Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Ruminant Research

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

Effects of Rumen-Protected Methionine on Milk Production Performance, Feed Efficiency, and Economic Parameters in Early Lactation Dairy Cows Under Heat Stress

Amir Hosseini Rad[1], Farhang Fatehi[2*], Kamran reza-yazdi[3], Mostafa Sadeghi[4]

[1]MSc. student, Department of Animal Science, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj

[2](Corresponding Author)Associate Professor, Department of Animal Science, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Email: fatehif@ut.ac.ir

[3]Professor, Department of Animal Science, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj

[4]Associate Professor, Department of Animal Science, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received:
Revised:
Accepted:

Keywords:
Dairy cows
Feed efficiency
Heat stress
Milk production
Rumen-protected methionine

ABSTRACT

Background and Objective: Heat stress is a fundamental challenge in dairy cattle production in hot regions, particularly during early lactation, causing reduced feed intake, metabolic disorders, and decreased milk production. This stress also disrupts the metabolism of proteins and essential amino acids. Methionine, the limiting essential amino acid in dairy cow diets, plays a key role in protein synthesis, energy metabolism, and metabolic health, but its bioavailability is limited due to ruminal degradation. Under heat stress conditions, the requirement for specific amino acids such as methionine may increase due to metabolic changes and increased need for antioxidants (such as glutathione, in which methionine plays a role in synthesis). However, limited information exists regarding the effects of rumen-protected methionine on the performance of early lactation dairy cows under heat stress. Rumen-protected methionine, which is resistant to microbial degradation in the rumen, can improve milk production, protein percentage, and feed efficiency. Under heat stress conditions, methionine requirements likely increase due to metabolic changes and increased antioxidant needs. This research was conducted to investigate the effect of rumen-protected methionine on milk production performance and economic parameters in early lactation Holstein cows under heat stress.

Materials and Methods: This study used 24 lactating Holstein cows (12 cows per treatment) with average days in milk (91 ± 12), milk production (37 ± 3), and parity (2.4 ± 0.1) at the University of Tehran research farm. The present study was conducted using repeated measures designs with 2 experimental treatments including control treatment: basal diet (containing zero levels of rumen-protected methionine) and methionine treatment: basal diet plus methionine (containing 25 grams of rumen-protected methionine per day per lactating cow).

Results: Results showed that raw milk production (37 vs. 34.8 liters per day) ($P < 0.05$) and energy-corrected milk (38.8 vs. 35.8 liters per day) ($P < 0.05$) were significantly higher for cows receiving rumen-protected methionine compared to the control group. Feed efficiency calculated based on raw milk, fat-corrected milk, and energy-corrected milk was significantly higher in the methionine group. Regarding milk composition,

fat percentage (3.42 vs. 3.18 percent) and total milk solids (12.9 vs. 11.1 percent) significantly increased in the methionine-containing treatment. Milk fat yield (1.32 vs. 1.17 kg per day) and total milk solids yield (4.97 vs. 4.10 kg per day) were also significantly higher in the rumen-protected methionine group. Economic parameters showed that milk sales revenue for the methionine treatment compared to the control treatment (13.44 vs. 12.99 US$) was significantly higher (P< 0.02), and income over feed cost for the methionine treatment compared to the control treatment (5.86 vs. 5.33 US$) was also significantly higher (P<0.03). In fact, daily consumption of 50 grams of methionine supplement equivalent to 0.53 US$ per cow generated profit for the farmer.

Conclusion: The use of rumen-protected methionine in early lactation dairy cow diets can be considered as an ideal additive in nutritional management of early lactation dairy cows under heat stress due to improved milk production and composition as well as improved economic parameters.

Cite this article: Hosseini Rad, A., Fatehi, F., Reza-yazdi, K., Sadeghi, M. (2026). Effects of Rumen-Protected Methionine on Milk Production Performance, Feed Efficiency, and Economic Parameters in Early Lactation Dairy Cows Under Heat Stress. *Journal of Ruminant Research*, 14(2),

© The Author(s)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

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

بررسی اثر متیونین محافظت‌شده بر عملکرد تولید شیر، بازدهی خوراک و برآورد اقتصادی در گاوهای اوایل دوره شیردهی تحت تنش حرارتی

سیدامیر حسینی‌راد[۱]، فرهنگ فاتحی[۲*]، کامران رضایزدی[۳]، مصطفی صادقی[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی‌ارشد تغذیه دام، گروه علوم دامی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
[۲] (نویسنده مسئول) دانشیار گروه علوم دامی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، رایانامه: fatehif@ut.ac.ir
[۳] استاد تمام گروه علوم دامی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
[۴] دانشیار گروه علوم دامی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت:
تاریخ ویرایش:
تاریخ پذیرش:

واژه‌های کلیدی:
بازدهی خوراک
تنش حرارتی
تولید شیر
گاوهای شیرده
متیونین محافظت شده

چکیده

سابقه و هدف: تنش حرارتی چالشی اساسی در پرورش گاوهای شیری مناطق گرم است که به ویژه در اوایل دوره شیردهی، باعث کاهش مصرف خوراک، اختلالات متابولیکی و افت تولید شیر می‌شود. این تنش همچنین متابولیسم پروتئین و اسیدهای آمینه ضروری را مختل می‌کند. متیونین، اسیدآمینه ضروری محدودکننده در جیره گاوهای شیری، در سنتز پروتئین، متابولیسم انرژی و سلامت متابولیکی نقش کلیدی دارد، اما به دلیل تخریب در شکمبه، دسترسی زیستی آن محدود است. در شرایط تنش حرارتی، نیاز به اسیدهای آمینه خاص مانند متیونین ممکن است به دلیل تغییرات متابولیکی و افزایش نیاز به آنتی‌اکسیدان‌ها (مانند گلوتاتیون که متیونین در سنتز آن نقش دارد) افزایش یابد. بااین‌حال، اطلاعات محدودی درباره اثرات متیونین محافظت‌شده بر عملکرد گاوهای شیری اوایل دوره شیردهی تحت تنش حرارتی وجود دارد. متیونین محافظت‌شده، که در برابر تخریب میکروبی شکمبه مقاوم است، می‌تواند تولید شیر، درصد پروتئین و کارایی تغذیه‌ای را بهبود بخشد. در شرایط تنش حرارتی، نیاز به متیونین احتمالاً به دلیل تغییرات متابولیکی و افزایش نیاز به آنتی‌اکسیدان‌ها افزایش می‌یابد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر متیونین محافظت‌شده بر عملکرد تولید شیر و نیز فراسنجه های اقتصادی در گاوهای هلشتاین اوایل دوره شیردهی تحت تنش حرارتی انجام شده است.

مواد و روش ها: در این مطالعه از ۲۴ رأس گاو شیرده هلشتاین (۱۲ راس گاو به ازای هر تیمار) با میانگین روزهای شیردهی (۱۲± ۹۱) و تولید شیر (۳± ۳۷) و تعداد زایش(۰/۱ ± ۲/۴) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تهران استفاده شد. همچنین مطالعه حاضر در قالب طرح های اندازه گیری مکرر (Repeated Measures Designs) با ۲ تیمار آزمایشی شامل تیمار شاهد: جیره پایه (حاوی سطوح صفر متیونین محافظت شده) و تیمار متیونین: جیره پایه به همراه متیونین (حاوی ۲۵ گرم متیونین محافظت‌شده در روز به ازای هر راس گاو شیرده) انجام گرفت.

یافته ها: نتایج نشان داد که تولید شیر خام (۳٤/۸ در مقابل ۳۷ لیتر در روز) (P<۰/۰۵) و شیر تصحیح‌شده برای انرژی (۳۸/۸ در مقابل ۳۵/۸ لیتر در روز) (P<۰/۰۵) برای گاوهای دریافت‌کننده متیونین محافظت‌شده در مقایسه با گروه شاهد بطور معنی داری بیشتر بود. همچنین بازدهی خوراک محاسبه‌شده بر اساس شیرخام، شیر تصحیح‌شده برای چربی و شیر تصحیح‌شده برای انرژی در گروه متیونین به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. از نظر ترکیبات شیر، درصد چربی (۳/٤۲ در مقابل ۳/۱۸ درصد) و کل مواد جامد شیر (۱۲/۹ در مقابل ۱۱/۱ درصد) در تیمار حاوی متیونین به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (P<۰/۰۱). مقدار چربی شیر (۱/۳۲ در مقابل ۱/۱۷ کیلوگرم در روز) و مقدار کل مواد جامد شیر (٤/۹۷ در مقابل ٤/۱۰ کیلوگرم در روز) نیز در گروه دریافت‌کننده متیونین محافظت‌شده به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (P<۰/۰۱). همچنین فراسنجه های اقتصادی نشان داد که درآمد حاصل از فروش شیر برای تیمار حاوی متیونین در مقایسه با تیمار شاهد بطور معنی داری بیشتر بود (۱۳/٤٤ در مقابل ۱۲/۹٦ دلار) (P<۰/۰۲) و فراسنجه درآمد مازاد بر هزینه خوراک برای تیمار حاوی متیونین در مقایسه با تیمار شاهد نیز بطور معنی داری بالاتر بود (۵/۸٦ در مقابل ۵/۳۳ دلار) (P<۰/۰۳) و در واقع مصرف روزانه ۵۰ گرم مکمل متیونین معادل ۰/۵۳ دلار به ازای هر راس گاو برای دامدار سود ایجاد کرده بود.

نتیجه‌گیری: استفاده از متیونین محافظت شده در جیره گاوهای اوایل دوره شیردهی به دلیل بهبود تولید و ترکیبات شیر و نیز بهبود فراسنجه های اقتصادی می تواند به عنوان یک افزودنی ایده‌آل در مدیریت تغذیه گاوهای اوایل دوره شیردهی تحت تنش حرارتی مدنظر قرار گیرد.

استناد: حسینی‌راد، سیدامیر؛ فاتحی، فرهنگ؛ یزدی، کامران رضا؛ صادقی، مصطفی. (۱٤۰۵). بررسی اثر متیونین محافظت شده بر عملکرد تولید شیر، بازدهی خوراک و برآورد اقتصادی در گاوهای اوایل دوره شیردهی تحت تنش حرارتی. *پژوهش در نشخوارکنندگان*، ۱٤(۲)،

© نویسندگان
ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

تنش حرارتی یکی از چالش‌های اصلی در پرورش گاوهای شیری در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است که می‌تواند تأثیرات منفی قابل‌توجهی بر عملکرد تولیدی و تولیدمثلی این دام‌ها داشته باشد. گاوهای شیرده در اوایل دوره شیردهی به دلیل نیازهای بالای متابولیکی برای تولید شیر، به‌ویژه در شرایط تنش حرارتی، با کاهش مصرف خوراک، عدم تعادل متابولیکی و کاهش تولید شیر مواجه می‌شوند (Wheelock و همکاران، ۲۰۱۰). تنش حرارتی نه‌تنها مصرف ماده خشک را کاهش می‌دهد، بلکه متابولیسم پروتئین و اسیدهای آمینه ضروری را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد، که می‌تواند به کاهش سنتز پروتئین شیر منجر شود (Baumgard و همکاران، ۲۰۱۳).

متیونین، به‌عنوان یکی از اسیدهای آمینه ضروری محدودکننده در جیره گاوهای شیرده، نقش کلیدی در سنتز پروتئین، متابولیسم انرژی و سلامت متابولیکی ایفا می‌کند (NRC، ۲۰۰۱). با این‌حال، متیونین خوراکی به دلیل تخریب در شکمبه، دسترسی زیستی محدودی در روده کوچک دارد. استفاده از متیونین محافظت‌شده که در برابر تخریب میکروبی در شکمبه مقاوم است، به‌عنوان راهکاری برای بهبود تأمین متیونین در گاوهای شیری مورد توجه قرار گرفته است (Patton و همکاران، ۲۰۱۰). مطالعات نشان داده‌اند که افزودن متیونین محافظت‌شده به جیره می‌تواند تولید شیر، درصد پروتئین شیر و کارایی تغذیه‌ای را در گاوهای شیرده بهبود بخشد (Osorio و همکاران، ۲۰۱۳: Batistel و همکاران، ۲۰۱۷: Guimarães و همکاران، ۲۰۲۳).

در شرایط تنش حرارتی، نیاز به اسیدهای آمینه خاص مانند متیونین ممکن است به دلیل تغییرات متابولیکی و افزایش نیاز به آنتی‌اکسیدان‌ها (مانند گلوتاتیون که متیونین در سنتز آن نقش دارد) افزایش یابد (Zhou و همکاران، ۲۰۱۶). بااین‌حال، اطلاعات محدودی درباره اثرات متیونین محافظت‌شده بر عملکرد گاوهای اوایل دوره شیردهی تحت تنش حرارتی وجود دارد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر متیونین محافظت‌شده بر تولید و ترکیبات شیر، بازدهی خوراک و فراسنجه های اقتصادی در گاوهای اوایل دوره شیردهی تحت تنش حرارتی انجام شده است تا به درک بهتری از نقش این مکمل در بهبود عملکرد این دام‌ها کمک کند.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در ایستگاه آموزشی – پژوهشی گروه علوم دامی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در ابتدای جاده محمد شهر طی ماههای تیر و مرداد سال ۱۴۰۳ انجام شد. طول دوره آزمایش شامل پنج هفته بود که سه هفته آن به دوره عادت دهی به جایگاه و جیره و دو هفته آن نیز به نمونه گیری اختصاص یافت. در این مطالعه از ۲۴ رأس گاو شیرده هلشتاین (۱۲ راس گاو به ازای هر تیمار) با میانگین روزهای شیردهی (۱۲ ± ۹۱) و تولید شیر (۳ ± ۳۷) و تعداد زایش (۰/۱ ± ۲/۴) استفاده شد. همچنین مطالعه حاضر در قالب طرح های اندازه‌گیریهای مکرر (Repeated Measures Designs) با ۲ تیمار آزمایشی شامل تیمار شاهد: جیره پایه (حاوی سطوح صفر متیونین محافظت شده) و تیمار متیونین: جیره پایه به همراه متیونین (حاوی ۲۵ گرم متیونین محافظت‌شده در روز به ازای هر راس گاو شیرده) انجام گرفت. متیونین محافظت‌شده مورد استفاده در مطالعه حاضر توسط شرکت گلبار نوید بهار با برند تجاری متیوگل تولید شد و دارای ۵۰ درصد خلوص بود و هر گاو آزمایشی در مطالعه حاضر روزانه مقدار ۲۵ گرم متیونین خالص از منبع متیوگل دریافت نمود. لازم به ذکر است که جیره پایه با استفاده از نرم افزار NASEM2021 متعادل گردید و ترکیبات مواد خوراکی، انرژی و مواد مغذی جیره پایه در جدول ۱ گزارش شده است.

در طول دوره نمونه‌گیری مقدار ماده خشک مصرفی روزانه و نیز مقدار شیر تولیدی گاوها به صورت انفرادی ثبت گردید. لازم به ذکر است که برای محاسبه مقدار شیر تولید شده بر اساس چربی ۳/۵ درصد از معادله ۱ استفاده گردید (NRC، ۲۰۰۱).

معادله ۱

$$3.5\%\ FCM\ (kg)=(0.432\times Milk\ yield\ (kg))+(16.218\times Milk\ fat\ (kg))$$

در مطالعه حاضر، شیر تصحیح‌شده برای انرژی (Energy Corrected Milk) براساس معادله ۲ محاسبه گردید (NRC، ۲۰۰۱).

معادله ۲

$$ECM\ (kg)=Milk\ yield\ (kg)\times[(0.0929\times Fat\ \%)+(0.0563\times Protein\ \%)+(0.0395\times Lactose\ \%)]\div 0.74$$

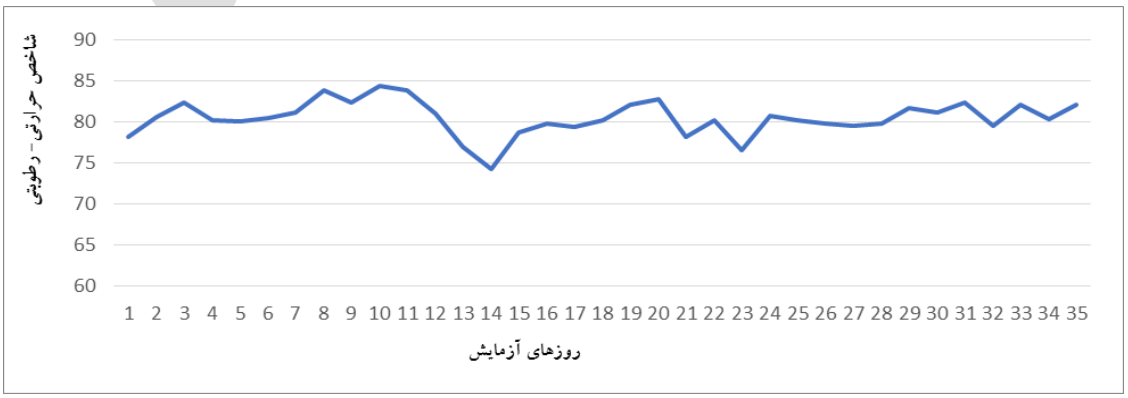
همچنین طی روزهای ۲٦، ۲۸، ۳۰، ۳۲ و ۳٤ آزمایش نمونه های شیر از گاوهای به صورت انفرادی طی شیردوشی وعده صبح جمع آوری و برای اندازه گیری ترکیبات شیر (چربی، پروتئین، لاکتوز و کل مواد جامد شیر) به آزمایشگاه شیر شرکت تعاونی وحدت اصفهان ارسال گردید. لازم به ذکر است که دام ها در طول آزمایش در جایگاه های انفرادی نگهداری شده و دسترسی آزاد به آب و نمک داشتند. همچنین جیره‌های آزمایشی در دو نوبت در ساعات ۸:۰۰ و ۱۸:۰۰ به صورت کاملا مخلوط در اختیار دام ها قرار گرفت و گاوها سه نوبت در شبانه روز در ساعات ۲:۰۰، ۸:۰۰ و ۲۰:۰۰ دوشیده شدند.

در تمامی روزهای آزمایش، راس ساعت ۱٤:۰۰ مقدار رطوبت نسبی و نیز دمای محل نگهداری گاوها با استفاده از دستگاهی که با فاصله یک متری بالای سر گاوها و در جایگاه آزمایشی نصب شده بود ثبت گردید. همچنین شاخص دمایی–رطوبتی (THI) با استفاده از معادله ۳ (Hahn و همکاران، ۲۰۰۹) محاسبه گردید.

معادله ۳

$$THI = ۰/۸\times T + (RH/۱۰۰ \times (T - ۱٤/٤)) + ٤٦/٤$$

در معادله حاضر، THI، شاخص حرارتی – رطوبتی؛ T، دمای هوا بر اساس درجه سانتیگراد و RH، رطوبت نسبی هوا بر اساس درصد است. همچنین بر اساس مطالعات گذشته، پنج ناحیه مختلف آسایش برای گاوهای شیرده شامل سطح عدم ایجاد تنش گرمایی (با شاخص دمایی–رطوبتی کمتر از ۷۲)، سطح استرس متوسط (با شاخص دمایی–رطوبتی ۷۸–۷۲)، سطح استرس شدید (با شاخص دمایی–رطوبتی ۸۹–۷۸)، سطح استرس خیلی شدید (با شاخص دمایی–رطوبتی ۹۸–۸۹)، سطح مرگ (با شاخص دمایی–رطوبتی بیشتر از ۹۸) تعریف گردید (Moran، ۲۰۰۵). مقادیر مربوط به شاخص حرارتی–رطوبتی در طول روزهای انجام مطالعه حاضر در نمودار ۱ آورده شده است.



نمودار ۱. شاخص دمایی–رطوبتی در طو ل روزهای آزمایش در مطالعه حاضر

جدول ۱-ترکیبات مواد خوراکی، انرژی و مواد مغذی محتوی جیره پایه

Table 1 - Composition of feed ingredients, energy and nutrient content of basal diet

اقلام خوراک (Feed ingredients)	مقادیر (بر حسب درصدی از ماده خشک)
سیلوی ذرت (Corn silage)	19.94
یونجه خردخشک شده (Alfalfa hay, chopped)	2.22
کلش (Wheat straw)	0.30
تفاله خیس (Beet pulp)	3.69
دانه جو اسیاب شده (Barley grain, ground)	22.16
دانه ذرت آسیاب شده (Corn grain, ground)	19.94
کنجاله سویا (Soybean meal)	17.73
پنبه دانه (Cotton seed)	3.69
سبوس گندم (Wheat bran)	5.91
مکمل ویتامینی معدنی (Vitamin mineral supplement)	0.89
جوش و شیرین (Sodium bicarbonate)	1.11
نمک (Salt)	0.30
کربنات کلسیم (Calcium carbonate)	0.74
دی کلسیم فسفات (Dicalcium phosphate)	0.22
زئولیت (Zeolite)	0.74
توکسین بایندر (Toxin binder)	0.22
اکسید منیزیم (Magnesium oxide)	0.22
انرژی و مواد مغذی	
ماده خشک٪ (Dry matter, %)	46.0
انرژی خالص شیردهی(مگاکالری برکیلوگرم) (Net Energy of lactation, Mcal/Kg)	1.68
پروتئین خام(٪ماده خشک) (Crude protein, %DM)	17.5
الیاف نامحول در شوینده خنثی(٪ماده خشک) (Neutral detergent fiber, %DM)	30.3
کربوهیرات غیر فیبری(٪ماده خشک) (Non fiber carbohydrate, % DM)	40.2
نشاسته(٪ماده خشک) (Starch, %DM)	27.7
خاکستر(٪ماده خشک) (Ash, %DM)	7.88

مکمل ویتامینی و معدنی {بر اساس کیوگرم در روزماده خشک}:کلسیم:۱۷۰گرم ،فسفر:۶۰گرم،منیزیم:۱۰۰گرم،منگنز:۱۳۰۰۰میلی گرم،مس:۵۰۰۰میلی گرم،آهن:۴۰۰۰میلی گرم،کبالت:۸۰میلی گرم،سانیوم:۱۱۰میلی گرم،ید:۲۰۰میلی گرم،ویتامینA:۱۲۵۰۰۰۰واحد بین المللی،ویتامین D_3:۳۰۰۰۰۰ واحد بین المللی،ویتامینE:۶۰۰۰واحد بین المللی

Vitamin and mineral supplement {based on kg/day of dry matter}: Calcium: 170 g, Phosphorus: 60 g, Magnesium: 100 g, Manganese: 13,000 mg, Copper: 5,000 mg, Iron: 4,000 mg, Cobalt: 80 mg, Sanium: 110 mg, Iodine: 200 mg, Vitamin A: 1,250,000 IU, Vitamin D3: 300,000 IU, Vitamin E: 6,000 IU

در نهایت داده‌های مصرف خوراک، تولید و ترکیبات شیر در قالب طرح های اندازه‌گیریهای مکرر (Repeated Measures Designs) و با استفاده از رویه MIXED برای داده‌های تکرار شده در زمان توسط نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹,٤ به کمک معادله آماری ٤ تجزیه و تحلیل گردید.

معادله ٤:

$$Y_{ijl} = \mu + T_i + A(T_i)_k + T*P_{ij} + b(DIM) + e_{ijk}$$

در معادله مذکور، Y_{ijl} متغیر وابسته؛ μ میانگین کل؛ T_i اثر ثابت تیمار آزمایشی؛ $A(T_i)_k$ اثر تصادفی حیوان k در تیمار i؛ $T*P_{ij}$ اثر متقابل زمان نمونه‌گیری و تیمار؛ b(DIM) اثر کوواریت روزهای شیردهی و e_{ijk} خطای آزمایش است. در این مدل، اثر حیوان به عنوان اثر تصادفی در نظر گرفته شد. قبل از آنالیزها، تمام داده‌ها برای بررسی نرمالیته با استفاده از روش Univariate

نرم‌افزار SAS مورد ارزیابی قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌های تیمارها با استفاده از آزمون PDIFF در خروجی MIXED procedure و در سطح معنی‌داری P<۰/۰۵ انجام شد. لازم به ذکر است که ساختار واریانس-کواریانس استفاده شده در آنالیز داده های مطالعه حاضر از نوع First-Order Autoregressive (AR) بود.

نتایج و بحث

ماده خشک مصرفی، تولید شیر و بازدهی خوراک: نتایج مربوط به اثرات تغذیه متیونین محافظت‌شده در جیره گاوهای اوایل دوره شیردهی بر ماده خشک مصرفی در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان داد که تفاوت معنی داری بین تیمارها از لحاظ مقدار ماده خشک مصرفی روزانه وجود نداشت. مطالعات گذشته نشان داده است که ماده خشک مصرفی روزانه یکی از عوامل کلیدی در عملکرد گاوهای شیرده بویژه در اوایل دوره شیردهی است، زیرا مستقیماً بر تولید شیر، سلامت متابولیکی و کارایی تغذیه‌ای تأثیر گذار است. تنش حرارتی، به‌ویژه در گاوهای اوایل دوره شیردهی، اغلب با کاهش ماده خشک مصرفی همراه است که می‌تواند به کاهش تولید شیر و اختلالات متابولیکی منجر شود (Wheelock و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین متیونین محافظت‌شده در شکمبه به‌عنوان مکملی برای بهبود تأمین اسیدهای آمینه ضروری، به‌ویژه در شرایط تنش‌زا مانند تنش حرارتی، مورد توجه قرار گرفته است. این مکمل با افزایش دسترسی زیستی متیونین در روده کوچک، می‌تواند متابولیسم پروتئین و انرژی را بهبود بخشیده و به‌طور بالقوه بر ماده خشک مصرفی اثر بگذارد (Patton و همکاران ۲۰۱۰). لازم به ذکر است که نتایج مربوط به شاخص دمایی-رطوبتی طی روزهای انجام مطالعه حاضر (نمودار ۱)، نشان داد که میانگین شاخص مذکور برای کل دوره انجام آزمایش ۸۱ بوده است و بیانگر این است که دام‌های مورد مطالعه در زمان انجام آزمایش تحت تنش شدید بوده اند.

همچنین مطالعات نشان داده‌اند که افزودن متیونین محافظت‌شده در شکمبه به جیره گاوهای شیرده بسته به شرایط فیزیولوژیکی دام، ترکیب جیره و سطح تنش محیطی می‌تواند اثرات متفاوتی بر ماده خشک مصرفی داشته باشد. به‌عنوان مثال در مطالعه‌ای که روی گاوهای شیری هلشتاین در اوایل دوره شیردهی انجام گرفت نشان داده شد که کاهش پروتئین خام جیره از ۱۷/۸ به ۱۶/۵ درصد همراه با افزودن متیونین محافظت‌شده (۱۳ گرم در روز) به‌صورت انفرادی یا همراه با لیزین، تأثیر منفی بر ماده خشک مصرفی نداشت و حتی بازده استفاده از نیتروژن خوراک را افزایش داد (Rostami و همکاران، ۲۰۱۸). این یافته‌ها حاکی از آن است که متیونین محافظت‌شده در شکمبه می‌تواند با بهبود تعادل اسیدهای آمینه، نیاز به پروتئین خام جیره را کاهش دهد بدون اینکه مصرف خوراک تحت تأثیر منفی قرار گیرد.

در مطالعه‌ای دیگری گزارش گردید که مکمل متیونین محافظت‌شده در شکمبه در گاوهای شیری در دوره انتقال (۲۸ روز قبل تا ۷۳ روز پس از زایمان) تأثیر معنی‌داری بر ماده خشک مصرفی نداشت، اما به بهبود تولید و ترکیبات شیر طی دوره پس از زایش کمک کرد (Batistel و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعه مذکور نشان داد که اثرات متیونین محافظت‌شده در شکمبه بر ماده خشک مصرفی ممکن است بجای اثرات مستقیم بیشتر از طریق غیر مستقیم و بواسطه بهبود متابولیسم پروتئین و افزایش سنتز پروتئین شیر اعمال گردد. با این‌حال، در شرایط تنش حرارتی، برخی تحقیقات نشان داده‌اند که متیونین محافظت‌شده در شکمبه می‌تواند به‌طور غیرمستقیم با کاهش استرس متابولیکی و بهبود سلامت شکمبه، مصرف خوراک را تثبیت کند (Zhou و همکاران، ۲۰۱۶).

جدول ۲. اثر تغذیه متیونین بر ماده خشک مصرفی، تولید شیر و بازدهی خوراک در گاوهای اوایل دوره شیردهی تحت تنش حرارتی

Table 2. Effect of methionine feeding on dry matter intake, milk production and feed efficiency in high-producing cows under Thermal stress

سطح احتمال معنی داری (p-value)	خطای استاندارد میانگین(SEM)	متیونین(گرم در روز) methionine (g/day)			
		50	شاهد control		
0.53	0.89	22.6	23.4	Dry matter intake (Kg/day)	ماده خشک مصرفی
0.01	0.36	38.4[a]	37.0[b]	Milk yield (kg/day)	تولید شیر خام
0.01	0.72	37.9[a]	35.0[b]	Fat corrected milk 3.5% (Kg/day)	شیر تصحیح شده برای چربی ۳/۵ درصد
0.01	0.7	38.8[a]	35.8[b]	Energy corrected milk (Kg/day)	شیر تصحیح شده برای انرژی
0.14	0.051	1.72[a]	1.61[b]	Feed efficiency (raw milk)	بازدهی خوراک (شیر خام)
0.02	0.051	1.70[a]	1.53[b]	Feed efficiency milk corrected for 3.5% fat)	بازدهی خوراک (شیر تصحیح شده برای چربی ۳/۵ درصد
0.03	0.056	1.74[a]	1.57[b]	Feed efficiency (milk corrected for energy)	بازدهی خوراک (شیر تصحیح شده برای انرژی

SEM: خطای استاندارد میانگین ها، [ab]حروف غیر مشترک در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی داری است.($P\leq 0.05$)

در پژوهشی تأثیر متیونین محافظت شده در گاوهای شیرده تحت تنش حرارتی بررسی گردید و نشان داده شد که افزودن متیونین محافظت‌شده به میزان ۰/۰۸ درصد (بر اساس ماده خشک) به حفظ ماده خشک مصرفی در مقایسه با گروه کنترل منتج گردید (Guimarães و همکاران، ۲۰۲۳). این اثر به بهبود تعادل انرژی و کاهش استرس اکسیداتیو که متیونین به‌عنوان پیش‌ساز گلوتاتیون در آن نقش دارد، نسبت داده شد هر چند که نتایج برخی مطالعات متناقض است و مطالعاتی وجود دارد که در آنها افزودن متیونین محافظت‌شده به جیره گاوهای شیری در شرایط تنش حرارتی تأثیر معنی‌داری بر ماده خشک مصرفی نداشته است اگرچه بازده خوراک و تولید شیر بطور معنی داری افزایش یافته بود (Lee و همکاران، ۲۰۱۹). به‌طور کلی، شواهد کنونی نشان می‌دهند که متیونین محافظت‌شده معمولاً تأثیر مستقیم و قابل‌توجهی بر افزایش ماده خشک مصرفی در گاوهای شیری تحت تنش حرارتی ندارد، اما می‌تواند با بهبود متابولیسم و کاهش استرس متابولیکی، به تثبیت یا حفظ ماده خشک مصرفی کمک کند. این امر به‌ویژه در اوایل دوره شیردهی، که گاوها در معرض کاهش مصرف خوراک هستند، اهمیت دارد.

نتایج مربوط به اثرات تغذیه متیونین محافظت‌شده در جیره گاوهای اوایل دوره شیردهی بر تولید شیر در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان داد که تولید شیر خام (۳۷ در مقابل ۳۸/٤ لیتر در روز) و نیز تولید شیر تصحیح شده بر اساس انرژی (۳۵/۸ در مقابل ۳۸/۸ لیتر در روز) برای تیمار حاوی متیونین در مقایسه با تیمار کنترل بطور معنی داری بیشتر بود ($P<0/01$). همچنین بازدهی خوراک محاسبه شده براساس شیرخام، شیر تصحیح شده برای چربی و شیر تصحیح شده برای انرژی برای تیمار حاوی متیونین در مقایسه با تیمار شاهد بطور معنی داری بیشتر بود.

همانطور که قبلا اشاره گردید، متیونین محافظت شده در شکمبه به‌عنوان مکملی برای بهبود تأمین اسید آمینه ضروری متیونین در گاوهای شیری، به‌ویژه در شرایط چالش‌برانگیز مانند اوایل دوره شیردهی و تنش حرارتی، مورد توجه قرار گرفته است. متیونین نقش

مهمی در سنتز پروتئین شیر، متابولیسم انرژی و تولید آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند گلوتاتیون ایفا می‌کند، که می‌تواند بر تولید و ترکیبات شیر (پروتئین، چربی و لاکتوز) تأثیر بگذارد (NRC، ۲۰۰۱). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که افزودن متیونین محافظت‌شده در شکمبه به جیره گاوهای شیری می‌تواند تولید شیر را افزایش دهد. در مطالعه‌ای که روی گاوهای شیرده تحت تنش حرارتی انجام گرفت نشان داده شد که افزودن ۰/۰۸ درصد متیونین محافظت‌شده در شکمبه (بر اساس ماده خشک)، تولید شیر تصحیح‌شده برای انرژی را به‌طور معنی‌داری (حدود ۱/۵ کیلوگرم در روز) افزایش داد و بیان گردید که افزایش مذکور ناشی از بهبود متابولیسم پروتئین و کاهش استرس اکسیداتیو به دلیل نقش متیونین در سنتز پروتئین و گلوتاتیون بوده است (Guimarães و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین در مطالعه دیگری نشان داده شد که مکمل متیونین محافظت‌شده در شکمبه در دوره انتقال (۲۸ روز قبل تا ۷۳ روز پس از زایمان) تولید شیر را در گاوهای هلشتاین به طور متوسط ۲/۱ کیلوگرم در روز افزایش داد (Batistel و همکاران، ۲۰۱۷).

ترکیبات شیر: نتایج مربوط به اثرات تغذیه متیونین محافظت‌شده در جیره گاوهای اوایل دوره شیردهی بر تولید شیر در جدول ۳ آورده شده است. نتایج نشان داد که در مطالعه حاضر، درصد چربی شیر (۳/٤۲ در مقابل ۳/۱۸ درصد) و همچنین درصد کل مواد جامد شیر (۱۲/۹ در مقابل ۱۱/۱ درصد) برای تیمار حاوی متیونین در مقایسه با تیمار شاهد بطور معنی داری بیشتر بود (P<۰/۰۱). همچنین مقدار چربی شیر (۱/۳۲ در مقابل ۱/۱۷ کیلوگرم در روز) و مقدار کل مواد جامد شیر (٤/۹۷ در مقابل ٤/۱۰ کیلوگرم در روز) برای تیمار حاوی متیونین در مقایسه با تیمار شاهد بطور معنی بیشتر بود (P<۰/۰۱).

اگرچه در مطالعه حاضر تفاوت معنی داری بین تیمارها از لحاظ درصد پروتئین شیر و نیز مقدار پروتئین شیر (کیلوگرم در روز) وجود نداشت اما مطالعات گذشته نشان داده شده است که متیونین محافظت‌شده در شکمبه تأثیر قابل‌توجهی بر ترکیبات شیر، به‌ویژه درصد پروتئین شیر دارد. متیونین به‌عنوان یک اسید آمینه محدودکننده در سنتز کازئین (پروتئین اصلی شیر) نقش کلیدی دارد به عنوان مثال مطالعاتی وجود دارد که گزارش کرده‌اند که افزودن متیونین محافظت‌شده در شکمبه به جیره گاوهای شیری تحت تنش حرارتی، درصد پروتئین شیر را از ۲/۹۵ به ۳/۱۵ درصد افزایش داد ولی تاثیر معنی داری بر درصد چربی شیر نداشت (Lee و همکاران، ۲۰۱۹). این اثر به بهبود قابلیت دسترسی متیونین در روده کوچک و افزایش سنتز پروتئین در غده پستانی نسبت داده شده است. همچنین در مطالعه‌ای روی گاوهای شیرده اواسط دوره شیردهی نشان داده شد که متیونین محافظت‌شده در شکمبه نه تنها درصد پروتئین شیر را افزایش داد (۳/۰۲ در مقابل ۳/۲۲ درصد)، بلکه بازده پروتئین شیر (کیلوگرم پروتئین شیر تولیدی به ازای ماده خشک مصرفی) را نیز بهبود بخشیده بود (Toledo و همکاران، ۲۰۲۱). در رابطه با اثرات متیونین محافظت‌شده بر درصد و نیز مقدار چربی شیر تولیدی روزانه، نتایج متناقضی گزارش شده است بطوریکه برخی مطالعات، نشان داده‌اند که متیونین محافظت‌شده در شکمبه تأثیر معنی‌داری بر درصد چربی شیر نداشته است (Guimarães و همکاران، ۲۰۲۳) درحالی‌که مطالعات دیگری گزارش کرده اند که دوزهای بالاتر متیونین محافظت‌شده در شکمبه (۰/۱ درصد ماده خشک) می‌تواند با بهبود متابولیسم لیپیدها، درصد چربی شیر را افزایش دهد (۳/٦۵ در مقابل ۳/۸۰ درصد)(Zagari و همکاران، ۲۰۲۲). لازم به ذکر است که تفاوت در نتایج گزارش شده ممکن است به عواملی مانند نژاد گاو، مرحله شیردهی، ترکیب جیره و شدت تنش حرارتی مرتبط باشد.

جدول ۳: اثر تغذیه متیونین بر ترکیبات شیر در گاوهای اوایل دوره شیردهی تحت تنش حرارتی

Table 4. Effect of methionine feeding on milk composition in high-producing cows under Thermal stress

	متیونین(گرم در روز) methionine (g/day)		خطای استاندارد میانگین (SEM)	سطح احتمال معنی داری (p-value)
	شاهد control	50		
درصد چربی شیر(%) Milk fat	3.17[b]	3.42[a]	0.086	0.04
درصد پروتئین شیر(%) Milk protein	3.03	3.15	0.133	0.52
درصد لاکتوز شیر(%) Milk lactose	4.82	4.60	0.85	0.08
درصد کل مواد جامد شیر(٪) Percentage of total milk solids(%)	11.1[b]	12.9[a]	3.00	0.01
درصد کل مواد جامد شیر غیر از چربی Total milk solids other than fat(%	8.13	8.03	0.133	0.59
مقدار چربی شیر (کیلوگرم در روز) Milk fat production (kg/day)	1.17[b]	1.32[a]	0.37	0.01
مقدار پروتئین شیر (کیلوگرم در روز) Milk protein production (kg/day)	1.12	1.20	0.051	0.25
مقدار لاکتوز شیر (کیلوگرم در روز) Milk lactose production (kg/day)	1.78	1.76	0.032	0.71
مقدارکل مواد جامد شیر (کیلوگرم در روز) Total milk solids production (kg/day)	4.09[b]	4.98[a]	0.127	0.01
مقدارکل مواد جامد شیر غیر از چربی (کیلوگرم در روز) Total milk solids non-fat production (kg/day)	3.00	3.08	0.051	0.33

SEM: خطای استاندارد میانگین ها،[ab]حروف غیر مشترک در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی داری است.($P\leq 0.05$)

در مطالعه حاضر تفاوت معنی داری بین تیمارهای آزمایشی از لحاظ درصد و مقدار لاکتوز شیر وجود نداشت. همچنین مطالعات گذشته نشان داده اند که لاکتوز شیر معمولاً تحت تأثیر متیونین محافظت‌شده در شکمبه قرار نمی‌گیرد، زیرا متیونین نقش مستقیمی در متابولیسم لاکتوز ندارد. بااین‌حال، برخی مطالعات گزارش کرده‌اند که بهبود کلی متابولیسم انرژی ناشی از متیونین محافظت‌شده در شکمبه می‌تواند به‌طور غیرمستقیم ثبات درصد لاکتوز را حفظ کند (Batistel و همکاران، ۲۰۱۷).

فراسنجه‌های اقتصادی: نتایج مربوط به اثرات تغذیه متیونین محافظت‌شده در جیره گاوهای اوایل دوره شیردهی بر فراسنجه های اقتصادی در جدول ٤ آورده شده است. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که افزودن متیونین محافظت‌شده به جیره گاوهای اوایل دوره شیردهی تحت تنش حرارتی باعث گردید که روزانه ۰/۰۱۱ دلار به هزینه تمام شده خوراک هر راس گاو افزوده شود. لازم به ذکر است که ماده خشک مصرفی برای تیمار حاوی متیونین محافظت‌شده در مقایسه با تیمار شاهد، روزانه ۰/۸ کیلوگرم کمتر بوده است. اگرچه قیمت تمام شده خوراک برای هر راس گاو در تیمارهای متیونین به دلیل افزودن متیونین محافظت‌شده به جیره در مقایسه با تیمار شاهد از لحاظ عددی بیشتر بود ولی این تفاوت از نظر آماری معنی دار نبود (P=۰/٤۲). در مطالعه حاضر با عنایت به تولید شیر بالاتر برای تیمار حاوی متیونین، درآمد حاصل از فروش شیر برای تیمار حاوی متیونین محافظت‌شده در مقایسه با تیمار شاهد (۱۳/٤٦ در مقابل ۱۲/۹۹ دلار) بطور معنی داری بیشتر بود (P<۰/۰۲) و متعاقبا فراسنجه درآمد مازاد بر هزینه

خوراک برای تیمار حاوی متیونین در مقایسه با تیمار شاهد (۵/۸٦ در مقابل ۵/۳۳ دلار) نیز بطور معنی داری بیشتر بود (P<۰/۰۳) و در واقع مصرف روزانه ۲۵ گرم مکمل متیونین محافظت‌شده معادل ۰/۵۳ دلار به ازای هر راس گاو برای دامدار سود ایجاد کرده بود.

همچنین در مطالعه که اخیرا به صورت متا آنالیز انجام گرفت نشان داده شده که استفاده از متیونین محافظت‌شده در جیره گاوهای شیرده می تواند سود خالصی در حدود ۰/٤ الی ۱/۱ دلار در روز بسته به شرایط فیزیولوژیک گاوهای مورد مطالعه، سطح تولید، روزهای شیردهی، کیفیت جیره مصرفی و نیز اقلیم مورد مطالعه برای دامدار ایجاد نماید (Wei و همکاران، ۲۰۲۲).

جدول ٤. اثر تغذیه متیونین بر فراسنجه های اقتصادی در گاوهای اوایل دوره شیردهی تحت تنش حرارتی

Table 4. Effect of methionine feeding on economic parameters in high-producing cows under Thermal stress

فراسنجه‌ها	متیونین(گرم در روز) methionine (g/day)		خطای استاندارد میانگین(SEM)	سطح احتمال معنی‌داری (p-value)
	شاهد control	50		
ماده خشک مصرفی Dry matter intake (kg/day)	23.4	22.6	0.49	0.26
هزینه تمام شده هر کیلوگرم ماده خشک خوراک Dry matter cost (US$/day)	0.324	0.335		
هزینه خوراک مصرفی روزانه Daily feed cost (US$/cow/day)	7.59	7.56	0.070	0.42
تولید شیر خام روزانه Milk Yield (kg/day)	36.9^{b}	38.4^{a}	0.39	0.01
قیمت فروش هر لیتر شیر خام۱ Raw Milk Price (US$/kg)	0.35	0.35		
درآمد حاصل از فروش شیر خام Raw Milk Sale Income (US$/cow/day)	12.92^{b}	13.44^{a}	0.117	0.02
درآمد مازاد بر هزینه خوراک Income Over feed cost	5.33^{b}	5.86^{a}	0.061	0.03
سود حاصل از مصرف متیونین Daily profit from Methionine intake (US$/cow/day)	0.53			

[ab]حروف غیر مشترک در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی داری است.($P\leq 0.05$)

۱. قیمت فروش هر لیتر شیر خام براساس قیمت سال ۲۰۲۵ کشور آمریکا یعنی ۰/۳۵ دلار به ازای هر لیتر محاسبه گردید. همچنین قیمت هر کیلوگرم از اقلام خوراکی به صورت متیوگل ۵ دلار، سیلاژ ذرت ۰/۱۰۲ دلار، یونجه خشک شده ۰/۲۹، کلش ۰/۱۷، تفاله خشک چغندرقند ۰/۲، دانه جو و ذرت ۰/۳۲، کنجاله سویا ۰/۵۸، پنبه دانه ۰/٤۱ ، سبوس ۰/۲۸، مکمل معدنی ویتامینه ۰/۹۹، جوش شیرین ۰/٦، نمک طعام ۰/۰۹۸، کربنات کلسیم ۰/۰۲۱، دی کلسیم فسفات ۱/۰۳، زئولیت ۰/۰۵، توکسین بایندر ۰/٤٦، اکسید منیزیم ۰/۳۵ لحاظ گردید

نتیجه‌گیری کلی

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از متیونین محافظت‌شده در جیره گاوهای اوایل دوره شیردهی تحت تنش حرارتی بواسطه بهبود در تولید و ترکیبات شیر و افزایش بازدهی خوراک تغییرات معنی داری در شاخص های مرتبط با فراسنجه های اقتصای بویژه درآمد مازاد بر هزینه خوراک ایجاد نماید و بر همین اساس استفاده از متیونین محافظت‌شده در شکمبه به‌عنوان یک افزودنی مطلوب در مدیریت تغذیه گاوهای شیرده اوایل دوره شیردهی تحت تنش حرارتی می تواند مدنظر قرار گیرد

سپاسگزاری

بدینوسیله از شرکت گلبار نوید بهار به دلیل تامین هزینه‌های مالی طرح و نیز تامین متیونین محافظت‌شده تحت برند متیوگل تشکر و قدردانی می گردد

منابع

رستمی، آ.، عزیزی، ع.، و جهانی عزیزآبادی، ح. (۱۳۹۷). اثر کاهش سطح پروتئین جیره و استفاده از لیزین و متیونین محافظت‌شده بر عملکرد گاوهای شیرده هلشتاین در اوایل دوره شیردهی .نشریه پژوهش در نشخوارکنندگان، ٦ (۱)، ٦٠

Batistel, F., Arroyo, J. M., Garces, C. I. M., Trevisi, E., Parys, C., Ballou, M. A., Cardoso, F. C., & Loor, J. J. (2017). Ethyl-cellulose rumen-protected methionine enhances performance during the periparturient period and early lactation in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(9), 7455–7467. https://doi.org/10.3168/jds.2017-12689

Baumgard, L. H., & Rhoads, R. P. (2013). Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annual Review of Animal Biosciences*, 1(1), 311–337. https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103644

Wei, C., He, T., Wan, X., Liu, S., Dong, Y., & Qu, Y. (2022). Meta-Analysis of Rumen-Protected Methionine in Milk Production and Composition of Dairy Cows. *Animals*, 12, 1505. https://doi.org/10.3390/ ani12121505

Guimarães, E. F., Santos, S. A., Marques, J. A., Gonçalves, M. R., & Parys, C. (2023). Effects of rumen-protected methionine supplementation on performance and metabolism of dairy cows under heat stress. *Animal Feed Science and Technology*, 298, Article 115614. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115614

Hahn, G. L., Gaughan, J. B., Mader, T. L., & Eigenberg, R. A. (2009). Thermal indices and their applications for livestock environments. In J. A. DeShazer (Ed.), *Livestock energetics and thermal environmental management* (pp. 113-130). American Society of Agricultural and Biological Engineers

Lee, C., Lobos, N. E., & Weiss, W. P. (2019). Effects of rumen-protected methionine on lactation performance and physiological parameters of dairy cows in early lactation under heat stress. *Journal of Dairy Science*, 102(8), 6748–6759. https://doi.org/10.3168/jds.2018-15924

Moran, J. (2005). Tropical dairy farming: feeding management for small holder dairy farmers in the humid tropics. *Csiro publishing*.

National Research Council. (2001). Nutrient requirements of dairy cattle (7th ed.). National Academies Press.

Osorio, J. S., Ji, P., Drackley, J. K., Luchini, D., & Loor, J. J. (2013). Supplemental Smartamine M or MetaSmart during the transition period benefits postpartal cow performance and blood neutrophil function. *Journal of Dairy Science*, 96(10), 6248–6263. https://doi.org/10.3168/jds.2012-5790

Patton, R. A. (2010). Effect of rumen-protected methionine on feed intake, milk production, and milk composition in dairy cows: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 93(11), 5276–5285. https://doi.org/10.3168/jds.2010-3313

Toledo, M. Z., Baez, G. M., Garcia-Guerra, A., Lobos, N. E., Guinn, J. M., & Schuenemann, G. M. (2021). Effect of feeding rumen-protected methionine on productive and reproductive performance of dairy cows. *PLOS ONE*, 16(2), Article e0246833. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246833

Wheelock, J. B., Rhoads, R. P., VanBaale, M. J., Sanders, S. R., & Baumgard, L. H. (2010). Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 93(2), 644–655. https://doi.org/10.3168/jds.2009-2295

Zagari, F., Santos, J. E. P., & Staples, C. R. (2022). Supplementation of rumen-protected methionine in lactating dairy cows: Effects on milk production and composition. *Journal of Dairy Science*, 105(Suppl. 1), 123–124. https://doi.org/10.3168/jds.2022-22456

Zhou, Z., Bulgari, O., Vailati-Riboni, M., Trevisi, E., Ballou, M. A., Cardoso, F. C., & Loor, J. J. (2016). Rumen-protected methionine compared with rumen-protected choline improves immunometabolic status in dairy cows during the peripartal period. *Journal of Dairy Science*, 99(11), 8956–8969. https://doi.org/10.3168/jds.2016-10986

در دست اقدام