

بررسی اثرات تغذیه متیونین محافظت شده بر تولید

و ترکیب شیر گاوهای شیرده هلشتاین

- سید محسن حسینی (نویسنده مسئول)، حمیدرضا اسماعیلی، حسین خوش اخلاق، سعید صادقی، علی آذرینیک، محمد رضا طاهری، امیر جوکار
۱- شرکت کشاورزی و دامپروری فجر، اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: مرداد ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: آبان ۱۴۰۴

شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۳۱۳۴۴۶۳۴۰۳

Email: mohsen.hosseini@alumni.um.ac.ir

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/AASRJ.2024.366002.1282

چکیده

در پژوهش حاضر از ۳۰۰ راس گاو هلشتاین در شکم‌های مختلف و روزهای شیردهی متفاوت به منظور بررسی تغذیه متیونین محافظت شده در شکمبه بر عملکرد تولیدی گاوهای شیرده هلشتاین استفاده شد. جیره‌های آزمایشی شامل (۱) جیره شاهد و (۲) جیره شاهد بعلاوه ۱۵ گرم متیونین محافظت شده به ازای هر راس دام بودند. مصرف خوراک بصورت روزانه، تولید شیر و ترکیبات آن بصورت هفتگی طی دو ماه اندازه‌گیری شد. افزودن متیونین محافظت شده در این آزمایش اثر معنی داری بر مصرف خوراک و تولید شیر نداشت ($p>0/05$). تولید شیر بین شکم‌های مختلف تمایل به معنی داری داشت و در گاوهای شکم ۲ بالاتر بود ($p=0/07$). همچنین تولید شیر در روزهای شیردهی ۱۰۰ تا ۲۰۰ روز نسبت به دیگر گروه‌ها بیشتر بود ($p<0/05$), با این وجود اثرات متقابل شکم و دوره شیردهی معنی دار نبود ($p>0/05$). درصد پروتئین شیر و سلول‌های سوماتیک شیر تحت تاثیر مصرف متیونین محافظت شده قرار نگرفت ($p>0/05$), با این وجود چربی شیر گاوهای مصرف کننده متیونین نسبت به گروه شاهد بطور معنی داری بالاتر بود ($p<0/05$). لذا با توجه به نتایج مطالعه حاضر افزودن مکمل متیونین در جیره گاوهای شیرده هلشتاین با توجه به بهبود ترکیبات شیر از قبیل چربی شیر می‌تواند مفید واقع شود.

بیان مسأله

یکی از مواد مغذی محدود کننده در جیره گاوهای شیرده پرتولید پروتئین می باشد. پروتئین جیره به آسانی در شکمبه تجزیه شده و پروتئین میکروبی سنتز شده برای حمایت تولید شیر در گاوهای پرتولید کافی به نظر نمی رسد. عرضه یک جیره حاوی پروتئین خام بیشتر سودمند به نظر نمی رسد، زیرا تجزیه پروتئین در شکمبه اغلب یکی از فرآیندهای ناکارآمد در نشخوارکنندگان است و به دفع نیتروژن اضافی منجر خواهد شد (کوئیگ و رود، ۲۰۰۱). در شرایط عملی فقط ۲۰ تا ۳۰ درصد نیتروژن خوراندیده شده به گاو شیری به پروتئین شیر تبدیل می شود (پاول و همکاران، ۲۰۰۶). باقیمانده نیتروژن خوراک از طریق ادرار و مدفوع دفع می شود (بردریک و همکاران، ۲۰۰۳؛ کاستیلو و همکاران، ۲۰۰۰) و سه چهارم نیتروژن ادرار به شکل اوره دفع خواهد شد (برستو و همکاران، ۱۹۹۲). بهینه کردن توازن کل اسیدهای آمینه در پروتئین قابل متابولیسم، پایه ای برای بیشینه کردن توان شیردهی با کمینه کردن پروتئین جیره است. تلاش های محققان در جهت افزایش عرضه اسیدهای آمینه برای گاوهای شیرده پرتولید جهت حمایت تولید شیر بیشتر، متمرکز شده است (استرن و همکاران، ۱۹۹۴). از دو روش برای تامین اسیدهای آمینه اضافی برای گاوها استفاده می شود که شامل ۱. گنجانیدن منابع پروتئینی در جیره که به آسانی در شکمبه تجزیه نشود و به روده کوچک عبور کند و ۲. مطلوب ساختن تخمیر شکمبه ای برای استفاده گسترده از پروتئین میکروبی سنتز شده در داخل شکمبه و افزایش دادن مقدار اسیدهای آمینه میکروبی قابل دسترس برای جذب (کلارک و دیویس، ۱۹۸۳، رالکوئین و همکاران، ۲۰۰۶). اگر اسیدهای آمینه را بتوان از تجزیه شکمبه ای محافظت کرد تا در روده جذب شوند، مقدار کل پروتئین جذب شده به وسیله گاوهای شیرده با بازده بیشتری مورد استفاده قرار می گیرد، که این امر منجر به یک کاهش در سطح پروتئین مورد نیاز در جیره گاوهای شیرده می شود. متیونین و لیزین بیشتر اوقات به عنوان دو اسید آمینه محدود کننده برای گاوهای شیرده شناسایی شده اند و این به علت غلظت پائین این اسیدهای آمینه در مواد خوراکی در مقایسه با غلظت آن

ها در شیر و پروتئین میکروبی سنتز شده در شکمبه می باشد. شورای تحقیقات ملی پیشنهاد کرده که غلظت لیزین و متیونین در پروتئین قابل متابولیسم برای بیشینه استفاده از پروتئین قابل متابولیسم در تولید پروتئین شیر به ترتیب ۷/۲ و ۲/۴ درصد باشد. در واقع در کلیه شرایط این میزان دست یافتنی نیست و یک توصیه عملی برای لیزین و متیونین ۶/۶ و ۲/۲ درصد باشد (شواب و همکاران، ۲۰۰۳). نتایج برخی پژوهش ها (شورای تحقیقات ملی ۲۰۰۱، شواب و همکاران، ۱۹۷۶؛ پیسولوسکی و همکاران، ۱۹۹۷) نشان می دهد که متیونین یک اسید آمینه ضروری و اغلب محدود کننده برای تولید در گاوهای شیرده دریافت کننده جیره های بر پایه یونجه، سیلاژ ذرت، دانه ذرت و کنجاله سویا است. چندین مطالعه نشان داد که افزودن مکمل متیونین محافظت شده در شکمبه باعث افزایش مقدار شیر (اسمیت و همکاران، ۱۹۹۹، دی بوئر و همکاران، ۱۹۸۶) درصد پروتئین شیر (آرمنتانو و همکاران، ۱۹۹۷) و مقدار پروتئین شیر (رالکوئین و همکاران، ۱۹۹۷) شد. پس بدین ترتیب افزودن متیونین محافظت شده در شکمبه ممکن است اجازه استفاده از جیره های با درصد پروتئین خام پائین بدون کاهش دادن مقادیر شیر و پروتئین را بدهد. غلظت های نیتروژن اوره ای شیر و خون و نیتروژن دفعی ادرار به طور مستقیم با پروتئین خام جیره ای همبستگی داشت (نوسیان و همکاران، ۲۰۰۴). تعداد زیادی از پژوهش ها که توان تولیدی گاوهای شیرده را به افزودن پروتئین مورد بررسی قرار داده اند، به درصد متیونین و لیزین جیره توجهی نکرده و فقط از نظر مقدار پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه یا پروتئین خام جیره ها را متوازن کرده اند. در چنین پژوهش هایی مشخص نیست که پاسخ تولیدی مشاهده شده مربوط به مقدار پروتئین عبوری از شکمبه بوده یا تامین اسیدهای آمینه است. بنابراین پژوهش های آینده بایستی تامین اسیدهای آمینه به منظور تعیین دلایل پاسخ به تغییرات در خوراندن پروتئین را در نظر بگیرند. به همین جهت تحقیق حاضر به منظور بررسی اثرات متیونین محافظت شده بر عملکرد تولیدی گاوهای شیرده هلشتاین صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شرکت کشاورزی و دامپروری فجر اصفهان در طی آذر تا بهمن ماه ۱۴۰۲ به مدت دو ماه انجام شد. در این آزمایش، ۳۰۰ راس گاو هلستاین در شکم‌های مختلف و روزهای شیردهی متفاوت به دو گروه اختصاص داده شد. گروه‌های آزمایشی با دو جیره (۱) شاهد و (۲) شاهد به همراه ۱۵ گرم متیونین محافظت شده به ازای هر راس دام (بر اساس مقاله گزارشی لئو و همکاران، ۲۰۲۴) تغذیه شد. گاوها بصورت گروهی و در جایگاه فری استال با ظرفیت مناسب قرار داشتند. روزهای شیردهی دام‌ها به ۳ دوره (۱) صفر تا ۱۰۰ روز شیردهی، (۲) ۱۰۰ تا ۲۰۰ روز شیردهی و (۳) ۲۰۰ به بالا تقسیم شدند. شکم دام‌های مورد مطالعه ۲ تا شکم زایش ۵ بود. با جیره کاملاً مخلوط با مقدار مشخصی کنسانتره، سیلاژ ذرت و یونجه تغذیه شدند. جیره‌ها و ترکیبات آن در جدول ۱ نشان داده شده است. شیردوشی طبق برنامه ریزی دامداری و مطابق با شرایط قبلی روزانه ۳ بار در ساعت‌های ۶:۰۰، ۱۴:۰۰ و ۲۲:۰۰ انجام شد. در طول آزمایش، دام‌ها تحت شرایط

مدیریت و تغذیه یکسان بودند. میزان شیر تولیدی هر گاو، به صورت هفتگی ثبت شده و نمونه شیر به آزمایشگاه تعاونی وحدت اصفهان جهت تعیین مقادیر چربی، پروتئین، لاکتوز، اوره و سوماتیک شیر (دستگاه میکواسکن، مدل ۲۳۴۵، ساخت کشور دانمارک) ارسال شد. داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار تحلیل آماری SAS (۲۰۰۳) رویه مختلط با مدل آماری زیر آنالیز شد:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + D_k + A_l + P_m + e_{ijklm}$$

بود که Y_{ij} متغیر وابسته، μ میانگین کل مشاهدات، T_i اثر تیمار، B_j اثر شکم (۲ تا ۵)، D_k اثر روز شیردهی (گروه ۱ تا ۳)، A_l اثر حیوان (عامل تصادفی و e_{ijklm} خطای آزمایشی بود. داده‌های در دوره‌های یک هفته بصورت داده‌های تکرار شده در زمان آنالیز شدند. مقایسات میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال کمتر از ۰/۰۵ انجام شد.

جدول ۱- مواد خوراکی (درصد نسبت به ماده خشک) و ترکیب مواد مغذی مورد استفاده در جیره گاوهای هلستاین

مواد خوراکی	جیره شاهد	جیره حاوی متیونین
ذرت	۲۷/۸۰	۲۸/۲۴
جو	۷/۳۵	۷/۴۷
کنجاله سویا	۱۲/۷۸	۱۱/۳۶
پودر گشت	۵/۱۱	۵/۱۹
مکمل چربی	۱/۶۰	۱/۶۲
مکمل ویتامینی-معدنی	۰/۴۷	۰/۴۸
کربنات کلسیم	۰/۸۹	۰/۹۰
جوش شیرین	۱/۱۸	۱/۲۰
متیونین	۰	۰/۰۵
نمک	۰/۵۳	۰/۵۴
اکسید منیزیم	۰/۳۰	۰/۳۰
بنتونیت	۰/۳۰	۰/۳۰
اوره	۰/۴۲	۰/۴۲
یونجه	۱۲/۷۸	۱۲/۹۸
سیلو	۱۴/۵۶	۱۴/۷۹
تخم پنبه	۳/۲۰	۳/۲۵
تفاله	۸/۸۲	۸/۹۶
کاه	۱/۹۲	۱/۹۵
ترکیب مواد مغذی		درصد
پروتئین	۱۷/۲	۱۶/۸
الیاف نامحلول در شوینده خنثی خنثی (درصد)	۲۹/۸	۳۰
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی اسیدی (درصد)	۱۶/۱۵	۱۶/۲۴
چربی	۵/۲۲	۵/۲۵
کربوهیدرات‌های غیر الیافی ^۱	۴۱/۸	۴۲
انرژی خالص شیردهی (مگا کالری)	۱/۷۳	۱/۷۳
متیونین	۵۹/۵	۶۸
لیزین	۲۱۲/۷	۲۰۷/۶
لیزین / متیونین	۳/۵۷	۳/۰۵
لیزین % پروتئین قابل متابولیسم	۶/۵۷	۶/۵۶
متیونین % پروتئین قابل متابولیسم	۱/۸۴	۲/۱۵

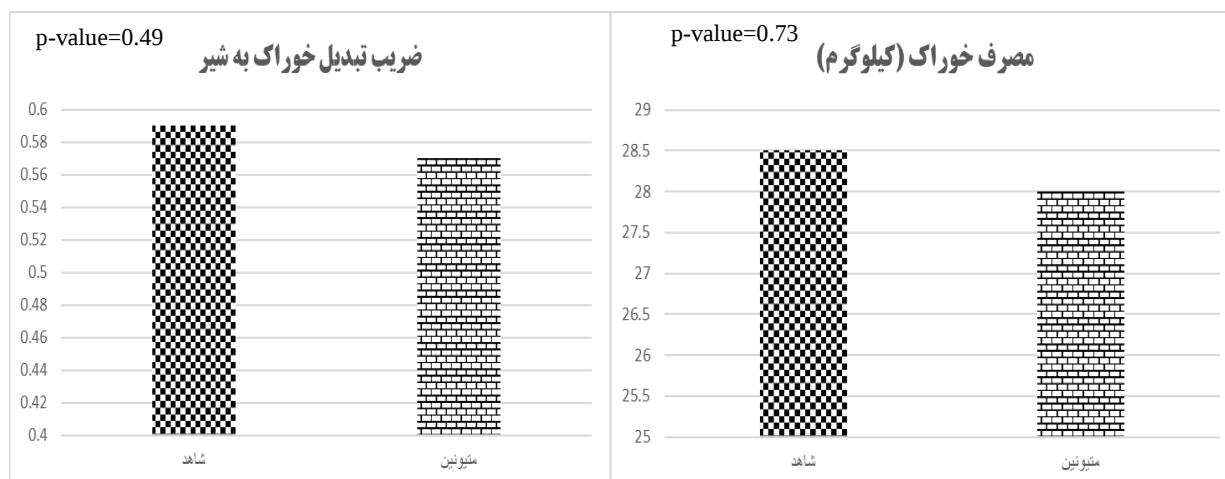
^۱: کربوهیدرات‌های غیر الیافی (درصد) = ۱۰۰ - (درصد خاکستر + درصد پروتئین + درصد الیاف نامحلول + درصد عصاره اتری)

نتایج و بحث

مصرف خوراک

کردند تفاوت معنی داری در مصرف خوراک گاوهای حاوی مکمل های متیونین دار مپران و متیلاک با گروه شاهد در گاوهای اواسط شیردهی نداشت. همچنین علت عدم تغییرات شیر تولیدی نیز احتمالاً مربوط به معنی دار نبودن مصرف خوراک درین تیمارهای آزمایشی بوده است.

مصرف خوراک گاوهای حاوی مکمل متیونین در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به نمودارهای ارائه شده در شکل ۱، بین میزان ماده خشک مصرفی و ضریب تبدیل خوراک مصرفی به شیر تفاوت معنی داری وجود نداشت ($p>0.05$). این مطالعه با مطالعه عبدالمالی و همکاران (۱۳۹۱) هم راستا بود که گزارش



شکل ۱) بررسی مصرف متیونین محافظت شده بر مصرف و ضریب تبدیل خوراک گاوهای شیرده هلستاین

تولید و ترکیب شیر

متیونین محافظت شده گزارش کردند. پروتئین شیر و سوماتیک شیر تحت تاثیر مصرف متیونین محافظت شده قرار نگرفت، با این وجود درصد چربی شیر گاوهای مصرف کننده متیونین محافظت شده نسبت به گروه شاهد بطور معنی داری بالاتر بود ($p>0.05$). اثرات گزارش شده مکمل متیونین بر درصد و مقدار چربی شیر متناقض است. سوشا و همکاران (۲۰۰۸)، گزارش کردند که تزریق دئودنومی متیونین درصد و مقدار چربی شیر گاوها را در اوایل شیردهی افزایش داد. میسکیتلی و همکاران (۲۰۰۳)، نشان دادند که گاوهای تغذیه شده با متیونین محافظت شده درصد چربی شیر بیشتری نسبت به گروه شاهد داشتند، اما افزودن متیونین مقدار چربی شیر را تحت تاثیر قرار نداد. اورتون و همکاران (۱۹۹۶) گزارش کردند که تغذیه متیونین محافظت شده طی دوره انتقال و اوایل شیردهی مقدار شیر تصحیح شده برای ۳/۵ درصد

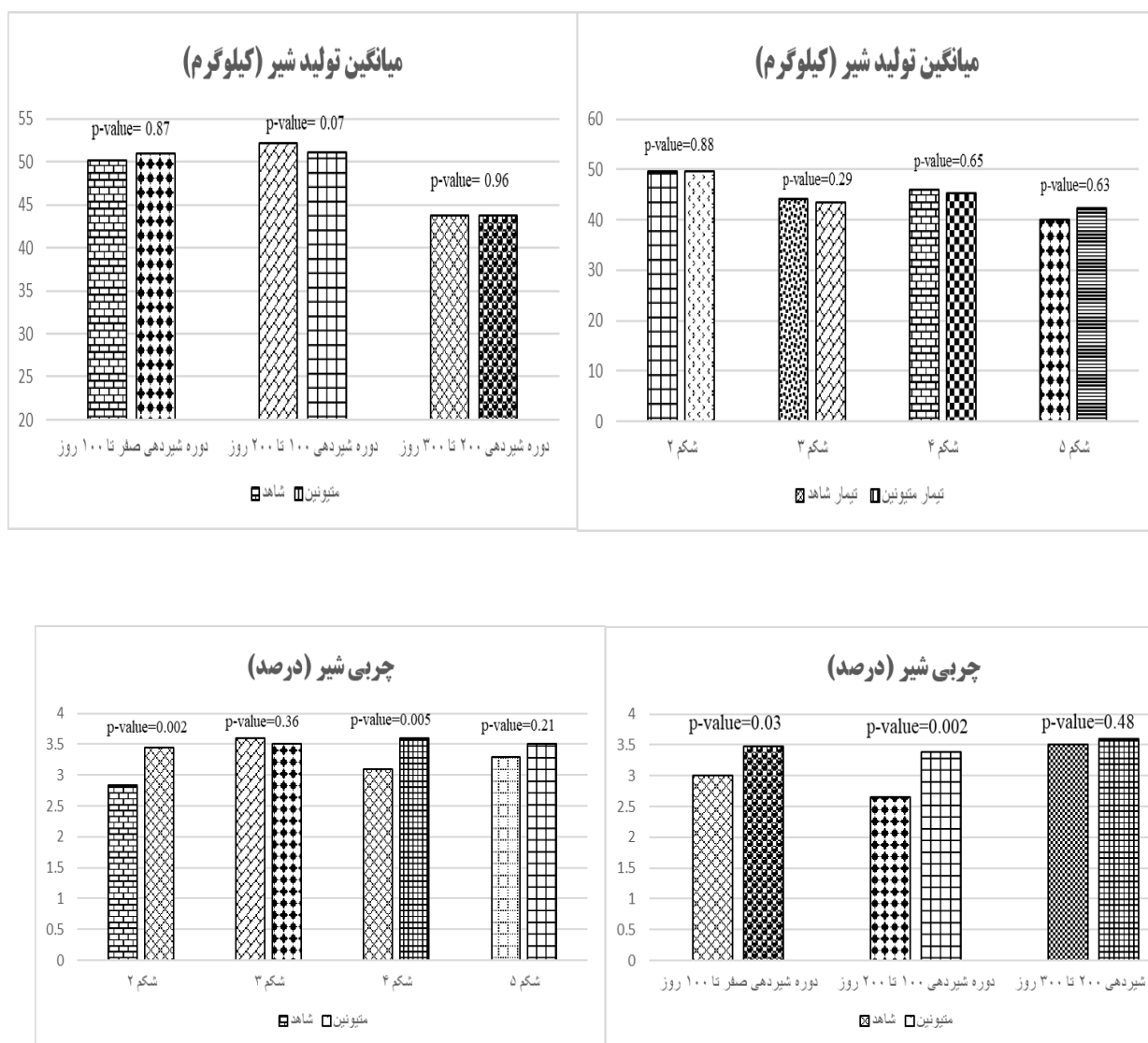
نتایج حاصل از تجزیه آماری داده های این آزمایش در جدول ۲ گزارش شده است. همانگونه که مشخص است افزودن متیونین محافظت شده در این آزمایش اثر معنی داری بر تولید شیر نداشت ($p>0.05$). تولید شیر در بین شکم های مختلف تمایل به معنی داری داشت و در گاوهای شکم ۲ بالاتر بود ($p=0.07$). همچنین تولید شیر در روزهای شیردهی ۱۰۰ تا ۲۰۰ روز نسبت به دیگر گروه ها بیشتر بود ($p<0.05$), که بدلیل روند افزایش شیر پس از زایش و رسیدن پیک شیر دام در بازه مذکور می باشد، با این وجود اثرات متقابل شکم و دوره شیردهی بر تیمار متیونین محافظت شده معنی دار نبود. این نتایج با گزارش های قربانی و همکاران (۲۰۰۷)، اوردوی و همکاران (۲۰۰۵)، و روکلین و همکاران (۲۰۰۰)، مطابقت دارد، ولی برودریک و همکاران (۲۰۰۹)، و کراولی و همکاران (۱۹۹۹)، افزایش تولید را با مصرف

چربی (FCM) را در ۱۰۵ روز ابتدایی شیردهی افزایش داد. در مقابل در چندین مطالعه (برودریک و همکاران، ۲۰۰۸؛ نافسگر و سفیر، ۲۰۰۳؛ و پرینات و همکاران، ۲۰۰۹) گزارش شد که مکمل متیونین محافظت شده درصد یا مقدار چربی شیر را تحت تاثیر قرار نداد. مکانیسم های ویژه ای که از طریق آن تغذیه متیونین ممکن است چربی شیر را تحت تاثیر قرار دهد شامل اثرات شکمبه ای (پاتون و همکاران، ۱۹۶۸) یا اثرات بعد از بعد از جذب آن بر متابولیسم لیپید (حدواسط متابولیسم متیل (امانوئل و کنلی، ۱۹۸۴) یا متابولیسم لیپوپروتئین است. لئوناردی و همکاران (۲۰۰۳)، ثابت کردند که مقادیر مساوی از متیونین محافظت شده درصد پروتئین شیر گاوهای تغذیه شده با جیره های با پروتئین بالا و پایین را افزایش داد، اگرچه که تولید شیر و مقدار پروتئین شیر به وسیله تیمار تحت تاثیر قرار نگرفت. مقدار متیونین قابل

هضم در جیره با درصد پروتئین شیر ($I^2=0.76$) نسبت به مقدار پروتئین شیر ($I^2=0.40$) همبستگی بیشتری دارد (انجمن کمیته تغذیه، ۲۰۰۱). این تفاوت می تواند ناشی از عوامل بیولوژیکی یا واریانس بالاتر در مقدار پروتئین شیر نسبت به درصد پروتئین شیر باشد (بنفیلد و همکاران، ۲۰۰۹). سوشا و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که گاوها در اواسط شیردهی به افزایش عرضه متیونین از طریق افزایش درصد پروتئین شیر پاسخ دادند، درحالی که گاوها در اوایل شیردهی و در مقادیر بالاتر تولید به افزایش عرضه متیونین از طریق افزایش، هم در درصد و هم در مقدار پروتئین شیر پاسخ دادند. این نشان می دهد که ستر پروتئین شیر (گرم در روز) در گاوهای پرتولید نسبت به گاوهای با تولید کمتر پاسخ بیشتری به عرضه متیونین می دهد. در این مطالعه تفاوت معنی داری در مقدار پروتئین شیر گاوها مشاهده نشد.

جدول ۲) بررسی مصرف متیونین محافظت شده بر تولید و ترکیب شیر گاوهای شیرده هلستاین

فراسنجه	تیمارها		اثر دوره شیردهی	اثر شکم	اثر شکم در تیمار	اثر دوره شیردهی در تیمار	خطای استاندارد	سطح معنی داری
	شاهد	متیونین						
تولید شیر (کیلوگرم)	۴۹/۹۲	۴۹/۸۳	<۰/۰۰۱	۰/۰۷	۰/۵۹	۰/۳۹	۰/۶۳	۰/۹۴
چربی شیر (درصد)	۳/۲۰	۳/۵۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۰۷
پروتئین شیر (درصد)	۲/۸۹	۲/۹۱	۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۲	۰/۳۴
اسکور سوماتیک شیر	۱/۷۳	۱/۶۹	۰/۶۸	۰/۷۸	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۸۶



شکل ۲) بررسی مصرف متیونین محافظت شده بر تولید و ترکیب شیر گاوهای هلستاین

توصیه ترویجی

همین جهت افزودن مکمل متیونین محافظت شده در جیره گاوهای شیرده هلستاین با توجه به بهبود ترکیبات شیر می‌تواند مفید واقع شود.

مصرف مکمل متیونین محافظت شده در گاوهای شیرده هلستاین در شکم و روزهای مختلف شیردهی تفاوت معنی داری را نشان نداد با این وجود چربی شیر گاوهای مصرف کننده متیونین محافظت شده نسبت به گروه شاهد بطور معنی داری بالا بود. به

منابع

- Allen, M. S. (2000). Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 83:1598-1624.
- Bach, A., G. B. Huntington, Stern, M. D. (2000). Response of nitrogen metabolism in preparturient dairy cows to methionine supplementation. *Journal of Animal Science*. 2000. 78:742-749.
- Benefield, B. C., Patton, R. A., Stevenson, M. J., Overton, T. R. (2009). Evaluation of rumen protected methionine sources and period length on performance of lactating dairy cows within latin squares. *Journal of Dairy Science*. 92:4448-4455.
- Broderick, G. A., Stevenson, M. G., Patton, R. A. (2009). Effects of dietary protein concentration and degradability on response to rumen-protected methionine in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 92:2719-2728.
- Broderick, G. A., Stevenson, M. G., Patton, R. A., Lobos, N. E., Olmos colmenero, J. J. (2008). Effects of supplementing rumen-protected methionine on production and nitrogen excretion in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 91:1092-1102.
- Crawley, D. D., Kilmer, L. H. (1999). Effects of feeding protected methionine hydroxy analog to early lactation cows. www.extension.iastate.edu/Pages/dairy/report95/nutriton/dsl-35.pdf
- Emmanuel, B., Kennelly, J. J. (1984). Kinetics of methionine and choline and their incorporation into plasma lipids and milk components in lactating goats. *Journal of Dairy Science*. 67:1912-1918
- Ghorbani, G. R., Kianzad, D., Alikhani, M., Nikkhah, A. (2007). Rumen protected methionine improves early lactation performance of dairy cattle under high ambient temperatures. *Asians Journal of Animal and Veterinary Adventure*. 2:184-195.
- Leonardi, C., Stevenson, M., Armentano, L. E. (2003). Effect of two levels of crude protein and methionine supplementation on performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 86:4033-4042
- Leão, G. F. M., Santos, S. K., Askel, E. J., Michelotti, T. C. A., Negro, G., Lopes, F., Almeida, R. (2024). Feeding rumen-protected methionine during the peripartum period improved milk fat content and reduced the culling rate of Holstein cows in a commercial herd. *Journal of Dairy Science*.
- Misciatteilli, L., Kristensen, V. F., Vestergaard, M., Welsbjerg, M. R., Sejrsen, K., Hvelplund, T. (2003). Milk production, nutrient utilization, and endocrine responses to increased postruminal lysine and methionine supply in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 86:275-286.
- National Research Council. (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. *Natlitic Academic Science*. Washington, DC
- Noftsgar, S., St-pierre, N. R. (2003). Supplementation of methionine and selection of highly digestible rumen undegradable protein to improve nitrogen efficiency for milk production. *Journal of Dairy Science*. 86:958-969.
- Ordway, R. S., Boucher, S. E., Whitehouse, N. L., Schwab, C. G., Sloand, B. K. (2009). Effects of providing two forms of supplemental methionine to priparturient holstein dairy cows on feed intake and lactational performance. *Journal of Dairy Science*. 92:5154-5166.
- Overton, T. R., LaCount, D. W., Cicela, T. M., Clark, J. H. (1996). Evaluation of a ruminally protected methionine product for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 79:631-638.
- Patton, R. A., Mccarthy, R. D., Grielj, L. E. (1968). Lipid synthesis by ruminal microorganism's stimulation by methionine in vitro. *Journal of Dairy Science*. 51:1310-1311
- Preynat, A., Lapierre, H., Thivierge, M. C., Palin, M. F., Matte, J. J., Desrochers, A., Girard, C. L. (2009). Effects of supplements of folic acid, vitamin B12, and rumen protected methionine on whole body metabolism of methionine and glucose in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 92:677-689.
- Rulquin, H., Graulet, B., Delaby, L., Robert, J. C. (2006). Effect of different forms of methionine on lactational performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 89:4387-4394.
- Socha, M. T., Schwab, C. G., Putnam, D. E., Whitehouse, N. L., Garthwaite, B. D., Ducharme, G. A. (2008). Extent of methionine limitation in peak-, early-, and mid-lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 91:1996-2010.