
Effects of replacing the inorganic form of mineral substances with their organic sources on growth performance, digestion parameters and blood metabolites in Holstein calves

**Ali Mahdavi^{1*}, Matin Khalilzadeh², Azadeh Salimi³, Majid Savari⁴,
Sina Mahbubrabani⁵, Hossein Radman⁶**

1- Associate Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agricultural Engineering, Semnan University, Semnan, Iran,
Email: mahdavi@semnan.ac.ir

2- Master's Graduated in Animal Nutrition, Department of Animal Science, Faculty of Agricultural Engineering, Semnan University

3- Assistant Professor, Department of Health Food Education, Faculty of Veterinary Medicine, Semnan University

4- Assistant Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agricultural Engineering, Semnan University

5- Master's Student in Animal Nutrition, Department of Animal Science, Faculty of Agricultural Engineering, Semnan University

6- Master's Graduated in Animal Nutrition, Department of Animal Science, Faculty of Agricultural Engineering, Semnan University

Article Info

ABSTRACT

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 15/04/2025
Revised: 24/05/2025
Accepted: 25/04/2025

Keywords:
Holstein calves
Minerals of form organic
Stress weaning

Background and Objectives: One of the most critical goals in the dairy cattle industry is calf rearing. The pre-weaning period serves as the foundation for calf health and proper growth, as optimal growth in accordance with the animal's genetic potential can reduce the age at first breeding and the slaughter age of male calves. The use of trace elements such as copper, manganese, zinc, and cobalt in the diet of pre-weaned calves plays a significant role in growth, health, and reducing weaning stress. These elements are available in both organic and inorganic forms. The objective of this study was to compare the effects of organic and inorganic supplements on growth performance, blood metabolites, and the alleviation of weaning stress in calves, using domestically produced chelated supplements as an alternative to imported supplements.

Materials and Methods: In this study, 30 Holstein calves (on the first day after birth) with similar average body weight of 39.6 ± 0.4 kg were randomly assigned to three groups of ten calves each (5 males and 5 females) and subjected to experimental treatments. The experimental treatments included: a control group receiving inorganic mineral supplements, a group receiving Iranian organic mineral supplements (in the form of organic chelate complexes produced by Zista Group – Parsa Holding), and a group receiving a commercial foreign organic supplement (Availa Four). In all three groups, colostrum quality (Brix index ≈ 25), water and starter feed were similar. Calves were weaned at 75 days of age, and the total experimental period lasted 100 days. Parameters such as feed intake, average daily gain, blood metabolites, immunoglobulin G levels, immune-related enzyme activities, and mineral digestibility and absorption were measured. Data were analyzed in a completely randomized design using SAS software version 9.1 (2005), and means were compared at a significance level of 0.05.

Results: In this study, dry matter intake was affected by the experimental treatments only during the pre-weaning period ($P < 0.05$). Accordingly, the highest dry matter intake was observed in the Availa-supplemented group (1320 g/day), while the lowest intake was recorded in the inorganic supplement group (1250 g/day) ($P < 0.05$). A significant difference in body weight gain was observed among the experimental groups during the pre-weaning, post-weaning, and entire periods (with the Availa group showing

the highest and the inorganic supplement group the lowest values, $P < 0.05$). However, feed efficiency was not influenced by the experimental treatments. At weaning, the highest blood glucose concentration was measured in the inorganic group, and the lowest value was observed in the Availa (foreign) group (100.2 vs. 88.6 mg/dL). Additionally, the highest plasma beta-hydroxybutyric acid (BHBA) concentration was related to the inorganic group, and the lowest was observed in the domestic organic group (1.546 vs. 0.726). The highest cobalt absorption was recorded in the Availa group, and the lowest in the inorganic group (75.992 vs. 40.728). The highest organic matter and dry matter digestibility values were observed in the Availa group (74.116% and 87.764%, respectively), while the lowest values (70.600% and 74.700%, respectively) were found in the inorganic group.

Conclusion: Throughout the study period, the Availa group demonstrated superior performance in various parameters, including blood glucose concentrations, beta-hydroxybutyrate levels, nutrient digestibility, mineral absorption, and body weight gain.

Cite this article: Mahdavi, A., Khalilzadeh, M., Salimi, A., Savari, M., Mahbubrabani, S., Radman, H. (2026). Effects of replacing the inorganic form of mineral substances with their organic sources on growth performance, digestion parameters and blood metabolites in Holstein calves. *Journal of Ruminant Research*, 13(4), 115-133.



© The Author(s)



10.22069/ejrr.2025.23541.2005

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اثرات جایگزینی شکل غیر آلی مواد معدنی با منابع آلی آن‌ها بر عملکرد رشد، هضم خوراک و متابولیت‌های خونی در گوساله‌های شیر خوار هلشتاین

علی مهدوی^{۱*}، متین خلیل زاده^۲، آزاده سلیمی^۳، مجید سواری^۴، سینا محبوب ربانی^۵، حسین رادمان^۶

^۱ دانشیار، گروه علوم دامی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، رایانامه: mahdavi@semnan.ac.ir

^۲ دانش آموخته کارشناسی ارشد تغذیه دام، گروه علوم دامی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران،

^۳ استادیار، گروه بهداشت مواد غذایی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران،

^۴ استادیار، گروه علوم دامی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران،

^۵ دانشجوی کارشناسی ارشد تغذیه دام، گروه علوم دامی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران،

^۶ دانش آموخته کارشناسی ارشد تغذیه دام، گروه علوم دامی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران،

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: یکی از مهم‌ترین اهداف در صنعت پرورش گاو شیری، پرورش گوساله است. دوره شیرخوارگی گوساله‌ها پایه و اساس سلامتی و رشد مناسب گوساله می‌باشد، به طوری که رشد مناسب و متناسب با توان ژنتیکی حیوان می‌تواند سن اولین جفت‌گیری گوساله و همچنین سن کشتار گوساله‌های نر را کاهش دهد. استفاده از عناصر کمیاب مانند مس، منگنز، روی و کبالت در جیره غذایی گوساله‌های شیرخوار نقش مهمی در رشد، سلامت و کاهش استرس ناشی از شیرگیری دارد. این عناصر به دو شکل آلی (با استفاده از فرم کیلاته مکمل‌های وارداتی و تولید ایران) و غیرآلی موجود هستند. مطالعه حاضر با هدف مقایسه تأثیر مکمل‌های مواد معدنی به فرم آلی و غیرآلی بر عملکرد رشد، متابولیت‌های خونی و کاهش استرس از شیرگیری در گوساله‌های شیرخوار طراحی و اجرا شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۷ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۳/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۰۵	
واژه‌های کلیدی: تنش از شیرگیری شکل آلی مواد معدنی گوساله‌های هلشتاین	مواد و روش‌ها: در این تحقیق، ۳۰ رأس گوساله تازه متولدشده (اولین روز پس از تولد) هلشتاین (میانگین وزن $39/6 \pm 0/4$ کیلوگرم) به سه گروه ده رأسی (۵ رأس نر و ۵ رأس ماده) تقسیم‌بندی شده و تحت تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند. تیمارهای آزمایشی عبارت بود از گروه‌های دریافت‌کننده مکمل غیرآلی (شاهد)، دریافت‌کننده مکمل آلی ایرانی (به فرم کمپلکس کیلات آلی محصول گروه زیستا- هلدینگ پارسا) و دریافت‌کننده مکمل آلی خارجی (Availa (Four)). در هر سه گروه، کیفیت آغوز (شاخص بریکس حدود ۲۵)، آب و استاتر مصرفی یکسان بود. از شیرگیری گوساله‌ها در ۷۵ روزگی انجام شد و کل دوره آزمایشی ۱۰۰ روز به طول انجامید. پارامترهایی از قبیل مصرف خوراک، افزایش وزن روزانه، فراسنجه‌های خونی، ایمونوگلوبولین جی، فعالیت آنزیم‌های ایمنی، قابلیت هضم و جذب مواد معدنی اندازه‌گیری شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹٫۱ (۲۰۰۵) و مقایسه میانگین‌ها در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام شد.

یافته‌ها: در این مطالعه، مقدار مصرف ماده خشک تنها در دوره قبل از شیرگیری تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت ($P < 0/05$). بدین صورت که بیشترین میزان مصرف ماده خشک مربوط به گروه مکمل اویلا (۱۳۲۰ گرم در روز) و کمترین مقدار برای گروه مکمل غیرآلی (۱۲۵۰ گرم در روز) به دست آمد ($P < 0/05$). تفاوت معنی‌داری در میزان وزن‌گیری در دوره‌های مختلف قبل از شیرگیری، بعد از شیرگیری و کل دوره بین گروه‌های آزمایشی مشاهده شد. گروه اویلا بیشترین و گروه مکمل غیرآلی کمترین مقادیر را داشتند ($P < 0/05$). با این حال بازده غذایی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت. در زمان از شیرگیری، بیشترین غلظت گلوکز خون در گروه غیرآلی و کمترین در گروه اویلا (خارجی) اندازه‌گیری شد (۱۰۰/۲ در مقابل ۸۸/۶ میلی‌گرم در دسی لیتر). همچنین، بالاترین غلظت بتا‌هیدروکسی بوتیریک اسید پلاسما مربوط به گروه غیرآلی و کمترین مربوط به گروه آلی ایرانی (۱/۵۴۶ در مقابل ۰/۷۲۶ میلی‌مول در لیتر) بود. بیشترین میزان جذب کبالت مربوط به گروه اویلا و کمترین در گروه غیرآلی (۷۵/۹۹۲ در مقابل ۴۰/۷۲۸) مشاهده گردید. بیشترین میزان قابلیت هضم ماده آلی و ماده خشک به ترتیب با مقادیر ۷۴/۱۱۶ و ۸۷/۷۶۴ در گروه اویلا و کمترین مقادیر آن‌ها به ترتیب ۷۰/۶۰۰ و ۷۴/۷۰۰ در گروه غیرآلی مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این تحقیق، مکمل اویلا موجب بهبود شاخص‌های مختلف از جمله غلظت‌های گلوکز، هضم مواد مغذی، جذب مواد معدنی، مصرف ماده خشک و میانگین افزایش وزن روزانه گردید.

استناد: مهدوی، علی؛ خلیل‌زاده، متین؛ سلیمی، آزاده؛ سواری، مجید؛ محبوب ربانی، سینا؛ رادمان، حسین. (۱۴۰۴). اثرات جایگزینی شکل غیرآلی مواد معدنی با منابع آلی آن‌ها بر عملکرد رشد، هضم خوراک و متابولیتهای خونی در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین. پژوهش در نشخوارکنندگان، ۱۳(۴)، ۱۱۵-۱۳۳.



10.22069/ejrr.2025.23541.2005

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



مقدمه

دوره شیرخوارگی یکی از حساس‌ترین مراحل پرورش گوساله‌هاست و نقش اساسی در رشد، سلامت و سودآوری آینده گله دارد (Orihuela و Galina، ۲۰۱۹؛ Ahangarani و همکاران، ۲۰۲۱؛ Neamt و همکاران، ۲۰۱۹). موفقیت در مدیریت دوره شیرخوارگی و مرحله از شیرگیری به‌ویژه از نظر بهبود سیستم ایمنی، اهمیت زیادی دارد (Chang و همکاران، ۲۰۲۰). با توجه به ممنوعیت استفاده از آنتی‌بیوتیک‌های محرک رشد، استفاده از مکمل‌های تغذیه‌ای به‌منظور تقویت ایمنی و کاهش بروز بیماری‌ها در مرحله از شیرگیری دام ضروری است (Carter و همکاران، ۲۰۲۱). مواد معدنی کم‌نیاز (نظیر مس، روی، منگنز و کبالت) علیرغم مقدار اندک موردنیاز، نقش‌های بسیار ضروری در عملکرد سلول‌های زنده ایفا می‌کنند. این مواد در ساختمان هورمون‌ها، عملکرد تولیدمثل، سنتز ویتامین‌ها، آنزیم‌ها و همچنین توسعه سیستم ایمنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه کمبود این عناصر در نشخوارکنندگان جوان بیشتر از دام‌های بالغ دیده می‌شود، لذا توجه به تأمین این ریزمغذی‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد (NRC، ۲۰۰۱). در حال حاضر نمک‌های معدنی (غیرآلی) عناصر کم‌مصرف به‌صورت منابع سولفات و اکسید به‌صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. این منابع به علت داشتن بار الکتریکی در ساختار خود در دستگاه گوارش نشخوارکنندگان مستعد برهم‌کنش با سایر ترکیبات هستند که منجر به کاهش جذب و زیست‌فراهمی آن‌ها می‌شود؛ بنابراین در بسیاری از موارد شاهد علائم کمبود عناصری از قبیل روی، مس، منگنز و کبالت در گوساله‌های شیرخوار هستیم که به شکل کاهش اشتها، کاهش رشد و ناهنجاری‌های اسکلتی بروز پیدا می‌کنند (NRC، ۲۰۰۱).

در مقابل، منابع آلی مانند اشکال کیلاته شده با آمینواسیدها، الیگوساکاریدها، کمپلکس‌های پروتئینی و کمپلکس‌های اسیدهای آلی با پایداری بیشتر در محیط گوارشی و جذب کامل در روده، کاهش برهم‌کنش‌های منفی و استفاده از مسیرهای جذب اختصاصی، موجب افزایش انتقال مؤثر این عناصر به بافت‌های هدف می‌شوند (Zhang و همکاران، ۲۰۲۴). این مکانیسم‌ها باعث بهبود کارایی خوراک، رشد، توسعه بافت عضلانی، تقویت سیستم ایمنی و ارتقای شاخص‌های سلامت عمومی در گوساله‌های شیرخوار می‌گردند (Panda و Gayathri، ۲۰۱۸؛ Handique و همکاران، ۲۰۲۲؛ Mudgal و همکاران، ۲۰۱۹؛ Ogilvie و همکاران، ۲۰۲۳؛ Putriyana و همکاران، ۲۰۲۲؛ Miqueo و همکاران، ۲۰۲۴). Haghshenas و همکاران (۲۰۲۲) دریافتند که جایگزینی مواد معدنی غیرآلی با کیلاته‌ها به‌ویژه در گوساله‌های با وزن تولد پایین، رشد و سلامت را بهبود و تنش اکسیداتیو را کاهش می‌بخشد. Porter (۲۰۲۱) و Neville و همکاران (۲۰۲۴) نیز گزارش کردند که مواد معدنی کمیاب آلی باعث بهبود رشد، افزایش مصرف شیر و سلامت گوساله‌ها به‌ویژه در دوران پیش از شیرگیری می‌شوند. Adab و همکاران (۲۰۲۰)، Bonaventura و همکاران (۲۰۱۵) و Hu و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان دادند که مکمل‌سازی با روی آلی در گوساله‌های هلشتاین مصرف ماده خشک و وزن روزانه را در دوره پیش از شیرگیری افزایش می‌دهد. این تحقیقات همچنین اثرات ضدالتهابی و ایمنی روی را در گوساله‌ها تأیید کرده‌اند. Wo و همکاران (۲۰۲۲) و Glover و همکاران (۲۰۱۳) دریافتند که روی کیلاته، عملکرد رشد و ایمنی را بهبود داده و تأثیر مثبتی در پیشگیری و درمان اسهال دارد.

Rajaei-Sharifabadi و همکاران (۲۰۲۴) افزودن روی را عامل مؤثر در بهبود مصرف خوراک و هضم و جذب ماده مغذی دانستند. Mattioli و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که مکمل‌های مس و روی باعث افزایش وزن روزانه و پاسخ ایمنی در گوساله‌ها قبل از شیرگیری می‌شود. Ji و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که منگنز کیلاته قابلیت هضم مواد مغذی را بهبود بخشید، ترکیب میکروبی مدفوع را تغییر داده و دفع مواد معدنی را کاهش می‌دهد. همچنین Kasiani و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند اشکال آلی عناصر مس، روی، منگنز و سلنیوم رشد و بازدهی خوراک آغازین گوساله‌های شیرخوار نژاد هلشتاین را بهبود بخشیده است. به‌طور کلی بررسی منابع نشان داده است که قابلیت دسترسی منابع آلی عناصر کم مصرف نسبت به شکل معدنی آن‌ها، در دستگاه گوارش بالاتر بوده و از طرفی به علت اینکه گوساله‌های شیرخوار توانایی کمی به‌منظور ذخیره‌سازی این عناصر در بدن دارند، لذا مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات جایگزینی فرم‌های غیرآلی مواد معدنی با فرم‌های آلی آن‌ها در گوساله‌های شیرخوار نژاد هلشتاین طراحی و اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

گروه بندی: این پژوهش با استفاده از ۳۰ رأس گوساله شیرخوار هلشتاین با میانگین وزنی $39/6 \pm 0/4$ کیلوگرم و طی مدت ۱۰۰ روز، در قالب طرح کاملاً تصادفی صورت گرفت. گوساله‌ها در سه گروه ۱۰ رأسی (۵ رأس نر و ۵ رأس ماده) به‌طور تصادفی گروه‌بندی شده و تحت تیمارهای زیر قرار گرفتند: گروه شاهد: دریافت مکمل ویتامینه-معدنی با فرم غیرآلی عناصر منگنز، روی، مس و کبالت. تیمار اول: دریافت مکمل ویتامینه-معدنی با فرم آلی عناصر

منگنز، روی، مس و کبالت. تیمار دوم: دریافت مکمل ویتامینه-معدنی با اویلا فور. ترکیب استارتر مصرفی و مقادیر ویتامین‌ها و مواد معدنی براساس توصیه‌های شورای تحقیقات ملی (NRC، 2001) در نظر گرفته شد. عناصر معدنی شامل منگنز و روی هرکدام (40mg.kg ، مس 10 mg.kg) و کبالت (0.10 mg.kg) به استارتر گوساله اضافه شدند. این عناصر به‌شکل غیرآلی در گروه شاهد و شکل آلی در تیمار اول و دوم استفاده شدند.

نگهداری گوساله‌ها: پس از تولد، گوساله‌ها به میزان ۱۰٪ وزن بدن خود آغوز دریافت کردند. از روز سوم، آب و خوراک استارتر در دسترس آن‌ها قرار داده شد. کیفیت آغوز مصرفی که در تمامی گروه‌ها یکسان بود، با استفاده از دستگاه رفراکتومتر ارزیابی گردید. گوساله‌ها در باکس‌های انفرادی نگهداری شدند و مقدار شیر مصرفی متناسب با نیاز آن‌ها تغذیه شد. این میزان بر اساس برنامه شیردهی طراحی شده، به‌طور هفتگی افزایش یافت. استارتر نیز به شکل مش در کنار ۱۰ درصد برگ یونجه خردشده در اختیار گوساله‌ها قرار گرفت. فرآیند از شیرگیری در سن ۷۵ روزگی انجام شد.

تعیین خوراک مصرفی: میزان مصرف خوراک اولیه به‌صورت روزانه تعیین شد. برای این منظور، روزانه میزان معینی خوراک به گوساله‌ها ارائه گردید. در انتها باقی‌مانده خوراک جمع‌آوری، توزین و از میزان اولیه کسر شد تا میزان خوراک مصرفی محاسبه شود. به‌منظور دقت بیشتر در اندازه‌گیری، در هر نوبت مقدار خوراک ارائه‌شده کمی بیشتر از نیاز گوساله‌ها در نظر گرفته شد (حدود ۱۰ درصد باقی‌مانده). تعیین بازده خوراک کل دوره: بازده خوراک کل دوره از تقسیم میانگین افزایش وزن زنده گوساله‌های هر تیمار به ماده خشک مصرفی به دست آمد.

اثرات جایگزینی شکل غیرآلی مواد معدنی با... / علی مهدوی و همکاران

جدول ۱- اجزاء و ترکیب شیمیایی خوراک آغازین آزمایشی (درصدی از ماده خشک)

Table 1- Ingredient and nutrient composition of the starter (based on% DM)

درصد از ماده خشک % of DM	اقلام خوراکی Ingredient of diet
45.00	Corn grain ذرت
15.00	Barley grain جو
29.00	Soybean meal کنجاله سویا
2.50	Beet pulp تفاله چغندر
2.40	Wheat bran سبوس گندم
1.20	Calcium carbonate کربنات کلسیم
1.10	Sodium bicarbonate جوش شیرین
0.50	Di-calcium phosphate دی کلسیم فسفات
0.80	Salt نمک
0.50	Magnesium oxide اکسید منیزیم
2.00	مکمل ویتامینه ^۱ و معدنی ^۱
	Mineral and Vitamin supplement
	Nutrients composition (درصد) ترکیب مواد مغذی
89.00	Dry matter ماده خشک
20.30	Crude protein پروتئین خام
2.80	(Mcal/kg)ME انرژی قابل متابولیسم
13.10	NDF الیاف نامحلول در شوینده خنثی
6.40	ADF الیاف نامحلول در شوینده اسیدی
0.50	P فسفر
0.80	Ca کلسیم
3.98	Ether extract چربی

^۱ ترکیب مکمل معدنی و ویتامینی شامل ۱,۳۰۰,۰۰۰ واحد بین‌المللی در کیلوگرم ویتامین A، ۳۶۰,۰۰۰ واحد بین‌المللی در کیلوگرم ویتامین D و ۱۲,۰۰۰ واحد بین‌المللی در کیلوگرم ویتامین E؛ همچنین، ۰/۱۵ گرم در کیلوگرم ید (I)، ۰/۸ گرم در کیلوگرم آهن (Fe)، ۰/۰۸ گرم در کیلوگرم سلنیم (Se) و ۲۰ گرم در کیلوگرم مونوسین ۱۰ درصد می‌باشد. عناصر منگنز و روی هر کدام (۴۰ mg.kg)، مس (۱۰ mg.kg) و کبالت (۰/۱۰ mg.kg) از منابع معدنی (اکسید منگنز و روی، سولفات مس و کبالت) و یا آلی (منگنز، روی، مس و کبالت پروتئینه) در خوراک آغازین استفاده شد.

^۱ Mineral and Vitamin supplement Composition: 1,300,000 IU/kg of vitamin A, 360,000 IU/kg of vitamin D, and 12,000 IU/kg of vitamin E, 0.15 g/kg of I, 0.8 g/kg of Fe, 0.08 g/kg of Se, and 20 g/kg monensin 10%. Manganese and zinc (each at 40 mg/kg), copper (10 mg/kg), and cobalt (0.10 mg/kg) were included in the starter feed from either inorganic sources (manganese and zinc oxides, copper and cobalt sulfates) or organic sources (proteinated manganese, zinc, copper, and cobalt).

از نمونه خارجی آن بر کاهش تنش ناشی از شیرگیری در گوساله‌های شیرخوار، وزن‌کشی از سن ۷۵ تا ۱۰۰ روزگی به صورت هفتگی ادامه یافت. **بررسی پارامترهای خونی:** پارامترهای خونی و مقدار سرمی عناصر معدنی در سه مقطع زمانی (ابتدای آزمایش، زمان از شیرگیری و انتهای آزمایش) مورد بررسی قرار گرفتند. خون‌گیری در ساعات صبح و پیش از تغذیه گوساله‌ها (پس از اعمال ۱۲ ساعت

وزن‌کشی: وزن‌کشی گوساله‌ها به صورت هفتگی و با استفاده از ترازو دیجیتال تا پایان آزمایش صورت گرفت. برای اطمینان از یکنواختی شرایط میان تیمارها، عملیات وزن‌گیری در روزهای تعیین شده، در ساعت مشخص و پیش از مصرف خوراک (پس از ۱۲ ساعت گرسنگی روز قبل) صورت پذیرفت. همچنین، به منظور ارزیابی تأثیر جایگزینی شکل غیرآلی مواد معدنی با منابع آلی آن‌ها و بررسی استفاده

دانکن در سطح معنی داری ۰/۰۵ انجام شد. مدل طرح در رابطه با داده‌های مربوط به پارامترهای خونی و سرمی، به شکل زیر است که در آن X_{ij} : مقدار هر مشاهده در آزمایش، μ : میانگین کل، T_i : اثر تیمار i ام و E_{ij} : اثر خطای آزمایش می‌باشد.

$$X_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

در رابطه با داده‌های عملکردی از جمله مصرف خوراک، افزایش وزن روزانه و بازدهی مصرف خوراک با استفاده از رویه MIXED و روش داده‌های تکرار شده در نرم‌افزار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مدل آماری استفاده شده به شرح زیر می‌باشد:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + W_k + (T \times W)_{ik} + e_{ijk}$$

Y_{ijk} = مقدار صفت اندازه‌گیری شده، μ = اثر ثابت میانگین، T_i = اثر ثابت تیمار، B_j = اثر تصادفی حیوان، W_k = اثر ثابت زمان، $T \times W$ = اثر متقابل تیمار در زمان، E_{ijk} = اثر خطای آزمایش.

نتایج و بحث

مصرف ماده خشک و وزن‌گیری هفتگی: نتایج جدول ۲ نشان داد مقدار مصرف ماده خشک تنها در دوره قبل از شیرگیری بین تیمارها تفاوت معنی داری داشت ($P < 0/05$). در این دوره، بیشترین میزان مصرف ماده خشک مربوط به گروه مکمل اوویلا بود که این مقدار نسبت به گروه مکمل غیرآلی معنی داری بود ($P < 0/05$) اما با گروه مکمل آلی تفاوت معنی داری نداشت. کمترین میزان مصرف خوراک نیز مربوط به گروه مکمل غیرآلی بود که البته تفاوت معنی داری با گروه مکمل آلی نداشت.

همچنین وزن‌گیری گوساله‌ها به صورت هفتگی در طی دوره مطالعه بررسی شد (جدول ۲). تفاوت معنی داری در میزان وزن‌گیری در دوره‌های مختلف قبل از شیرگیری، بعد از شیرگیری و کل دوره بین گروه‌های آزمایشی مشاهده شد. در این سه دوره، بیشترین میزان وزن‌گیری مربوط به گروه مکمل اوویلا

گرسنگی روز قبل) از سیاهرگ گردن انجام شد. برای این منظور، از لوله‌های ۵ میلی‌لیتری ونوجکت حاوی ماده ضد انعقاد^۱ استفاده گردید. پروتئین کل (روش بیورت) و میزان گلوکز (روش گلوکز اکسیداز-فنول ۴-آمینوآنتی‌پیرین پراکسیداز GODPAP) با استفاده از کیت‌های تجاری (شرکت پارس آزمون، تهران، ایران) اندازه‌گیری شدند. به جهت ارزیابی عملکرد سیستم ایمنی و وضعیت توسعه شکمبه، میزان ایمونوگلوبولین جی^۱، فعالیت آنزیم‌های گلوکتیون پراکسیداز^۳، سوپراکسید دیسموتاز با استفاده از کیت‌های تشخیصی رندوکس و رنسل طبق دستورالعمل‌های شرکت سازنده^۴ و بتا‌هیدروکسی بوتیریک اسید^۵ با کیت‌های رنگ سنجی تجاری^۶ تعیین شدند. نمونه‌ها بلافاصله پس از جمع‌آوری به آزمایشگاه منتقل شدند.

اندازه‌گیری قابلیت هضم ظاهری: برای تعیین قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی، نمونه‌گیری از خوراک و مدفوع دام‌ها در طی دوره شیرخوارگی و پس از شیرگیری انجام شد. خاکستر نامحلول در اسید به عنوان نشانگر داخلی مورداستفاده قرار گرفت. پس از تعیین خاکستر نامحلول در اسید نمونه‌های خوراک و مدفوع، قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی برحسب درصد و با استفاده از رابطه زیر تعیین شد (Van Keulen و Young، ۱۹۷۷).

$$\times 100 - 100 = \text{درصد قابلیت هضم}$$

$$\frac{\text{درصد نمونه مدفوع} \times \text{درصد AIA خوراک}}{\text{درصد نمونه خوراک} \times \text{درصد AIA مدفوع}}$$

تحلیل آماری: داده‌های این پژوهش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ تکرار با استفاده از مدل زیر توسط نرم‌افزار SAS ویرایش ۹/۱ (۲۰۰۵) و با رویه GLM تجزیه و تحلیل شد. مقایسه میانگین‌ها به روش

- 1 - EDTA
- 2 - Immunoglobulin G (IgG)
- 3 - Glutathione Peroxidase (GPX)
- 4 - Radox and Ransel LOTNO 331RD, UK
- 5 - (Beta hydroxybutyric acid) (BHBA)
- 6 - Radox Laboratories Ltd., Ardmore, UK

اثرات جایگزینی شکل غیرآلی مواد معدنی با... / علی مهدوی و همکاران

بود که این تفاوت نسبت به گروه مکمل غیرآلی معنی دار بود ($P < 0.05$). کمترین میزان وزن گیری در گروه مکمل آلی نداشت. وزن گیری در گروه مکمل آلی در حد واسطه گروه مکمل اویلا و غیرآلی قرار گرفت.

جدول ۲- اثرات جایگزینی شکل غیرآلی مواد معدنی با منابع آلی بر میزان افزایش وزن روزانه گوساله‌ها، مصرف ماده خشک و بازده خوراک

Table 2- Effects of replacing inorganic mineral sources with organic sources on daily weight gain of calves, dry matter intake and feed efficiency

P-value	خطای معیار میانگین SEM	تیمارها		شاهد	
		Treatments		Control	
		اویلا Availa Four	آلی Organic	معدنی Inorganic	
0.04	22.47	560.40 ^a	540.70 ^{ab}	520.32 ^b	قبل از شیرگیری (گرم بر روز) (g/d) (Pre-weaning)
0.03	32.23	910.66 ^a	890.76 ^{ab}	875.80 ^b	افزایش وزن روزانه بعد از شیرگیری (Post-weaning) Daily weight gain
0.05	24.94	647.27 ^a	627.72 ^{ab}	608.94 ^b	کل دوره (Entire Period)
0.05	28.07	1320 ^a	1280 ^{ab}	1250 ^b	قبل از شیرگیری (گرم بر روز) (g/d) (Pre-weaning)
0.09	57.9	1970	1930	1920	مصرف ماده خشک بعد از شیرگیری (Post-weaning) Dry matter intake
0.08	37.78	1480	1440	1420	کل دوره (Entire Period)
0.12	0.04	0.43	0.43	0.42	بازده خوراک کل دوره (Entire Period) FCR

*در هر ردیف حروف کوچک غیریکسان نشان‌دهنده معنی دار بودن است ($P < 0.05$)

*Different letters in each row indicate a statistically significant difference ($P < 0.05$).

کربوهیدرات‌ها و لیپیدها و تأثیر در متابولیسم انرژی و در نتیجه رشد بدن و نیز نقش این عناصر در آزاد نمودن نوروپپتید Y در افزایش اشتها و مصرف خوراک در گوساله‌ها (Miller-Ihli, 1996)، در مطالعه حاضر احتمالاً به دلیل افزایش جذب روی و منگنز به فرم آلی و همچنین افزایش قابلیت هضم مواد مغذی، مصرف خوراک بهبود یافت.

وزن‌کشی گوساله‌ها در طول و بعد از شیرگیری از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا به دامدار این امکان را می‌دهد که رشد و سلامت گوساله‌ها را پیگیری کنند. وزن‌کشی منظم به کنترل استرس از شیرگیری و ردیابی عملکرد گوساله‌ها کمک می‌کند. در مطالعه حاضر، وزن‌کشی به‌طور هفتگی انجام

به‌طورکلی استفاده از منابع آلی مواد معدنی کم‌مصرف، قابلیت دسترسی بهتری نسبت به فرم‌های غیرآلی دارند که این موضوع منجر به تأثیرات مثبت بر عملکرد آن‌ها در بدن می‌گردد. افزایش مصرف غذای جامد و عوامل رشد موجود در شیر، توسعه دستگاه گوارش و سلامت گوساله‌ها را تقویت می‌کند (Enríquez و همکاران، 2011؛ Khan و همکاران، 2011). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که مکمل اویلا حاوی عناصر روی، مس، کبالت و منگنز در فرم آلی نسبت به فرم غیرآلی به شکل معنی‌داری باعث افزایش مصرف خوراک گوساله‌ها در دوران قبل از شیرگیری می‌شود اما بین مکمل اویلا و آلی تفاوت معنی‌داری دیده نشد. با توجه به نقش مواد معدنی در متابولیسم

پارامترهای خونی: تمام پارامترها در ابتدای مطالعه بین گروه‌ها تفاوت معنی‌داری نشان نداد. مطابق اطلاعات جدول ۳ و ۴، در زمان از شیرگیری غلظت گلوکز، بتا‌هیدروکسی بوتیریک اسید، روی، ایمونوگلوبولین جی، کبالت و منگنز میان تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان دادند. بیشترین غلظت گلوکز در گروه مکمل غیرآلی با تفاوت معنی‌دار با سایر گروه‌ها ($P < 0/05$) و کمترین آن در گروه اویلا ثبت شد. این اختلاف احتمالاً به علت جذب بهتر مواد معدنی در فرم کیلاته و کاهش استرس متابولیک بوده که در نهایت منجر به مصرف کارآمدتر گلوکز در متابولیسم انرژی و کاهش سطح آن در خون می‌شود. تفاوت معنی‌داری میان مکمل آلی ایرانی و اویلا مشاهده نشد. غلظت بتا‌هیدروکسی بوتیریک اسید در گروه مکمل آلی بالاترین مقدار را داشت که به طور معنی‌داری از دیگر گروه‌ها بالاتر بود ($P < 0/05$) و گروه اویلا کمترین غلظت را نشان داد و تفاوت معنی‌داری با غیرآلی نداشت. غلظت روی در گروه مکمل غیرآلی بیشترین بود به همراه تفاوت معنی‌دار با سایر گروه‌ها ($P < 0/05$) و گروه اویلا کمترین مقدار را داشت که با مکمل آلی تفاوت معنی‌داری نداشت. برای پارامترهای ایمونوگلوبولین جی، کبالت و منگنز، ترتیب غلظت از بیشترین به کمترین به صورت مکمل آلی، غیرآلی و اویلا مشاهده شد که همه‌ی گروه‌ها تفاوت معنی‌دار با هم داشتند ($P < 0/05$). در انتهای مطالعه گلوکز، گلوکاتیون پراکسیداز، بتا‌هیدروکسی بوتیریک اسید، روی، مس، ایمونوگلوبولین جی، کبالت و منگنز بین گروه‌های تیمار تفاوت معنی‌داری نشان دادند ($P < 0/05$). در مورد گلوکز، تمامی گروه‌ها با یکدیگر تفاوت معنی‌دار داشتند ($P < 0/05$) و ترتیب آن از بیشترین به کمترین شامل مکمل غیرآلی، مکمل آلی و اویلا بود. گلوکاتیون پراکسیداز در گروه مکمل آلی کمترین مقدار را داشت و این تفاوت نسبت به

گرفت و نتایج مشخص کرد که مکمل آلی عناصر منگنز، مس، روی و کبالت به‌طور معنی‌داری باعث افزایش وزن گوساله‌ها شد، اگرچه تفاوت معنی‌داری بین مکمل‌های ایرانی و خارجی مشاهده نشد. مطالعات مختلفی همسو با نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که عناصر کمیاب با فرم آلی نسبت به فرم معدنی‌شان سبب افزایش بیشتر و معنی‌دار وزن در دام‌ها می‌شود.

مکمل‌های آلی منگنز، مس، روی و کبالت می‌توانند باعث افزایش وزن بیشتر گوساله‌ها در حین شیرگیری شوند (Harvey و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین، تغییرات کوچکی در ترکیب این مکمل‌ها می‌تواند بر مسیرهای متابولیک تأثیر چشمگیری داشته باشد که به بهبود سلامت، تولیدمثل و سوددهی گاو کمک می‌کند. تحقیقات نشان داده‌اند که گوساله‌ها با مکمل‌های آلی افزایش وزن قابل‌توجهی نسبت به گوساله‌های با مکمل‌های غیرآلی دارند (Price و همکاران، ۲۰۱۷؛ Soares و همکاران، ۲۰۲۳). با این وجود، لازم است به این نکته توجه شود که تأثیرگذاری شکل آلی مواد معدنی در مقایسه با شکل غیرآلی مواد معدنی ممکن است بسته به عوامل مختلفی مانند نوع ماده معدنی خاص، رژیم غذایی کلی حیوان و وضعیت فیزیولوژیکی آن متغیر باشد (Arthington و Ranches، ۲۰۲۱). همچنین، منابع ارگانیک تأثیر مثبتی بر متابولیسم، عملکرد ایمنی، رشد، سلامت، وضعیت آنتی‌اکسیدانی همراه با لاشه و کیفیت گوشت حیوانات دارند (Rossi و همکاران، ۲۰۲۰). این مطالعات نشان می‌دهند که مواد معدنی کمیاب آلی ممکن است در مقایسه با مواد معدنی غیرآلی برای افزایش وزن گوساله‌ها در طول شیرگیری مؤثرتر باشند. با این حال، تأثیر آن‌ها ممکن است بسته به عواملی مانند نوع ماده معدنی خاص، رژیم غذایی کلی و وضعیت فیزیولوژیکی حیوان متفاوت باشد.

اثرات جایگزینی شکل غیرآلی مواد معدنی با... / علی مهدوی و همکاران

سایر گروه‌ها معنی‌دار بود ($P < 0.05$). غلظت ایمنوگلوبولین جی، کبالت و منگنز نیز بین تمامی گروه‌ها معنی‌دار بود ($P < 0.05$).

جدول ۳- اثرات جایگزینی شکل غیرآلی مواد معدنی با منابع آلی متابولیت‌های خونی در زمان از شیرگیری و انتهای دوره
Table 3. Effects of replacing inorganic forms of minerals with organic sources on blood metabolites at weaning and the ending

P-value	خطای معیار میانگین SEM	تیمارها Treatments		شاهد Control	فراسنجه‌ها Parameters
		اویلا Availa Four	آلی Organic	غیرآلی Inorganic	
0.05	7.47	88.60 ^b	95.40 ^b	100.20 ^a	شیرگیری (Weaning) گلوکز (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)
0.01	4.66	84.80 ^c	95.60 ^b	106.20 ^a	انتهای دوره (The ending) (Glucose)(mg/dl)
0.19	0.711	7.02	7.18	6.74	شیرگیری (Weaning) پروتئین کل (گرم در دسی‌لیتر)
0.2	0.539	7.54	7.36	6.84	انتهای دوره (The ending) (Total protein) (mg/dl)
0.1	47.13	218.00	209.80	183.20	شیرگیری (Weaning) ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (U/L)
0.56	56.12	206.60	216.80	221	انتهای دوره (The ending) (Total Antioxidant Capacity) (TAC)
0.14	29.87	165.80	163.80	185.80	شیرگیری (Weaning) گلوتاتیون پراکسیداز (واحد بر گرم)
0.01	19.77	185 ^a	133.40 ^b	189.20 ^a	انتهای دوره (The ending) (Glutathione Peroxidase) (GPX) (U/g)
0.01	0.091	1.50 ^b	1.76 ^a	1.60 ^b	شیرگیری (Weaning) بتاهدروکسی بوتیریک اسید (میلی‌مول در لیتر)
0.03	0.209	1.11 ^b	0.72 ^c	1.54 ^a	انتهای دوره (The ending) (Beta hydroxybutyric acid) (BHBA) (mmol/l)
0.01	0.214	11.08 ^c	12.28 ^a	11.58 ^b	شیرگیری (Weaning) ایمنوگلوبولین جی (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)
0.01	0.226	10.28 ^c	11.88 ^a	11.06 ^b	انتهای دوره (The ending) (Immunoglobulin G) (IgG) (mg/dl)
0.43	3.405	49.80	50.40	49.00	شیرگیری (Weaning) سوپراکسید دیسموتاز (واحد بر گرم)
0.6	3.55	49.40	49.40	48.00	انتهای دوره (The ending) (Superoxide Dismutase) (SOD) (U/g)

*در هر ردیف حروف کوچک غیریکسان نشان‌دهنده معنی‌دار بودن است ($P < 0.05$)

*Different letters in each row indicate a statistically significant difference ($P < 0.05$).

جدول ۴- اثرات جایگزینی شکل غیر آلی مواد معدنی با منابع آلی بر مواد معدنی خون در زمان از شیرگیری و پایان دوره
Table 4 . Effects of replacing inorganic forms of minerals with organic sources on blood minerals at weaning and the ending

P-value	خطای معیار میانگین SEM	تیمارها		شاهد	فراسنجه‌ها (میکروگرم بر دسی لیتر) Parameters (µg/dl)	
		تیمارها Treatments	شاهد Control	شاهد Control		
		اویلا Availa Four	آلی organic	غیر آلی Inorganic		
0.02	1.453	46.02 ^b	46.98 ^b	52.38 ^a	شیرگیری (Weaning)	روی
0.01	2.511	47.04 ^b	55.68 ^a	43.56 ^b	پایان دوره (The ending)	Zn
0.15	1.277	54.10	54.66	54.58	شیرگیری (Weaning)	مس
0.03	1.259	55.02 ^b	60.38 ^a	55.52 ^b	پایان دوره (The ending)	Cu
0.02	0.019	0.23 ^b	0.33 ^a	0.27 ^c	شیرگیری (Weaning)	کیالت
0.05	0.018	0.23 ^c	0.32 ^a	0.28 ^b	پایان دوره (The ending)	Co
0.05	0.193	2.39 ^c	2.78 ^a	2.67 ^b	شیرگیری (Weaning)	منگنز
0.05	0.217	2.56 ^c	2.92 ^a	2.70 ^b	پایان دوره (The ending)	Mn

*در هر ردیف حروف کوچک غیریکسان نشان‌دهنده معنی‌دار بودن است (P<0.05)

*Different letters in each row indicate a statistically significant difference (P<0.05).

مواد معدنی و اختلال در متابولیسم انرژی و احتمالاً به دلیل عدم مصرف مناسب گلوکز توسط بدن، گلوکز خون افزایش یافته از طرفی در زمان استفاده از مکمل‌های معدنی به شکل کیالت به علت جذب بهتر مواد معدنی و تولید بیشتر بوتیرات در شکمبه افزایش BHBA مورد انتظار خواهد بود (NRC، ۲۰۰۱). همچنین ترکیبات کیالت به بهبود عملکرد آنزیم‌های کبدی مصرف گلوکز را افزایش داده و لذا سطح گلوکز در خون کاهش یافته ولی BHBA به علت توسعه بهتر پرزهای شکمبه افزایش یافته است (Mousavi-Haghshenas و همکاران، ۲۰۲۲).

نتایج نشان داد که در گروه مکمل غیر آلی، سطح روی خون گوساله‌ها به طور چشمگیری بیشتر از سایر گروه‌ها بود. روی، به عنوان یک عنصر ضروری، در سلامت گوساله‌ها، تقویت سیستم ایمنی، رشد و سلامت پوست و مو نقش حیاتی دارد. کمبود آن در دوران از شیرگیری ممکن است باعث مشکلات گوارشی، ضعف سیستم ایمنی و کاهش رشد شود، اما

نتایج این پژوهش نشان داد که در دوران قبل از شیرگیری، سطح گلوکز خون در گروه‌های دریافت‌کننده مکمل غیر آلی بیشترین افزایش را داشت. گلوکز منبع انرژی اصلی برای سلول‌ها، به‌ویژه مغز، عضلات و سیستم عصبی می‌باشد و به تقویت سیستم ایمنی و افزایش مقاومت در برابر بیماری‌ها کمک می‌کند. در مورد بتا‌هیدروکسی بوتیرات، نتایج نشان داد که مکمل آلی اویلا منجر به کاهش بیشتری نسبت به مکمل‌های آلی داخلی و مکمل‌های معدنی شد. بتا‌هیدروکسی بوتیرات در شرایط کمبود گلوکز، به‌ویژه در دوران از شیرگیری، به عنوان منبع انرژی عمل کرده و همچنین در تنظیم اشتها و تقویت سیستم ایمنی گوساله‌ها نقش دارد. شکل آلی مواد معدنی می‌توانند هضم و جذب سایر مواد مغذی را بهبود بخشند و باعث ایجاد تغییرات متابولیکی در گوساله‌ها شوند که نیاز به تولید بتا‌هیدروکسی بوتیرات را کاهش می‌دهد (Deelen و همکاران، ۲۰۱۶). در مواقع استفاده از شکل معدنی عناصر به علت جذب ناکافی

این اختلاف می تواند به علت حلالیت بالا و جذب سریع مواد معدنی اتفاق افتاده باشد که البته منجر به افزایش کوتاه مدت سطح GPx شده باشد. به طور خلاصه، انتخاب بین مکمل های معدنی غیرآلی و آلی به عواملی مانند فراهمی زیستی، پایداری و ملاحظات عملی وابسته است. برای بهینه سازی فعالیت گلوکوتایون پراکسیداز در دوره از شیرگیری گوساله ها، مواد معدنی غیرآلی به دلیل تأثیر مستقیم و دسترسی بهتر معمولاً ترجیح داده می شوند. در حالی که مکمل های معدنی غیرآلی معمولاً در دسترس و مقرون به صرفه هستند، مکمل های معدنی آلی ممکن است هزینه بیشتری داشته و نیاز به فرمولاسیون دقیق تری داشته باشند (Świątkiewicz و همکاران، ۲۰۱۴).

پارامترهای هضم: جدول ۵ قابلیت هضم پروتئین، ماده آلی و ماده خشک را در دو دوره مختلف (دوره از شیرگیری و انتهای مطالعه) نشان می دهند. در ابتدای مطالعه هیچ کدام از پارامترهای مورد ارزیابی در گروه های مختلف تیمار اختلاف آماری معنی داری نداشتند. این نتایج نشان دهنده ی یکنواختی در داده ها و اعتبار آن ها برای مقایسه در مراحل بعدی هستند. در مرحله از شیرگیری، قابلیت هضم پروتئین بین گروه های مختلف تفاوت معنی داری نداشت. بالاترین میزان هضم پروتئین در گروه اوایلا مشاهده شد و کمترین میزان مربوط به گروه مکمل غیرآلی بود. قابلیت هضم ماده آلی در گروه اوایلا بالاترین مقدار را نشان داد که این تفاوت نسبت به دو گروه مکمل دیگر معنی دار بود ($P < 0.05$). کمترین میزان هضم ماده آلی نیز مربوط به گروه مکمل غیرآلی بود که با گروه آلی تفاوت معنی داری نداشت. قابلیت هضم ماده خشک نیز در این دوره در گروه اوایلا بیشترین مقدار را داشت. این تفاوت نسبت به گروه غیرآلی معنی دار بود ($P < 0.05$)، اما با گروه مکمل آلی تفاوت معنی داری مشاهده نشد. در انتهای مطالعه، در مقایسه

با شروع تغذیه خوراک، سطح روی به طور تدریجی افزایش می یابد (Indarjulianto و Paryuni، ۲۰۲۴؛ Mohameden و همکاران، ۲۰۲۳). آنتی-بادی ایمنوگلوبولین جی برای تقویت سیستم ایمنی گوساله ها و مبارزه با بیماری ها حیاتی است. استفاده از مکمل های ارگانیک می تواند بهبود تغذیه و عملکرد سیستم ایمنی را به همراه داشته باشد و به گوساله ها کمک می کند تا جذب و استفاده از مواد مغذی را افزایش دهند و سطوح ایمنوگلوبولین جی مطلوبی به دست آورند (Lorenz و همکاران، ۲۰۲۱). مواد معدنی کیلاته با بهبود جذب مواد معدنی، به طور غیرمستقیم می توانند سطح IgG را افزایش دهند. نتایج این مطالعه نشان داد که در گروه دریافت کننده مکمل آلی، سطح ایمنوگلوبولین جی خون گوساله ها به طور معنی داری بیشتر از دو گروه دیگر بود ($P < 0.05$). گلوکوتایون پراکسیداز در کاهش استرس ناشی از شیرگیری گوساله ها نقش مهمی ایفا می کند. گلوکوتایون پراکسیداز، به عنوان یک آنزیم آنتی-اکسیدان، با خنثی سازی رادیکال های آزاد و گونه های فعال اکسیژن، از آسیب اکسیداتیو جلوگیری کرده و از سلول ها محافظت می کند. فعالیت این آنزیم به طور قابل توجهی به عناصر کمیاب معدنی مانند منگنز، روی، مس و کبالت بستگی دارد. در دوران از شیرگیری گوساله ها، استرس اکسیداتیو افزایش یافته و نیاز به گلوکوتایون پراکسیداز بیشتر می شود و مکمل سازی مناسب با این ریزمغذی ها در این دوره به کاهش اثرات استرس اکسیداتیو و حفظ سلامت گوساله ها کمک می کند (Degroote و همکاران، ۲۰۲۰؛ Wang و همکاران، ۲۰۲۲). نتایج حاضر نشان داد که در گروه مکمل غیرآلی، آنزیم گلوکوتایون پراکسیداز نسبت به مکمل آلی افزایش معنی داری دارد. اگرچه چهار عنصر مورد بررسی هم در خون و هم جذیشان در مکمل های آلی بیشتر از معدنی بود.

گروه های مختلف تیمار، قابلیت هضم پروتئین و ماده خشک تفاوت معنی داری نداشت. گروه اوایلا بالاترین میزان قابلیت هضم ماده آلی را نشان داد که تفاوت معنی داری با دو گروه دیگر داشت ($P < 0.05$). کمترین میزان هضم ماده آلی در گروه مکمل غیرآلی مشاهده شد که تفاوت معنی داری با گروه مکمل آلی نداشت.

جدول ۵- اثرات جایگزینی شکل غیرآلی مواد معدنی با منابع آلی بر قابلیت هضم مواد مغذی در دوره از شیرگیری و انتهای دوره (درصد)
Table 5. Effects of replacing inorganic forms of minerals with organic sources on nutrient digestibility during weaning and the ending (percent)

P-value	خطای معیار میانگین SEM	تیمارها Treatments		شاهد Control	فراسنجه ها (%) Parameters
		اوایلا Availa Four	آلی Organic	غیرآلی Inorganic	
0.13	2.794	73.73	73.25	70.50	شیرگیری (Weaning) پروتئین (Protein)
0.1	2.349	71.97	72.23	69.16	انتهای دوره (The ending)
0.04	1.893	74.11 ^a	72.12 ^b	70.60 ^b	شیرگیری (Weaning) ماده آلی (Organic)
0.05	1.683	72.85 ^a	70.20 ^b	68.71 ^b	انتهای دوره (The ending) (matter OM)
0.05	1.35	87.76 ^a	86.93 ^{ab}	86.78 ^b	شیرگیری (Weaning) ماده خشک (Dry matter)
0.13	1.315	86.99	85.54	85.42	انتهای دوره (The ending) (DM)

*در هر ردیف حروف کوچک غیریکسان نشان دهنده معنی دار بودن است ($P < 0.05$)

*Different letters in each row indicate a statistically significant difference ($P < 0.05$).

دوره از شیرگیری گوساله ها، استفاده از اشکال آلی مواد معدنی کمیاب منگنز، روی، مس و کبالت با تقویت جمعیت میکروبی شکمبه، به بهبود هضم و جذب مواد مغذی کمک می کند. این تغییرات در فرآیند متابولیک گوساله ها، باعث بهبود رشد، تقویت عملکرد سیستم ایمنی و ارتقاء سلامت کلی می شود. تأمین مناسب این مکمل ها نه تنها به تسهیل انتقال گوساله ها از شیر به خوراک کمک می کند، بلکه شرایط بهینه تری برای شروع رشد سالم فراهم می آورد و برای رشد و فعالیت میکروب های شکمبه حیاتی هستند (Quigley و همکاران، ۲۰۱۷).

اشکال آلی این عناصر نسبت به فرم های معدنی آن ها مزایای متعددی دارند: دسترسی زیستی و جذب بهتر، کیلاته شدن که باعث جذب بهتر می شود، افزایش کارایی میکروب های شکمبه و نقش مؤثر در

این مطالعه نشان داد که هضم ماده آلی در گروه دریافت کننده شکل آلی عناصر منگنز، روی، مس و کبالت به شکل معنی داری بیشتر از گروه غیرآلی بود اما با گروه اوایلا تفاوت معنی داری نداشت. در فرآیند از شیرگیری گوساله ها، تغییرات قابل توجهی در سیستم گوارشی گوساله ها رخ داده و نیازمند توسعه شکمبه و افزایش جمعیت میکروبی آن است (Amin و Seifert، ۲۰۲۱). این تغییرات تأثیر زیادی بر توانایی گوساله ها در جذب مواد مغذی حیاتی مانند انرژی، پروتئین، ویتامین ها و مواد معدنی می گذارد. هضم ضعیف مواد غذایی در این مرحله می تواند به مشکلاتی نظیر رشد ضعیف، کاهش عملکرد سیستم ایمنی و بروز بیماری ها منجر شود (Davies و همکاران، ۲۰۲۲). در طول این فرآیند هضم ماده خشک برای جذب مواد مغذی ضروری است. در

اثرات جایگزینی شکل غیرآلی مواد معدنی با... / علی مهدوی و همکاران

میزان جذب کبالت در گروه مکمل اوایلا مشاهده شد و به ترتیب گروه‌های مکمل آلی و مکمل غیرآلی در رتبه های بعدی قرار گرفتند. این تفاوت در میزان جذب کبالت بین هر سه گروه معنی دار بود ($P < 0.05$). در مورد مس، منگنز و روی، کمترین میزان جذب در گروه مکمل غیرآلی ثبت شد که این تفاوت نسبت به دو گروه دیگر معنی دار بود ($P < 0.05$). بیشترین میزان جذب این عناصر در گروه مکمل آلی مشاهده شد که تفاوت معنی داری با گروه اوایلا نداشت.

سیستم‌های آنزیمی؛ به‌عنوان مثال مس باعث افزایش عملکرد آنزیم‌ها در شکمبه و روده کوچک و به دنبال آن هضم بهتر نشاسته می‌شود؛ روی به عملکرد سیستم ایمنی، ت*خمیر شکمبه و هضم روده کمک می‌کند و منگنز باعث بهبود هضم و استفاده از کربوهیدرات‌ها می‌شود و کبالت آلی با بهینه‌سازی تخمیر شکمبه و بهبود هضم فیبر، موجب افزایش استفاده از مواد مغذی می‌شود (Soltani و همکاران، ۲۰۲۰). میزان جذب مواد معدنی: بر اساس جدول ۶، بیشترین

جدول ۶- اثرات جایگزینی شکل غیرآلی مواد معدنی با منابع آلی بر میزان جذب مواد معدنی در انتهای دوره

Table 6 . Effects of replacing inorganic forms of minerals with organic sources on mineral absorption at the ending

P-value	خطای معیار میانگین SEM	تیمارها		شاهد	فراسنجه‌ها (%) Parameters
		Treatments		Control	
		اوایلا Availa Four	آلی Organic	غیر آلی Inorganic	
0.01	1.88	75.99 ^a	73.21 ^b	40.73 ^c	کبالت Co
0.01	2.539	73.68 ^a	75.86 ^a	41.15 ^b	مس Cu
0.01	2.071	72.79 ^a	71.75 ^a	39.64 ^b	منگنز Mn
0.01	2.46	76.31 ^a	77.62 ^a	40.84 ^b	روی Zn

*در هر ردیف حروف کوچک غیریکسان نشان‌دهنده معنی دار بودن است ($P < 0.05$)

*Different letters in each row indicate a statistically significant difference ($P < 0.05$).

مادر با این مواد معدنی در اواخر و پس از زایمان وضعیت ایمنی گوساله‌ها را بهبود می‌بخشد (Clayden و همکاران، ۲۰۱۲؛ Ramah و همکاران، ۲۰۲۳). مطالعات نشان دادند که گوساله‌های متولدشده از گاوهایی که با شکل آلی مواد معدنی مکمل شده بودند، در زمان تولد غلظت بالاتری از این مواد معدنی در کبد داشتند. همچنین، گاوهای دریافت‌کننده ترکیبات آلی به دلیل فراهم‌زیستی بالا این ترکیبات، دارای غلظت بالاتری از سلنیوم در سرم، شیر و مایع شکمبه بودند و بعد از زایمان کاهش گلوتامات دهیدروژناز و افزایش آلبومین داشتند. در نهایت شیوع لنگش، غلظت اسیدهای چرب استریفیه شده و

مواد معدنی کمیاب مانند روی، مس، کبالت و منگنز برای رشد و سلامت گوساله‌ها، به‌ویژه در زمان از شیرگیری، اهمیت دارند. در این زمینه، اشکال آلی معمولاً با مولکول‌هایی کمپلکس یا کیلاته می‌شوند که جذب آن‌ها توسط بدن آسان‌تر است. مس در متابولیسم آهن، تشکیل سلول‌های خونی، تشکیل بافت همبند و دفاع ضد اکسیداتیو مؤثر است. کبالت جزئی از ویتامین B₁₂ است که برای تولید گلبول‌های قرمز و متابولیسم انرژی ضروری است و منگنز در متابولیسم چربی و کربوهیدرات، تنظیم فشارخون، جذب کلسیم و در تشکیل استخوان‌ها، هورمون‌های جنسی و فاکتورهای انعقاد خون نقش دارد. مکمل

آلی و غیرآلی مواد معدنی به ساختار شیمیایی و نحوه تعامل آن‌ها با سیستم‌های بیولوژیکی مربوط می‌شود. اگرچه شکل آلی مواد معدنی دسترسی زیستی بیشتری دارند، اما هر دو شکل می‌توانند در تأمین نیازهای تغذیه‌ای حیوانات مؤثر باشند.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، مکمل اوایلا در مقایسه با مکمل غیرآلی و مکمل آلی ایرانی، عملکرد بهتری در مقادیر گلوکز، روی خون، هضم مواد مغذی، جذب مواد معدنی، مصرف ماده خشک و میانگین افزایش وزن روزانه نشان داد. بااین‌حال، در بسیاری از موارد، بین مکمل آلی و اوایلا تفاوت معنی‌داری نبود.

مشکلات متابولیک کاهش یافت (Marques و همکاران، ۲۰۱۶؛ Mion و همکاران، ۲۰۲۳).

نتایج مطالعه دیگری نشان داد که استفاده از فرم آلی مس، روی و منگنز تأثیر مثبت چشمگیری بر پارامترهای رشد و نرخ آبستنی داشته است (Van Emon و همکاران، ۲۰۲۰). تعیین‌شده که مکمل‌های حاوی ترکیبات آلی مواد معدنی می‌توانند تعداد سلول‌های سوماتیک را تا ۳۰ درصد کاهش دهند (López-Alonso، ۲۰۱۲). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بیشترین جذب کبالت در گروهی بود که از مکمل اوایلا استفاده می‌کردند. بیشترین جذب مس، منگنز و روی در گروهی مشاهده شد که از مکمل آلی استفاده می‌کردند. تفاوت در میزان جذب بین اشکال

منابع

- 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>.
- Ahangarani, M. A., Dehghani, M. R., & Naserian, A. A. (2021). The effect of adding sources of fat to milk on performance, growth, health, blood and ruminal parameters of Holstein female dairy calves in the first month after birth. *Animal Production*, 23(2), 179-189. (In Persian).
- Amin, N., & Seifert, J. (2021). Dynamic progression of the calf's microbiome and its influence on host health. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 19, 989-1001. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2021.01.035>.
- Arthington, J. D., & Ranches, J. (2021). Trace mineral nutrition of grazing beef cattle. *Animals*, 11(10), 2767. <https://doi.org/10.3390/ani11102767>.
- Bonaventura, P., Benedetti, G., Albarède, F., & Miossec, P. (2015). Zinc and its role in immunity and inflammation. *Autoimmunity Reviews*, 14(4), 277-285. <https://doi.org/10.1016/j.autrev.2014.11.008>.
- Carter, H. S., Renaud, D. L., Steele, M. A., Fischer-Tlustos, A. J., & Costa, J. H. (2021). A narrative review on the unexplored potential of colostrum as a preventative treatment and therapy for diarrhea in neonatal dairy calves. *Animals*, 11(8), 2221. <https://doi.org/10.3390/ani11082221>.
- 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>.
- Clayden, J., Greeves, N., & Warren, S. (2012). *Organic chemistry*. Oxford University Press, USA.
- Davies, S. J., Esposito, G., Villot, C., Chevaux, E., & Raffrenato, E. (2022). An Evaluation of Nutritional and Therapeutic Factors Affecting Pre-Weaned Calf Health and Welfare, and Direct-Fed Microbials as a Potential Alternative for Promoting Performance—A Review. *Dairy*, 3(3), 648-667. <https://doi.org/10.3390/dairy3030045>.
- Deelen, S., Leslie, K., Steele, M., Eckert, E., Brown, H., & DeVries, T. (2016). Validation of a calf-side β -hydroxybutyrate test and its utility for estimation of starter intake in dairy calves around weaning. *Journal of Dairy Science*, 99(9), 7624-7633. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11097>.

- Degroote, J., Vergauwen, H., Wang, W., Van Ginneken, C., De Smet, S., & Michiels, J. (2020). Changes of the glutathione redox system during the weaning transition in piglets, in relation to small intestinal morphology and barrier function. *Journal of animal science and biotechnology*, 11, 1-17. <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00440-7>.
- Enríquez, D., Hötzel, M. J., & Ungerfeld, R. (2011). Minimising the stress of weaning of beef calves: a review. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 53, 1-8. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-53-28>.
- Gayathri, S., & Panda, N. (2018). Chelated minerals and its effect on animal production: A review. *Agricultural Reviews*, 39(4), 314-320. <https://doi.org/10.18805/ag.R-1823>.
- Glover, A., Puschner, B., Rossow, H., Lehenbauer, T., Champagne, J., Blanchard, P., & Aly, 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. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.09.001>.
- Handique, B., Singh, P., & Verma, A. (2022). Effect of Dietary Supplementation of Seaweed Formulations on Nutrient Utilization, Growth Performance, Serum Antioxidant Activity and Immunity in Crossbred Calves. *Indian Journal of Animal Research*. <https://doi.org/10.18805/IJAR.B-4947>.
- Harvey, K. M., Cooke, R. F., Colombo, E. A., Rett, B., de Sousa, O. A., Harvey, L. M., Russell, J. R., Pohler, K. G., & Brandão, A. P. (2021). Supplementing organic-complexed or inorganic Co, Cu, Mn, and Zn to beef cows during gestation: physiological and productive response of cows and their offspring until weaning. *Journal of Animal science*, 99(5), skab095. <https://doi.org/10.1093/jas/skab095>.
- Hu, C., Song, J., Li, Y., Luan, Z., & Zhu, K. (2013). Diosmectite–zinc oxide composite improves intestinal barrier function, modulates expression of pro-inflammatory cytokines and tight junction protein in early weaned pigs. *British Journal of Nutrition*, 110(4), 681-688. <https://doi.org/10.1017/S0007114512005508>.
- Indarjulianto, S., & Paryuni, A. D. (2024). Zinc Deficiency in Ruminants and its Management: a Brief Review. *Journal of Tropical Animal & Veterinary Sciences. Jurnal Ilmu Peternakan dan Veteriner Tropis*, 14(3). <https://doi.org/10.46549/jipvet.v14i3.408>.
- Ji, H., Tan, D., Chen, Y., Cheng, Z., Zhao, J., & Lin, M. (2023). Effects of different manganese sources on nutrient digestibility, fecal bacterial community, and mineral excretion of weaning dairy calves. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1163468. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1163468>.
- Kasiani, A., Rezayazdi, K., & Zhandi, M. (2021). Effects of replacing inorganic forms of manganese, zinc, copper and selenium with their organic source on growth performance of suckling Holstein calves. *Journal of Ruminant Research*, 9(1), 55-68. <https://doi.org/10.22069/ejrr.2020.18424.1764>. (In Persian).
- Khan, M., Weary, D., & Von Keyserlingk, M. (2011). Invited review: Effects of milk ration on solid feed intake, weaning, and performance in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 94(3), 1071-1081. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3733>.
- López-Alonso, M. (2012). Trace minerals and livestock: not too much not too little. *International Scholarly Research Notices*, 2012(1), 704825. <https://doi.org/10.5402/2012/704825>.
- Lorenz, I. (2021). Calf health from birth to weaning-an update. *Irish Veterinary Journal*, 74, 1-8. <https://doi.org/10.1186/s13620-021-00185-3>.
- Marques, R., Cooke, R., Rodrigues, M., Cappellozza, B., Mills, R., Larson, C., Moriel, P., & Bohnert, D. (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. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-0036>.
- Mattioli, G. A., Rosa, D. E., Turic, E., Testa, J. A., Lizarraga, R. M., & Fazio, L. E. (2019). Effect of injectable copper and zinc supplementation on weight, hematological parameters, and immune response in pre-weaning beef calves. *Biological Trace Element Research*, 189, 456-462. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1493-9>.

- Miller-Ihli, N. J. (1996). Trace element determinations in foods and biological samples using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and flame atomic absorption spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(9), 2675-2679. <https://doi.org/10.1021/jf950616l>.
- Mion, B., Ogilvie, L., Van Winters, B., Spricigo, J. F., Anan, S., Duplessis, M., McBride, B. W., LeBlanc, S. J., Steele, M. A., & Ribeiro, E. d. S. (2023). Effects of replacing inorganic salts of trace minerals with organic trace minerals in the pre-and postpartum diets on mineral status, antioxidant biomarkers, and health of dairy cows. *Journal of Animal Science*, 101, skad041. <https://doi.org/10.1093/jas/skad041>.
- Miqueo, E., Mattioli, G. A., Moore, D. P., Bilbao, M. G., Moran, K. D., & Relling, A. E. (2024). Impact of Parenteral Maternal Supplementation with Trace Minerals and Vitamins on Neonatal Calf Antioxidant System and Growth in a Dairy Herd. *Animals*, 14(13), 1868. <https://doi.org/10.3390/ani14131868>.
- Mohameden, W., Abdel-Rahman, H., & Hegab, I. (2023). Mineral supplementation in diseased buffalo calves and impact on health, behavior, and clinical blood profiles. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 11(8), 1288-1296. <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2023/11.8.1288.1296>.
- Mousavi-Haghshenas, M., Hashemzadeh, F., Ghorbani, G., Ghasemi, E., Rafiee, H., & Ghaffari, M. (2022). Trace minerals source in calf starters interacts with birth weights to affect growth performance. *Scientific Reports*, 12(1), 18763. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23459-4>. (In Persian).
- 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. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1439-2>.
- National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition, Washington, DC: The National Academies Press. pp: 132-146.
- Neamț, R., Ilie, D., Enculescu, M., Săplăcan, S., & Csiszter, T. (2019). The Weaning Stress Effect on Calf Behaviour and Performances. *Research Journal of Biotechnology Vol*, 14, 3.
- Neville, B., Baumgaertner, F., PICKINPAUGH, W., MENEZES, A., MCCARTHY, K., UNDI, M., & DAHLEN, C. (2024). Influence of pre-weaning trace mineral exposure on subsequent performance and trace mineral status of beef calves during finishing. *Bovine Practitioner Journal*, 58(1), 1-7.
- Ogilvie, L., Van Winters, B., Mion, B., King, K., Spricigo, J., Karrow, N., Steele, M., & Ribeiro, E. (2023). Effects of replacing inorganic salts of trace minerals with organic trace minerals in the diet of prepartum cows on quality of colostrum and immunity of newborn calves. *Journal of Dairy Science*, 106(5), 3493-3508. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21913>.
- Orihuela, A., & Galina, C. S. (2019). Effects of separation of cows and calves on reproductive performance and animal welfare in tropical beef cattle. *Animals*, 9(5), 223. <https://doi.org/10.3390/ani9050223>.
- Porter, W. C. (2021). Impact of Organic or Inorganic Trace Minerals and Days Backgrounded on Dairy Calves Raised Using an Automated Calf Feeder. North Carolina State University.
- Price, D., Arellano, K., Irsik, M., Rae, D., Yelich, J., Mjoun, K., & Hersom, M. (2017). Effects of trace mineral supplement source during gestation and lactation in Angus and Brangus cows and subsequent calf immunoglobulin concentrations, growth, and development. *The Professional Animal Scientist*, 33(2), 194-204. <https://doi.org/10.15232/pas.2016-01549>.
- Putriyana, A. M. E., Tanuwiria, U. H., & Tasripin, D. S. (2022, April). The Effect of Ca-PUFA, Protein Protected by Tannin and Organic Minerals (Zn, Cu, Cr, and Se) on Thyroxine Levels in Dairy Calves. In *6th International Seminar of Animal Nutrition and Feed Science (ISANFS 2021)* (pp. 259-261). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/absr.k.220401.052>.
- Quigley, J. D., Hill, T. M., Suarez-Mena, F. X., Dennis, T. S., Aldrich, J. M., & Schlotterbeck, R. L. (2017, February). Modeling the effects of liquid intake and weaning on digestibility of nutrients

- in pre-and post-weaned dairy calves. *In 28th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium* (Vol. 770, p. 169).
- Rajaei-Sharifabadi, H., Shamkhani, E., Hafizi, M., Mohammadi, S., Shokri, Z., Ahmadibonakdar, Y., & Seradj, A. R. (2024). Source-dependent effects of early-life zinc supplementation in milk on growth performance and starter intake of pre-weaned dairy calves. *Frontiers in Animal Science*, 5, 1462245. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1462245>.
- Ramah, A., Kato, T., Shinya, U., Baakhtari, M., Imatake, S., Jadi, A. R., & Yasuda, M. (2023). Effects of Maternal Supplementation with Organic Trace Minerals including Zinc, Manganese, Copper, and Cobalt during the Late and Post-Partum Periods on the Health and Immune Status of Japanese Black Calves. *Animals*, 13(23), 3679. <https://doi.org/10.3390/ani13233679>.
- Rossi, C. A. S., Grossi, S., Compiani, R., Baldi, G., Agovino, M., & Rossi, L. (2020). Effects of different mineral supplementation programs on beef cattle serum Se, Zn, Cu, Mn concentration, health, growth performance and meat quality. *Large Animal Review*, 26(2), 57-64.
- Soares, M. S., Batista, L. H. C., Oliveira, I. M., Issa, H. A. S., Cidrini, I. A., Ferreira, I. M., Costa e Silva, L. F., Koontz, A., Holder, V., & Siqueira, G. R. (2023). Effects of a Blend of Live Yeast and Organic Minerals as an Alternative to Monensin on Intake, Digestibility, Performance and Beef Quality of Nelore Bulls Finished on Pasture with High Concentrate Supplementation. *Agriculture*, 13(3), 522. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030522>.
- Soltani, E., Naserian, A. A., Khan, M., Ghaffari, M., & Malekhhahi, M. (2020). Effects of conditioner retention time during pelleting of starter feed on nutrient digestibility, ruminal fermentation, blood metabolites, and performance of Holstein female dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 103(10), 8910-8921. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18345>.
- Świątkiewicz, S., Arczewska-Włosek, A., & Jozefiak, D. (2014). The efficacy of organic minerals in poultry nutrition: review and implications of recent studies. *World's Poultry Science Journal*, 70(3), 475-486. <https://doi.org/10.1017/S0043933914000531>.
- Van Emon, M., Sanford, C., & McCoski, S. (2020). Impacts of bovine trace mineral supplementation on maternal and offspring production and health. *Animals*, 10(12), 2404. <https://doi.org/10.3390/ani10122404>.
- Van Keulen, J., & Young, B. (1977). Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, 44(2), 282-287. <https://doi.org/10.2527/jas1977.442282x>.
- Wang, S., Wang, F., Kong, F., Cao, Z., Wang, W., Yang, H., Wang, Y., Bi, Y., & Li, S. (2022). Effect of supplementing different levels of L-glutamine on Holstein calves during weaning. *Antioxidants*, 11(3), 542. <https://doi.org/10.3390/antiox11030542>.
- Wo, Y., Jin, Y., Gao, D., Ma, F., Ma, Z., Liu, Z., Chu, K., & Sun, P. (2022). Supplementation with zinc proteinate increases the growth performance by reducing the incidence of diarrhea and improving the immune function of dairy calves during the first month of life. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 911330. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.911330>.
- Zhang, R., Wei, M., Zhou, J., Yang, Z., Xiao, M., Du, L., & Bao, H. (2024). Effects of organic trace minerals chelated with oligosaccharides on growth performance, blood parameters, slaughter performance and meat quality in sheep. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1366314. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1366314>.

