیر یا جیره گوساله‌های شیرخوار می‌تواند فلور میکروبی روده را تغییر

است که مصرف جیره آغازین، معیار مناسبی جهت توسعه و رشد شکمبه به شمار می‌آید (Vi et al., 2004; Suarez-Mena et al., 2011). افزایش ماده خشک مصرفی، شرایط مطلوب‌تری برای تخمیر در شکمبه و تولید اسیدهای چرب فرار فراهم می‌کند و در نتیجه این امر، گلوکز بیشتری در خون گوساله‌هایی که از مواد معدنی کیلاته تغذیه کرده بودند مشاهده شد (Suarez-Mena et al., 2017). علاوه بر این، مواد معدنی اجزای اصلی بسیاری از متالوآزیم‌ها و پروتئین‌ها هستند که در سوخت و ساز کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک نقش دارند. زیست‌فراهمی بالاتر و کاهش آنتاگونیسم بین منابع معدنی می‌تواند از بروز کمبودهای تحت بالینی جلوگیری کرده و سوخت‌وساز کربوهیدرات‌ها را افزایش دهد که این امر منجر به افزایش غلظت گلوکز می‌شود. همچنین، Suarez-Mena et al. (2017) گزارش کردند گلوکز خون با افزایش مصرف جیره آغازین در دوران از شیرگیری افزایش یافت. در فرآیند تخمیر جیره آغازین در شکمبه، اسیدهای چرب فراری مانند پروپیونات تولید می‌شود که پیش‌ساز اصلی ساخت گلوکز به‌شمار می‌آید.

غلظت کلسترول، تری‌گلیسرید، نیتروژن اوره‌ای، پروتئین کل، آلبومین و گلوبولین نداشت. غلظت فراسنجه‌های خونی معیاری برای ارزیابی تأمین مواد مغذی در بدن است که نشان‌دهنده وضعیت تغذیه‌ای در بازه زمانی مشخصی است (Pambu-Gollah et al., 2000). در بررسی تأثیر مکمل روی آلی بر گوسفند، مشاهده شد که غلظت پروتئین کل در گروه‌های دریافت‌کننده روی متیونین، تفاوت معنی‌داری با گروه بدون مکمل نداشتند (Sethy et al., 2018) که همسو با نتیجه تحقیق حاضر بود. عناصری مانند مس، روی و سلنیوم (Cortinhas et al., 2012) و روی، مس، سلنیوم، کروم، منگنز، کبالت، آهن و گوگرد (Del Valle et al., 2015) در جیره گاوهای شیرده بررسی شد و گزارش کردند که غلظت آلبومین و پروتئین کل خون تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت. در راستای نتایج مطالعه حاضر، Moazeni Zadeh et al. (2022) گزارش کردند استفاده از مکمل مواد معدنی روی، مس، آهن و منگنز در جیره آغازین و شیر گوساله‌های هلشتاین، تأثیر معنی‌داری بر غلظت پروتئین کل، تری‌گلیسرید، کلسترول و اوره خون نداشت. ثابت شده

جدول ۳- اثر افزودن مکمل عناصر کم‌مصرف بر قابلیت هضم مواد مغذی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین (درصد)

Table 3. Effect of micronutrient supplementation on nutrient digestibility of suckling Holstein calves (%)

Item	Experimental diets			SEM	P-value
	Control	Mineral supplement	Chelate supplement		
Dry matter	78.22 ^b	82.59 ^a	83.48 ^a	0.716	<0.0001
Organic matter	70.92 ^b	77.03 ^a	78.29 ^a	0.621	<0.0001
Ether extract	68.31 ^b	73.71 ^a	73.46 ^a	0.484	<0.0001
Neutral detergent fiber	56.46 ^b	65.23 ^a	65.39 ^a	0.653	<0.0001
fecal score	2.30 ^a	2.02 ^{ab}	1.86 ^b	0.083	0.004

^{a-b} Different superscript letters in the same row represent a significant difference ($P < 0.05$).

SEM: Standard error of the means

جدول ۴- اثر افزودن مکمل عناصر کم‌مصرف بر فراسنجه‌های خونی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

Table 4. Effect of micronutrient supplementation on blood parameters of suckling Holstein calves

Item	Experimental diets			SEM	P-value
	Control	Mineral supplement	Chelate supplement		
Glucose (mg/dL)	77.91 ^b	87.16 ^a	92.08 ^a	1.719	<0.0001
Cholesterol (mg/dL)	134.41	133.16	140.91	4.569	0.074
Triglyceride (mg/dL)	36.75	35.83	39.08	2.540	0.062
Urea (mg/dL)	21.16	19.00	21.41	1.049	0.216
Total protein (g/dL)	5.65	5.63	5.67	0.121	0.986
Albumin (g/dL)	3.47	3.42	3.51	0.046	0.409
Globulin (g/dL)	2.20	2.15	2.05	0.106	0.580

^{a-b} Different superscript letters in the same row represent a significant difference ($P < 0.05$).

SEM: Standard error of the means

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن مکمل کیلاته مواد معدنی کم‌مصرف به شیر مصرفی گوساله‌های شیرخوار سبب بهبود نرخ رشد می‌شود. همچنین، افزودن مکمل کیلاته عناصر معدنی به شیر، تأثیر مثبتی بر شاخص سلامتی و افزایش میزان مصرف خوراک آغازین در

گوساله‌ها داشت. اضافه کردن مکمل کیلاته منجر به افزایش غلظت گلوکز شد. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که افزودن مکمل مواد معدنی با منبع کیلاته و غیرآلی به شیر مصرفی گوساله‌های شیرخوار نسبت به گروه شاهد سبب بهبود صفات عملکرد، افزایش قوام مدفوع و فراسنجه‌های اندازه‌گیری شده در گوساله‌های شیرخوار می‌شود.

فهرست منابع

- 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. doi: 10.1080/1745039X.2019.1690389
- Alijani, K., Rezaei, J., & Rouzbehan, Y. (2020). Effect of nano-ZnO, compared to ZnO and Zn-methionine, on performance, nutrient status, rumen fermentation, blood enzymes, ferric reducing antioxidant power and immunoglobulin G in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 267, 114532. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114532
- Anderson, K. L., Nagaraja, T. G., & Morrill, J. L. (1987). Ruminal metabolic development in calves weaned conventionally or early. *Journal of Dairy Science*, 70(5), 1000-1005. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(87)80105-4
- AOAC. (2005). Official Method of Analysis, 15 ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, USA.
- Bretschneider, G., Elizalde, J. C., & Pérez, F. A. (2008). The effect of feeding antibiotic growth promoters on the performance of beef cattle consuming forage-based diets: A review. *Livestock Science*, 114(2-3), 135-149. doi: 10.1016/j.livsci.2007.12.017
- Brugger, D., & Windisch, W. M. (2017). Strategies and challenges to increase the precision in feeding zinc to monogastric livestock. *Animal Nutrition*, 3(2), 103-108. doi: 10.1016/j.aninu.2017.03.002
- Chang, M. N., Wei, J. Y., Hao, L. Y., Ma, F. T., Li, H. Y., Zhao, S. G., & 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. doi: 10.3168/jds.2019-17610
- Chen, F., Li, Y., Shen, Y., Guo, Y., Zhao, X., Li, Q., ... & Li, J. (2020). Effects of prepartum zinc-methionine supplementation on feed digestibility, rumen fermentation patterns, immunity status, and passive transfer of immunity in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(10), 8976-8985. doi: 10.3168/jds.2019-17991
- Cortinhas, C. S., Freitas Júnior, J. E. D., Naves, J. D. R., Porcionato, M. A. D. F., Rennó, F. P., & Santos, M. V. D. (2012). Organic and inorganic sources of zinc, copper and selenium in diets for dairy cows: intake, blood metabolic profile, milk yield and composition. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41, 1477-1483. doi: 10.1590/S1516-35982012000600023
- Del Valle, T. A., Jesus, E. F. D., Paiva, P. G. D., Bettero, V. P., Zanferari, F., Acedo, T. S., ... & Rennó, F. P. (2015). Effect of organic sources of minerals on fat-corrected milk yield of dairy cows in confinement. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44(3), 103-108. doi: 10.1590/S1806-92902015000300004
- Enjalbert, F. (2009). The relationship between trace elements status and health in calves. *Revue de Medecine Veterinaire*, 160(8-9), 429-435.
- 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. doi: 10.1371/journal.pone.0219321
- Ghavidel, M., Toghory, A., Ghoorchi, T. & Asadi, M. (2024). Influence of chelated iron supplement containing organic acids and amino acids on growth performance, skeletal growth indices, fecal score, and blood parameters in suckling calves. *Animal Production Research*, 13(3), 61-74. [In Persian]. doi: 10.22124/ar.2024.26191.1806
- Gelsinger, S. L., Pino, F., Jones, C. M., Gehman, A. M., & Heinrichs, A. J. (2016). Effects of a dietary organic mineral program including mannan oligosaccharides for pregnant cattle and their calves on calf health and performance. *The Professional Animal Scientist*, 32(2), 205-213. doi: 10.15232/pas.2015-01475
- Glover, A. D., Puschner, B., Rossow, H. A., Lehenbauer, T. W., Champagne, J. D., Blanchard, P. C., & Aly, S. S. (2013). A double-blind block randomized clinical trial on the effect of zinc as a treatment for diarrhea in neonatal Holstein calves under natural challenge conditions. *Preventive Veterinary Medicine*, 112(3-4), 338-347. doi: 10.1016/j.prevetmed.2013.09.001

- Hess, J. B., Downs, K. M., Macklin, K. S., Norton, R. A., & Bilgili, S. F. (2008). Organic Trace Minerals for Broilers and Breeders. Poultry Science Department, Auburn University, AL, School of Agribusiness and Agrisciences, Middle Tennessee State University, Murfreesboro, TN, USA.
- Jacometo, C. B., Osorio, J. S., Socha, M., Corrêa, M. N., Piccioli-Cappelli, F., Trevisi, E., & Loor, J. J. (2015). Maternal consumption of organic trace minerals alters calf systemic and neutrophil mRNA and microRNA indicators of inflammation and oxidative stress. *Journal of Dairy Science*, 98(11), 7717-7729. doi: 10.3168/jds.2015-9359
- Juniper, D. T., Rymer, C., & Briens, M. (2019). Bioefficacy of hydroxy-selenomethionine as a selenium supplement in pregnant dairy heifers and on the selenium status of their calves. *Journal of Dairy Science*, 102(8), 7000-7010. doi: 10.3168/jds.2018-16065
- Kargar, S., Mousavi, F., Karimi-Dehkordi, S., & Ghaffari, M. H. (2018). Growth performance, feeding behavior, health status, and blood metabolites of environmentally heat-loaded Holstein dairy calves fed diets supplemented with chromium. *Journal of Dairy Science*, 101(11), 9876-9887. doi: 10.3168/jds.2017-14154
- Kinal, S., Korniewicz, A., Slupczynska, M., Bodarski, R., Korniewicz, D., & Cermak, B. (2007). Effect of the application of bioplexes of zinc, copper and manganese on milk quality and composition of milk and colostrum and some indices of the blood metabolic profile of cows. *Czech Journal of Animal Science*, 52(12), 423. doi: 10.17221/2338-CJAS
- Larson, L. L., Owen, F. G., Albright, J. L., Appleman, R. D., Lamb, R. C., & Muller, L. D. (1977). Guidelines toward more uniformity in measuring and reporting calf experimental data. *Journal of Dairy Science*, 60(6), 989-991. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(77)83975-1
- Ma, T., & Suzuki, Y. (2018). Dissect the mode of action of probiotics in affecting host-microbial interactions and immunity in food producing animals. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 205, 35-48. doi: 10.1016/j.vetimm.2018.10.004
- Mallaki, M., Norouzian, 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. doi: 10.3906/vet-1405-79
- Malmuthuge, N., Liang, G., & Guan, L. L. (2019). Regulation of rumen development in neonatal ruminants through microbial metagenomes and host transcriptomes. *Genome Biology*, 20, 1-16. doi: 10.1186/s13059-019-1786-0
- Mandal, G. P., Dass, R. S., Isore, D. P., Garg, A. K., & 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. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2006.09.014
- Marques, R. S., Cooke, R. F., Rodrigues, M. C., Cappelozza, B. I., Mills, R. R., Larson, C. K., ... & Bohnert, D. W. (2016). Effects of organic or inorganic cobalt, copper, manganese, and zinc supplementation to late-gestating beef cows on productive and physiological responses of the offspring. *Journal of Animal Science*, 94(3), 1215-1226. doi: 10.2527/jas2015-0036
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2011). Animal Nutrition. ed. *Essex: Pearson Education Limited*.
- Moazeni Zadeh, M. H., Towhidi, A., Zhandi, M., & Rezayazdi, K. (2022). 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. doi: 10.22069/ejrr.2022.20590.1863 [In Persian]
- Mousavi-Haghshenas, M. A., Hashemzadeh, F., Ghorbani, G. R., Ghasemi, E., Rafiee, H., & Ghaffari, M. H. (2022). Trace minerals source in calf starters interacts with birth weights to affect growth performance. *Scientific Reports*, 12(1), 18763. doi: 10.1038/s41598-022-23459-4
- Mudgal, V., Saxena, N., Kumar, K., Dahiya, S. S., Punia, B. S., & Sharma, M. L. (2019). Sources and levels of trace elements influence some blood parameters in murrh buffalo (*Bubalus bubalis*) calves. *Biological Trace Element Research*, 188, 393-403. doi: 10.1007/s12011-018-1439-2
- Nemec, L. M., Richards, J. D., Atwell, C. A., Diaz, D. E., Zanton, G. I., & Gressley, T. F. (2012). Immune responses in lactating Holstein cows supplemented with Cu, Mn, and Zn as sulfates or methionine hydroxy analogue chelates. *Journal of Dairy Science*, 95(8), 4568-4577. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5404>
- Ortman, K., & Pehrson, B. (1999). Effect of selenate as a feed supplement to dairy cows in comparison to selenite and selenium yeast. *Journal of Animal Science*, 77(12), 3365-3370. doi: 10.2527/1999.77123365x
- Osorio, J. S., Wallace, R. L., Tomlinson, D. J., Earleywine, T. J., Socha, M. T., & Drackley, J. K. (2012). Effects of source of trace minerals and plane of nutrition on growth and health of transported neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 95(10), 5831-5844. doi: 10.3168/jds.2011-5042

- Pambu-Gollah, R., Cronje, P. B., & Casey, N. H. (2000). An evaluation of the use of blood metabolite concentrations as indicators of nutritional status in free-ranging indigenous goats. *South African Journal of Animal Science*, 30(2), 115-120.
- Ryan, A. W., Kegley, E. B., Hawley, J., Powell, J. G., Hornsby, J. A., Reynolds, J. L., & 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. doi: 10.15232/pas.2014-01383
- SAS Institute. (2004). User's Guide. Version 9.1: Statistics. SAS Institute, Cary, NC.
- Sethy, K., Behera, K., Mishra, S. K., Gupta, S. K., Sahoo, N., Parhi, S. S., ... & Khadanga, S. (2018). Effect of organic zinc supplementation on growth, metabolic profile and antioxidant status of Ganjam sheep. *Indian Journal of Animal Research*, 52(6), 839-842. doi: 10.18805/ijar.B-3297
- Spears, J. W. (1996). Organic trace minerals in ruminant nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 58(1-2), 151-163. doi: 10.1016/0377-8401(95)00881-0
- Spears, J. W., & Weiss, W. P. (2008). Role of antioxidants and trace elements in health and immunity of transition dairy cows. *The Veterinary Journal*, 176(1), 70-76. doi: 10.1016/j.tvjl.2007.12.015
- Spears, J. W., & Weiss, W. P. (2014). Invited review: Mineral and vitamin nutrition in ruminants. *The Professional Animal Scientist*, 30(2), 180-191. doi: 10.15232/S1080-7446(15)30103-0
- Stamey, J. A., Janovick, N. A., Kertz, A. F., & Drackley, J. K. (2012). Influence of starter protein content on growth of dairy calves in an enhanced early nutrition program. *Journal of Dairy Science*, 95(6), 3327-3336. doi: 10.3168/jds.2011-5107
- Suarez-Mena, F. X., Hill, T. M., Heinrichs, A. J., Bateman II, H. G., Aldrich, J. M., & Schlotterbeck, R. L. (2011). Effects of including corn distillers dried grains with solubles in dairy calf feeds. *Journal of Dairy Science*, 94(6), 3037-3044. doi: 10.3168/jds.2010-3845
- Suarez-Mena, F. X., Hu, W., Dennis, T. S., Hill, T. M., & Schlotterbeck, R. L. (2017). β -Hydroxybutyrate (BHB) and glucose concentrations in the blood of dairy calves as influenced by age, vaccination stress, weaning, and starter intake including evaluation of BHB and glucose markers of starter intake. *Journal of Dairy Science*, 100(4), 2614-2624. doi: 10.3168/jds.2016-12181
- Teixeira, A. G. V., Lima, F. S., Bicalho, M. L. S., Kussler, A., Lima, S. F., Felipe, M. J., & 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. doi: 10.3168/jds.2013-7625
- Underwood, E. J., & Suttle, N. F. (1999). *The Mineral Nutrition of Livestock*. 3rd edition.
- Van Keulen, J. Y. B. A., & Young, B. A. (1977). Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, 44(2), 282-287. doi: 10.2527/jas1977.442282x
- 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. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
- Vi, R. B., McLeod, K. R., Klotz, J. L., & Heitmann, R. N. (2004). Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre-and postweaning ruminant. *Journal of Dairy Science*, 87, E55-E65. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)70061-2
- Wang, R. L., Liang, J. G., Lu, L., Zhang, L. Y., Li, S. F., & Luo, X. G. (2013). Effect of zinc source on performance, zinc status, immune response, and rumen fermentation of lactating cows. *Biological Trace Element Research*, 152, 16-24. doi: 10.1007/s12011-012-9585-4
- Zarbalizadeh-Saed, A., Seifdavati, J., Abdi-Benemar, H., Salem, A. Z., Barbabosa-Pliego, A., Camacho-Diaz, L. M., ... & Seyed-Sharifi, R. (2020). Effect of slow-release pellets of selenium and iodine on performance and some blood metabolites of pregnant Moghani ewes and their lambs. *Biological Trace Element Research*, 195, 461-471. doi: 10.1007/s12011-019-01853-w