



Effect of propylene glycol and glycerol with branched-chain amino acid sources on performance of Holstein cow in early lactation

Davood Bahrami¹, Abolfazl Zali^{2✉}, Mahdi Ganjkanlou³, Mostafa Sadeghi⁴

1. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: d_bahrami_69@ut.ac.ir
2. Corresponding author, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: a.zali@ut.ac.ir
3. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: ganjkanlou@ut.ac.ir
4. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: sadeghimos@ut.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	This study investigated the effects of glucose precursors (propylene glycol and glycerol) combined with two protein sources corn gluten meal (a source of branched-chain amino acids) and meat meal on newly calved Holstein cows. The primary objective was to evaluate the individual and interactive effects of different glucose precursors and branched-chain amino acids on performance in early-lactation Holstein cows. A total of 42 multiparous Holstein cows, from 3 to 35 days postpartum, were utilized in a 2×3 factorial design with six treatment groups and seven replicates per treatment. The experimental diets consisted of a basal ration supplemented with 300 g of glucose precursors in three ratios of propylene glycol to glycerol (75:25, 50:50, and 25:75) as the first factor, and 600 g of protein source (corn gluten meal or meat meal) as the second factor. Daily feed intake and milk production were recorded, and milk, feed, and feces samples were collected at regular intervals. The results showed that the inclusion of glucose precursors, in combination with different amino acid sources, had no significant effect on daily dry matter intake, feed efficiency, or negative energy balance. While the interaction between treatments did not significantly affect daily milk yield, a significant difference was observed between glucose precursor treatments ($p < 0.05$). Milk yield was not influenced by the source of branched-chain amino acids but was affected by the type of glucose precursor, with higher levels of propylene glycol and lower levels of glycerol resulting in increased milk production. No significant differences were detected in fat-corrected milk ($\gamma/5\%$), milk fat content, or other milk components across the experimental treatments. The increased milk yield in cows fed propylene glycol may be attributed to its role in enhancing dietary energy density, promoting greater ruminal propionate production, and subsequently increasing glucose availability in cows experiencing negative energy balance. Nutrient digestibility and feed intake were unaffected by the treatments.
Article history: Received: 6 December 2024 Received in revised form: 3 February 2025 Accepted: 3 February 2025 Published online: Autumn 2025	
Keywords: <i>Propylene Glycol, Glycerol, Corn Gluten, Branched-chain amino Acids, Newly Calved Holstein Cows.</i>	

Cite this article: Bahrami, D., Zali, A., Ganjkanlou, M. & Sadeghi, M. (2025). Effect of propylene glycol and glycerol with branched-chain amino acid sources on performance of Holstein cow in early lactation. *Iranian Journal of Animal Science*, 56 (3), 723-736. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.384347.654037>



© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.384347.654037>

Extended Abstract

Introduction

One of the most widely used strategies for preventing and treating postpartum disorders caused by negative energy balance (NEB), such as ketosis, fatty liver, and other associated diseases, as well as enhancing milk production, is the supplementation of glucose precursors. These include oral administration or injection of glucose, or a combination of both. The application of glucose precursors is particularly important for maintaining liver health, which plays a crucial role in the successful transition to lactation. The primary objective of using glucose precursors is to sustain and improve hepatic gluconeogenesis, ensuring adequate glucose production and preventing triglyceride accumulation in the liver. Commonly used glucose precursors include propylene glycol and glycerol. These glucogenic (anti-ketogenic) compounds, when administered to livestock, are metabolized in the rumen into propionate, which is then transported to the liver for

gluconeogenesis and glucose production. Another portion of these compounds escapes ruminal fermentation, is absorbed, and reaches the liver via the bloodstream, where it is ultimately converted to glucose.

Leucine, isoleucine, and valine are three branched-chain amino acids (BCAAs), which are among the ten essential amino acids (EAAs) required for protein synthesis in mammary tissues. These BCAAs are crucial for milk protein production and account for up to 50% of the total EAAs in milk.

Given that propylene glycol and glycerol help improve the negative energy balance and liver health in early lactation by partially fulfilling the glucose needs of cows, and considering that BCAAs are limiting factors for milk production during this period, the hypothesis of this study was that supplementing these nutrients in the diets of early-lactating cows could enhance body condition scores and milk production due to their individual and potential synergistic effects. The objective of this research was to evaluate the effects of propylene glycol and glycerol in combination with BCAA-rich protein sources on the performance of Holstein cows during early lactation.

Materials and Methods

This study was conducted at the Educational and Research Farm of the Animal Science Department, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, located in Karaj, Iran. A total of 42 multiparous Holstein cows in early lactation were randomly assigned to six treatments with seven replicates per treatment. The cows were housed individually with separate feeding and watering facilities from days 3 to 35 postpartum. The experimental diets consisted of a basal ration supplemented with 300 g of glucose precursors in three ratios of propylene glycol to glycerol (75:25, 50:50, and 25:75) as the first factor, and 600 g of a protein source (corn gluten meal or meat meal) as the second factor. Experimental diets were offered as a total mixed ration (TMR) twice daily at 8:00 AM and 4:00 PM. Daily feed intake andorts were recorded. The dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP), and ether extract (EE) contents of feed and fecal samples were analyzed according to AOAC (2000) methods. During days 30 to 33 of the experiment, feed and fecal samples were collected from each cow to determine DM, OM, CP, EE, and neutral detergent fiber (NDF) concentrations. Acid-insoluble ash was used as an internal marker to calculate the apparent digestibility of each nutrient. Cows were milked three times daily at 8:30 AM, 4:30 PM, and 12:30 AM, with milk yield recorded at each session.

Results and Discussion

The use of glucose precursors combined with a branched-chain amino acid (BCAA) source, such as corn gluten meal, did not significantly affect dry matter intake (DMI), feed efficiency, or energy balance in early-lactation Holstein cows. No significant differences were observed among treatments in the apparent digestibility of dry matter, organic matter, crude protein, or ether extract. Digestibility of neutral detergent fiber (NDF) also showed no significant differences between treatments but exhibited the lowest p-value, decreasing linearly as glycerol levels increased in the diets.

Daily milk yield was not significantly affected by the interaction between treatments. However, there was a significant main effect of glucose precursors on milk yield ($p < 0.05$). Specifically, milk production was not influenced by the BCAA source but was significantly affected by the varying proportions of glucose precursors. For instance, milk yield significantly differed between treatment P75 (75% propylene glycol and 25% glycerol) and treatment G75 (25% propylene glycol and 75% glycerol), while neither differed significantly from treatment 50/50 (50% propylene glycol and 50% glycerol). These results suggest a linear relationship between increasing levels of propylene glycol and decreasing levels of glycerol, leading to higher milk production.

No significant differences were observed among treatments for γ -butyrolactone or other milk components. Propylene glycol appears to enhance dietary energy concentration and increase propionate production in the rumen, subsequently supporting greater glucose synthesis via gluconeogenesis. This compensates for the energy and glucose deficits in early-lactation cows experiencing negative energy balance, leading to improved milk production. Nutrient digestibility and feed utilization were not significantly influenced by the different sources of glucose precursors.

Data Availability Statement

This article contains all the data that were created or evaluated during the research.

Acknowledgements

The authors would like to sincerely thank the members of the Faculty of Animal Sciences, University of Tehran Research Council for the approval and support of this research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

اثر پروپیلن گلیکول و گلیسرول به همراه منبع پروتئینی غنی از اسیدهای آمینه شاخه‌دار بر عملکرد گاوهای هلشتاین تازه‌زا

داود بهرامی^۱ | ابوالفضل زالی^۲ | مهدی گنج خانلو^۳ | مصطفی صادقی^۴

۱. گروه علوم دامی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: d_bahrami_69@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: a.zali@ut.ac.ir
۳. گروه علوم دامی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: ganjkanlou@ut.ac.ir
۴. گروه علوم دامی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: sadeghimos@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	در این پژوهش اثرات پیش‌سازهای گلوکز (پروپیلن گلیکول و گلیسرول) به همراه دو منبع پروتئینی حاوی اسیدهای آمینه شاخه‌دار شامل کنجاله گلوتن ذرت به عنوان منبع غنی‌تر اسیدهای آمینه شاخه‌دار و پودر گوشت بر عملکرد گاوهای هلشتاین تازه‌زا مورد مطالعه قرار گرفت. به این منظور از ۴۲ راس گاو چند بار زایش کرده طی روزهای ۳ تا ۳۵ پس از زایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل ۳×۲ با ۶ تیمار و ۷ تکرار استفاده گردید. جیره‌های آزمایشی شامل جیره‌های پایه حاوی کنجاله گلوتن ذرت و پودر گوشت به میزان ۳ درصد ماده خشک خوراک مصرفی به عنوان عامل اول به همراه ۳۰۰ گرم پیش‌ساز گلوکز شامل گلیسرول و پروپیلن گلیکول دارای سه نسبت مختلف به ترتیب (۷۵ به ۲۵، ۵۰ به ۵۰ و ۲۵ به ۷۵) که به صورت سرک به خوراک اضافه می‌گردید به عنوان عامل دوم بودند. میزان خوراک مصرفی و تولید شیر گاوها به صورت روزانه اندازه گیری شد. نمونه گیری از شیر، خوراک و مدفوع با فواصل منظم صورت گرفت. استفاده از پیش‌سازهای گلوکز به همراه منابع مختلف اسیدهای آمینه شاخه‌دار تاثیر معنی داری بر ماده خشک مصرفی روزانه، بازدهی خوراک مصرفی و توازن منفی انرژی نداشت. در تولید شیر روزانه تفاوت معنی داری بین تیمارها وجود نداشت اما زمانی که ۲ منبع متفاوت اسیدهای آمینه شاخه‌دار و ۳ نسبت مختلف پیش‌سازهای گلوکز به عنوان عوامل اصلی به صورت مستقل از هم بررسی شدند، بین تیمار دارای بیشترین میزان پروپیلن گلیکول به گلیسرول (۷۵ به ۲۵) و کمترین میزان آن (۲۵ به ۷۵) تفاوت معنی دار وجود داشت ($P < 0.05$) و سایر تیمارها با هم تفاوت معنی داری نداشتند. به عبارت دیگر منبع غنی اسید آمینه شاخه دار تاثیر معنی داری بر تولید شیر روزانه نداشت و تفاوت در میزان تولید حاصل استفاده از نسبت های مختلف پیش سازهای گلوکز بود. تولید شیر تصحیح شده برای ۳/۵ درصد چربی و ترکیب شیر تفاوت معنی داری بین تیمارهای آزمایشی نداشتند. گوارش پذیری خوراک و مواد مغذی تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت. بنا بر این استفاده از منابع پیش‌ساز گلوکزی که دارای میزان بالاتری پروپیلن گلیکول هستند تاثیر بیشتری در افزایش تولید شیر در گاوهای تازه‌زا دارند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۶	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۱۵	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵	
تاریخ انتشار: پاییز ۱۴۰۴	
کلیدواژه‌ها:	
پروپیلن گلیکول، گلیسرول، گلوتن ذرت، اسیدهای آمینه شاخه‌دار، گاوهای هلشتاین تازه‌زا.	

استاد: بهرامی، داود؛ زالی، ابوالفضل؛ گنج خانلو، مهدی و صادقی، مصطفی (۱۴۰۴). اثر پروپیلن گلیکول و گلیسرول به همراه منبع پروتئینی غنی از اسیدهای آمینه شاخه‌دار بر عملکرد گاوهای هلشتاین تازه‌زا. نشریه علوم دامی ایران، ۵۶ (۳)، ۷۳۶-۷۳۳. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.384347.654037>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.384347.654037>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

دوره انتقال یکی از حساس‌ترین مراحل زندگی گاوهای شیری است که می‌تواند عملکرد تولیدی و تولید مثلی حیوان را تحت تاثیر قرار دهد (Overton et al. 2017). در دوره انتقال به دلیل محدودیت فیزیکی که حیوان برای خوراک مصرفی دارد و همان طور که ذکر شد حیوان از یک مرحله بدون تولید شیر به مرحله تولید شیر وارد می‌شود، تقاضا برای بدست آوردن مواد مغذی به شکل چشمگیری افزایش پیدا می‌کند و حیوان برای حفظ تولید شیر و افزایش آن مجبور است از ذخایر بدنی خود استفاده کند زیرا خوراک مصرفی جوابگوی احتیاجات حیوان نیست (Ostergaard et al. 2020).

یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای پیشگیری و درمان اختلالات پس از زایش حاصل از توازن منفی انرژی مانند کتوز، کبد چرب و سایر ناهنجاری‌های متابولیک و افزایش میزان تولید شیر استفاده از پیش‌سازهای گلوکز، نوشاندن یا تزریق گلوکز می‌باشند. استفاده از این افزودنی‌ها برای سلامت کبد جهت ورود موفقیت آمیز گاو به مرحله‌ی شیردهی مهم است (Graber et al. 2010). هدف از استفاده از پیش‌سازهای گلوکز، حفظ و بهبود گلوکونئوژنز کبدی برای ساخت گلوکز مورد نیاز حیوان و جلوگیری از تجمع تری گلیسیرید در کبد است (Gordon et al. 2013).

عمده پیش‌سازهای گلوکز مورد استفاده عبارتند از: پروپیلن گلیکول (PG)، گلیسرول (GLY)، و پروپیونات کلسیم. پروپیلن گلیکول یک ترکیب گلوکونئیک (ضد کتوز) است که با خوراندن آن به دام، بخشی از آن در شکمبه به پروپیونات متابولیزه می‌شود و پس از ورود به کبد از طریق گلوکونئوژنز به گلوکز تبدیل می‌شود و بخش دیگر از تخمیر شکمبه ای گریخته و جذب می‌شود و سپس از طریق جریان باب به کبد رسیده و در آنجا به لاکتات تبدیل می‌شود که نهایتاً لاکتات از طریق گلوکونئوژنز به گلوکز تبدیل می‌گردد (Graber et al. 2010). گلیسرول یکی دیگر از پیش‌سازهای گلوکزی است که ممکن است در پیشگیری و درمان اختلالات متابولیکی ابتدای زایش مانند کتوز که حاصل تعادل منفی انرژی و کاهش دسترسی به گلوکز توسط بافت‌های بدن است موثر باشد و استفاده از آن در مقادیر بالا برای دام خطری ندارد (Osman et al. 2008). با گسترش صنعت سوخت‌های زیستی و سایر صنایع تولید مواد شیمیایی، میزان تولید گلیسرول روز به روز بیشتر می‌شود و میزان تولید از میزان مصرف آن در صنایع داروسازی و شیمیایی فراتر رفته است. که این امر موجب شده قیمت آن کاهش یافته و زمینه‌ی استفاده گسترده از گلیسرول در تغذیه‌ی دام را فراهم کند، از همین رو تحقیقات گسترده در مورد تاثیرات متابولیک حاصل از آن در حال بررسی است (Thompson et al. 2006).

در اواخر آبستنی و اوایل شیردهی که همان دوره‌ی انتقال است تقاضا برای پروتئین جهت حمایت از رشد جنین و سنتز پروتئین در غدد پستانی و سایر بافت‌های بدن افزایش می‌یابد (Ji and Dann 2013). در دوره انتقال به دلیل تغذیه ناکافی که تکافوی نیازهای حیوان را نمی‌کند، گاوها این کمبود را با افزایش تجزیه و بسیج پروتئین از ذخایر بدن مانند ماهیچه‌های اسکلتی جبران می‌کنند (Mann et al. 2016). NRC 2001 گزارش داده است که محدود کننده‌ترین اسیدهای آمینه برای تولید شیر و پروتئین شیر در گاوها طی دوران شیردهی متیونین و لایزین می‌باشند. اما Larsen et al. 2014 پیشنهاد دادند دو اسید آمینه‌ی ضروری لیزین و لوسین محدود کننده تولید شیر و پروتئین شیر در ابتدای دوره‌ی شیردهی می‌باشند که این نتیجه گیری را از روی اختلاف غلظت اسیدهای آمینه خون شریانی و وریدی پستان حاصل کردند. لوسین، ایزولوسین و والین سه اسید آمینه‌ی شاخه‌دار (BCAA) از ده اسید آمینه‌ی ضروری می‌باشند که برای سنتز پروتئین سلولی در بافت پستان و همچنین تولید پروتئین شیر مورد استفاده قرار می‌گیرند و تا ۵۰ درصد از کل اسیدهای آمینه ضروری شیر را تشکیل می‌دهند (Appuhamy et al. 2011).

در اوایل زایش به دلیل اینکه پروپیلن گلیکول و گلیسرول با تامین بخشی از نیاز گاوها به گلوکز کمک به بهبود توازن منفی انرژی و سلامت کبد می‌کنند و همچنین اسیدهای آمینه شاخه‌دار از اسیدهای آمینه‌ی محدود کننده تولید شیر در اوایل زایش هستند، فرضیه پژوهش این بود که افزودن منبع غنی از این آمینو اسیدها به جیره گاوها در اوایل زایش به دلیل تاثیرات

منفرد و هم‌افزایی احتمالی آنها سبب بهبود وضعیت بدنی، تولید شیر و در کل سلامت گاوها می‌شود. بنابراین در این پژوهش اثر پروپیلن گلیکول و گلیسرول به همراه منبع غنی از اسیدهای آمینه شاخه‌دار بر عملکرد گاوهای اوایل شیردهی بررسی شد.

پیشینه تحقیق

استفاده از پیش‌سازهای گلوکز در دوره ابتدای شیردهی در تحقیقات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته اما در اکثر این تحقیقات اثر یک منبع پیش‌ساز گلوکز را به تنهایی مورد ارزیابی قرار داده‌اند و پژوهش‌های محدودی اثر همزمان دو یا چند منبع را بررسی کرده ولی باید به این نکته توجه کرد که در حال حاضر مکمل‌های پیش‌ساز گلوکز مورد استفاده در دامداری‌ها از چند منبع متفاوت تشکیل می‌شوند. *Lomander et al. 2012* تاثیر مصرف سرک پروپیلن گلیکول و گلیسرول را بر روی متابولیسم و تولید شیر و وضعیت بدنی گاوهای تازه‌زا بررسی کردند محققین اعلام کردند که هیچ تفاوت معنی‌داری در نمره وضعیت بدنی (BCS)، ضربان قلب و غلظت پلاسمای متابولیت‌های خونی مانند گلوکز بین تیمارها مشاهده نشد. گاوهای تغذیه‌شده با گلیسرول تولید شیر بیشتری داشتند و میزان شیر تصحیح‌شده برای انرژی در آن‌ها بالاتر از سایر تیمارها بود. همچنین، هیچ تفاوت معنی‌داری در بروز بیماری‌ها بین تیمارها مشاهده نشد. در نهایت، نتایج نشان داد که استفاده از گلیسرول در اوایل شیردهی باعث بهبود وضعیت متابولیک و افزایش تولید شیر گردید. پروپیلن گلیکول نیز تاثیر مشابهی در بهبود وضعیت متابولیک دام نسبت به گاوهایی که پیش‌ساز گلوکز مصرف نکردند داشت. *Piantoni and Allen 2015* تاثیرات تزریق پروپیلن گلیکول و گلیسرول را بر روی کتوز در گاو شیری مورد ارزیابی قرار دادند. نتیجه گیری کلی این بود که در استفاده پیش‌سازها به صورت منفرد استفاده از پروپیلن گلیکول تاثیر بیشتری دارد و برای رسیدن به این تاثیر باید از دو برابر گلیسرول استفاده شود تا به تاثیرات مثبت آن برسد در حالی که استفاده توأم از این دو تاثیرات مثبت فراوانی داد.

Leal Yepes et al. 2019 تاثیر استفاده از اسیدهای آمینه شاخه‌دار محافظت‌شده از شکمبه را بر متابولیسم و تولید شیر گاوهای تازه‌زا در ۳۵ روز اول شیردهی بررسی کردند. بیشترین میزان مصرف ماده خشک (DMI) مربوط به تیمار اسیدهای آمینه شاخه‌دار به همراه پروپیلن گلیکول و کمترین مقدار مربوط به گروه شاهد بود. به همین ترتیب، بیشترین تولید شیر و شیر تصحیح‌شده برای انرژی (ECM) در تیمار اسیدهای آمینه شاخه‌دار همراه با پروپیلن گلیکول و کمترین مقدار در گروه شاهد مشاهده شد. میزان نیتروژن اوره‌ای شیر (MUN) نیز همین روند را دنبال کرد. بیشترین میزان نیتروژن اوره‌ای پلاسما در تیمار اسیدهای آمینه شاخه‌دار و کمترین مقدار آن در گروه شاهد گزارش شد. علاوه بر این، میزان هایپرکتونمی در گروه شاهد بیشترین و در تیمار اسیدهای آمینه شاخه‌دار کمترین بود. در نهایت، استفاده از مکمل اسیدهای آمینه شاخه‌دار در گاوهای تازه‌زا منجر به بهبود وضعیت متابولیک حیوان و کاهش خطر بیماری‌های متابولیک گردید. همچنین، استفاده همزمان این مکمل با پروپیلن گلیکول سبب بهبود تولید شیر و شرایط متابولیکی گاو شد. (*Appuhamy et al. 2011*) تاثیر تزریق وریدی اسیدهای آمینه متیونین، لایزین و اسیدهای آمینه شاخه‌دار را بر تولید شیر در گاوهای پرتولید ارزیابی کردند. بالاترین میزان تولید شیر مربوط به تیمار حاوی اسیدهای آمینه شاخه‌دار بود. علاوه بر این، میزان تولید پروتئین شیر و درصد آن به‌طور معنی‌داری در این تیمار نسبت به گروه شاهد بیشتر بود. مصرف روزانه ماده خشک نیز در تیمار اسیدهای آمینه شاخه‌دار بالاترین مقدار را داشت، در حالی که کمترین میزان نیتروژن اوره‌ای شیر در این تیمار گزارش شد. این مطالعه نتیجه گرفت، استفاده از مکمل اسیدهای آمینه باعث بهبود تولید شیر و پروتئین شیر در گاوهای شیری می‌شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه آموزشی و پژوهشی گروه علوم دامی دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در شهر کرج انجام گردید. در این آزمایش از ۴۲ راس گاو تازه‌زا چند بار زایش نموده (میانگین ۲/۹) هلشتاین و با وزن اولیه 17 ± 612 کیلوگرم که به صورت تصادفی به ۶ تیمار و ۷ تکرار اختصاص داده شده بودند استفاده شد. گاوها در طول روزهای ۳ الی ۳۵ پس از زایش به صورت انفرادی با آخور و آبشخور مجزا نگهداری شدند. جیره‌های آزمایشی با توجه به جداول

نیازهای گاوهای تازه‌زا انجمن تحقیقات ملی گاوشیری (NRC, 2001) تنظیم گردید. جیره‌های آزمایشی تغذیه شده شامل: ۱- جیره پایه حاوی پودر گوشت به همراه ۳۰۰ گرم پیش‌ساز گلوکز (۷۵ درصد پروپیلن گلیکول، ۲۵ درصد گلیسرول)؛ ۲- جیره پایه حاوی پودر گوشت به همراه ۳۰۰ گرم پیش‌ساز گلوکز (۵۰ درصد پروپیلن گلیکول، ۵۰ درصد گلیسرول)؛ ۳- جیره پایه حاوی پودر گوشت به همراه ۳۰۰ گرم پیش‌ساز گلوکز (۲۵ درصد پروپیلن گلیکول، ۷۵ درصد گلیسرول)؛ ۴- جیره پایه حاوی کنجاله گلوتن ذرت (به عنوان منبع غنی اسیدهای آمینه شاخه‌دار) به همراه ۳۰۰ گرم پیش‌ساز گلوکز (۷۵ درصد پروپیلن گلیکول، ۲۵ درصد گلیسرول)؛ ۵- جیره پایه حاوی کنجاله گلوتن ذرت به همراه ۳۰۰ گرم پیش‌ساز گلوکز (۵۰ درصد پروپیلن گلیکول، ۵۰ درصد گلیسرول) و ۶- جیره پایه حاوی کنجاله گلوتن ذرت به همراه ۳۰۰ گرم پیش‌ساز گلوکز (۲۵ درصد پروپیلن گلیکول، ۷۵ درصد گلیسرول). از پودر گوشت و کنجاله گلوتن ذرت به میزان ۳ درصد از ماده خشک خوراک استفاده گردید. پیش‌سازهای گلوکز به صورت سرک به خوراک اضافه می‌شد. جیره‌های آزمایشی به صورت خوراک کاملاً مخلوط شده دو بار در روز در ساعات ۸:۰۰ و ۱۶:۰۰ به گاوها عرضه می‌گردید. اجزای خوراک و ترکیب شیمیایی جیره‌ها در جدول ۱ بیان شده است. پروپیلن گلیکول و گلیسرول به دلیل مایع بودن میزان ماده خشک آنها ناچیز بود بنا بر این در جدول ماده خشک لحاظ نشده است ولی در قسمت تجزیه مواد مغذی جیره لحاظ گردید. میزان خوراک مصرفی و پس‌آخور به صورت روزانه اندازه‌گیری شد. ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام، چربی خام و فیبر نامحلول در شوینده خنثی (NDF) نمونه‌های مدفوع و خوراک براساس روش (AOAC, 2000) تعیین شد. چربی خام با دستگاه سوکسله (Soxtec System, HT, Foss Tecator 1043, Hogans, Sweden)، الیاف با دستگاه فیبر (Automated Fibertec Foss Tecator, 1010 Hogans, Sweden) و پروتئین خام با دستگاه کج‌لدال اتوماتیک (Kjeltec 1030) Autoanalyzer, Foss Tecator AB, Hogans, Sweden) تعیین شد. جهت تعیین مقدار ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام، چربی خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی در روزهای ۳۰ تا ۳۳ آزمایش از خوراک و مدفوع هر گاو نمونه‌هایی جمع‌آوری و پس از اندازه‌گیری خاکستر نامحلول در اسید، گوارش پذیری ظاهری هر ماده مغذی محاسبه شد (Van kenlm and Young. 1977). گاوها سه وعده در شبانه روز در ساعات ۸:۳۰، ۱۶:۳۰، ۰۰:۳۰ دوشیده شدند و رکورد هر ۳ وعده ثبت گردید. در روزهای ۳، ۷، ۱۰، ۱۴، ۱۷، ۲۱، ۲۸ و ۳۵ پس از زایش نمونه‌گیری از شیر انجام شد و مقادیر ترکیبات شیر شامل چربی، پروتئین و لاکتوز با دستگاه تجزیه شیر (Ekomilk Total, Bulgaria) تعیین شد. نحوه محاسبه انرژی خالص شیر به صورت زیر بود.

انرژی خالص شیر (مگا کالری در کیلوگرم) محاسبه شده بر اساس (Council, 2001): $(\% \times 0.929) + (\% \times 0.0563) + (\% \times 0.395)$ (پروتئین شیر) + (لاکتوز شیر).
 انرژی خالص شیر (مگا کالری در روز) محاسبه شده بر اساس (NRC, 2001): تولید شیر روزانه $(\% \times 0.929) + (\% \times 0.0563) + (\% \times 0.395)$ (پروتئین شیر) + (لاکتوز شیر).

جدول ۱. اجزای خوراکی تشکیل‌دهنده و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی (درصد ماده خشک)

مواد خوراکی	کنجاله گلوتن ذرت ^۱						پودر گوشت
	P۷۵	۵۰/۵۰	G۷۵	P۷۵	۵۰/۵۰	G۷۵	
یونجه خشک	۲۴/۴	۲۴/۴	۲۴/۴	۲۴/۴	۲۴/۴	۲۴/۴	
ذرت سیلو شده	۲۱/۵	۲۱/۵	۲۱/۵	۲۱/۵	۲۱/۵	۲۱/۵	
دانه جو	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	
دانه ذرت	۱۴/۵	۱۴/۵	۱۴/۵	۱۴/۵	۱۴/۵	۱۴/۵	
پنبه دانه	۴	۴	۴	۴	۴	۴	

۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	کنجاله سویا
۱/۹	۱/۹	۱/۹	۱/۹	۱/۹	۱/۹	پودر چربی ^۲
۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	مکمل ویتامینی معدنی ^۳
۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳	جوش شیرین
۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	اکسید منیزیم
۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	نمک طعام
۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴	کربنات کلسیم
۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۷	۰/۷	۰/۷	زئولیت
۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۳	دی کلسیم فسفات
۰	۰	۰	۳	۳	۳	کنجاله گلوتن ذرت
۳	۳	۳	۰	۰	۰	پودر گوشت
۷۵	۱۵۰	۲۲۵	۷۵	۱۵۰	۲۲۵	پروپیلن گلیکول (گرم در روز به صورت سرک)
۲۲۵	۱۵۰	۷۵	۲۲۵	۱۵۰	۷۵	گلیسرول (گرم در روز به صورت سرک)

پودر گوشت			کنجاله گلوتن ذرت			ترکیب شیمیایی
G۷۵	۵۰/۵۰	P۷۵	G۷۵	۵۰/۵۰	P۷۵	
۱/۶۸	۱/۶۸	۱/۶۸	۱/۶۷	۱/۶۷	۱/۶۷	انرژی خالص شیردهی (Mcal/kg)
۱۷/۰۱	۱۷/۰۱	۱۷/۰۱	۱۷/۱	۱۷/۱	۱۷/۱	پروتئین خام (درصد)
۴/۸۶	۴/۸۶	۴/۸۶	۴/۶۵	۴/۶۵	۴/۶۵	چربی خام (درصد)
۱۸/۱۹	۱۸/۱۹	۱۸/۱۹	۱۸/۲۵	۱۸/۲۵	۱۸/۲۵	الیاف نامحلول شوینده اسیدی (درصد)
۳۰/۱۱	۳۰/۱۱	۳۰/۱۱	۳۰/۱۸	۳۰/۱۸	۳۰/۱۸	الیاف نامحلول شوینده خنثی (درصد)
۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	کلسیم (درصد)
۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۴۶	فسفر (درصد)

۱. جیره پایه به همراه ۳۰۰ گرم پیش ساز گلوز با نسبت های P۷۵ (۷۵ درصد پروپیلن گلیکول، ۲۵ درصد گلیسرول)، ۵۰/۵۰: (۵۰ درصد پروپیلن گلیکول، ۵۰ درصد گلیسرول)، G۷۵: (۲۵ درصد پروپیلن گلیکول، ۷۵ درصد گلیسرول) و پودر گوشت یا کنجاله گلوتن ذرت. ۲. نمک کلسیمی اسیدهای چرب پالمیتیک و استئاریک اسید شرکت دانش بنیان کیمیا دانش الوند - قم - ایران ۳. هر کیلوگرم مخلوط مکمل معدنی و ویتامین شامل: ۱۰۰۰۰۰۰ از واحد بین المللی ویتامین A، ۱۸۰۰۰۰ از واحد بین المللی ویتامین D، ۵۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین E، ۱۵۰ میلی گرم بیوتین، ۲۰۰۰۰ میلی گرم مونسین، ۳۰۰۰۰۰ میلی گرم فسفر، ۱۴۰۰۰۰ میلی گرم کلسیم ۵۰۰۰۰ میلی گرم منیزیم، ۱۵۰ میلی گرم آهن، ۱۰۰۰۰ میلی گرم روی، ۳۰۰۰ میلی گرم مس، ۹۰ میلی گرم سلنیوم، ۹۰۰۰ میلی گرم منگنز، ۱۴۰ میلی گرم ید، ۸۰ میلی گرم کبالت، ۳۰۰۰۰ میلی گرم گوگرد، ۲۰۰۰ میلی گرم آنتی اکسیدان می باشد.

این پژوهش به صورت طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل ۳×۲ که شامل ۳ نسبت متفاوت از پیش سازهای گلوز (پروپیلن گلیکول به گلیسرول) و ۲ منبع متفاوت از اسیدهای آمینه شاخه دار (کنجاله گلوتن ذرت و پودر گوشت) با مدل آماری زیر انجام گردید. نتایج تجزیه واریانس به صورت میاگین حداقل مربعات و احراف معیار میاگین ها گزارش شد. مقایسه میاگین ها به روش آزمون توکی و سطح معنی داری در $P < ۰/۵$ و بیان روند (تمایل به معنی داری) برای سطوح $P < ۰/۱$ انجام گردید.

توزیع نرمال داده ها توسط آزمون Shapiro-Wilk انجام شد. همچنین میزان وزن اولیه و شیر تصحیح شده برای ۳۰۵ روز به عنوان عامل کووریت در نظر گرفته شدند. پارامترهایی که یکبار اندازه گیری شدند مانند وزن بدن، قابلیت هضم و... با رویه GLM و پارامترهایی که در طول آزمایش تکرار شدند مانند تولید و ترکیب شیر با رویه MIXED (داده های تکرارشونده) با استفاده از نرم افزار آماری (SAS نسخه ۹/۴) آنالیز شد.

$$Y_{ijklmn} = \mu + C_i + A_j + B_k + (AB)_{jk} + R_l + t_m + b_1(w_{ijklm} - \bar{w}) + b_2(x_{ijklm} - \bar{x}) + e_{ijklmn}$$

Y_{ijklmn} = مقدار هر مشاهده مربوط به صفت مورد ارزیابی، μ = میانگین کل، A_i = اثر مکمل پیش ساز گلوکز، B_j = اثر منبع اسید آمینه شاخه دار، $(AB)_{ij}$ = اثر متقابل مکمل پیش ساز گلوکز و منبع اسید آمینه شاخه دار، R_k = اثر تعداد زایش هر حیوان، t_l = اثر زمان، b_1 = ضریب تابعیت اثر وزن اولیه بر هر مشاهده، w_{ijklm} = مشاهده مربوط به وزن اولیه هر حیوان، $\bar{w}$ = میانگین مشاهدات مربوط به وزن اولیه حیوانات، b_2 = ضریب تابعیت اثر شیر تصحیح شده ۳۰۵ روز بر هر مشاهده، x_{ijklm} = شیر تصحیح شده ۳۰۵ روز هر حیوان، $\bar{x}$ = میانگین شیر تصحیح شده ۳۰۵ روز حیوانات، C = اثر تصادفی حیوان، e_{ijklmn} = اثر خطای آزمایش

نتایج و بحث

ماده خشک مصرفی

نتایج مربوط به ماده خشک مصرفی، بازده خوراک مصرفی و توازن منفی انرژی در جدول شماره ۲ بیان شده است. از نظر ماده خشک مصرفی بین تیمارها تفاوت معنی داری مشاهده نمی شود. خوش خوراکی اقلام مورد استفاده در جیره گاوها یکی از عوامل اصلی است که بر خوراک مصرفی تأثیر می گذارد و انتظار می رود که اضافه کردن پروپیلن گلیکول به دلیل طعم تلخ و تا حدودی نامطبوع آن سبب کاهش خوراک مصرفی شود و یا افزودن گلیسرول به جیره غذایی می تواند خوش خوراکی را به دلیل طعم شیرین آن افزایش دهد. با وجود این، غلظت بالای انرژی در پیش سازهای گلوکز مانند گلیسرول و اثر آن بر تخمیر شکمبه ای و تغییر نسبت های اسیدهای چرب فرار (VFA) شکمبه ای می تواند به طور منفی بر خوراک مصرفی تأثیر بگذارد، به نحوی که با افزایش تولید پروپیونات باعث افزایش نسبت پروپیونات به استات در شکمبه می شود در نتیجه با انتقال این پروپیونات به کبد بخشی از آن به ادنوزین تری فسفات تبدیل شده و موجب کاهش مصرف خوراک می گردد (Defraín et al. 2004). در آزمایشی دیگر روی گاوهای دوره انتقال، گلیسرول را از ۱۴ روز پیش از زایش تا ۲۱ روز پس از زایش به جیره غذایی گاوها اضافه کردند و مشاهده کردند مصرفی در دوره ی پیش از زایش کاهش یافت اما پس از زایش تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت (Andrade et al., 2018)، که همسو با نتایج این پژوهش است. برخی آزمایش های دیگر نیز گزارش کردند استفاده از گلیسرول در گاوها خوراک مصرفی روزانه را تحت تأثیر قرار نداد. عدم تأثیر منفی بر خوراک مصرفی می تواند نشان دهند که خوش خوراکی تحت تأثیر گلیسرول قرار نگرفته است. در برخی از پژوهش ها استفاده از گلیسرول در خوراک گاوهای اوایل و یا میانه دوره شیردهی تأثیر معنی داری بر ماده خشک مصرفی نداشته است که همسو با نتایج پژوهش حاضر است (Khalili et al. 1997) و (Wang et al. 2009)، همچنین (DeFrain et al. 2004، Kass et al. 2013) و (Omazic et al. 2013) گزارش دادند که خوراک مصرفی روزانه زمانی که گاوهای شیری در اوایل دوره شیردهی تغذیه می شد تغییر نکرد اما (Paiva et al. 2016) گزارش دادند که خوراک مصرفی روزانه گاوهای شیرده که ۲۱۰ گرم گلیسرول خام در خوراک خود داشتند کاهش یافت همچنین (Ezequiel et al. 2015) مشاهده کردند تغذیه گلیسرول به گاوهای شیرده ماده خشک مصرفی را به میزان ۱۵ درصد در مقایسه با گاوهایی که جیره غذایی بدون گلیسرول داشتند کاهش داد (Donkin et al. 2009). و (Ezequiel et al. 2015) کاهش خوراک مصرفی در گاوهای شیرده که بین ۱۰ تا ۳۰

درصد از ماده خشک جیره غذایی را گلیسرول دریافت کرده بودند، گزارش کردند که با نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر ناهمسو می‌باشند.

در پژوهشی که به بررسی اثر مصرف پروپیلن گلیکول ۳۰۰ ملی‌لیتر در روز و اسیدهای آمینه شاخه‌دار ۵۰۰ گرم در روز بر روی گاوهای هلشتاین تازه‌زا انجام گرفت Leal yepes et al 2021 بیان داشتند که ماده خشک مصرفی در گاوهای مصرف کننده تیمار اسید آمینه شاخه‌دار به همراه پروپیلن گلیکول به صورت معنی داری بیشتر از تیمار شاهد بود اما در مورد وزن بدن و توازن انرژی تا روز ۳۵ پس از زایش بین تیمارها تفاوت معنی داری مشاهده نشد که همسو با نتایج پژوهش حاضراست. همچنین (chung et al. 2009) اثر نوع مصرف پروپیلن گلیکول بر گاوهای هلشتاین تازه‌زا تا ۲۱ روز پس از زایش را بررسی کردند که مصرف روزانه پروپیلن گلیکول به صورت TMR و یا سرک به همراه تیمار شاهد بود. هم راستا با نتایج پژوهش حاضر این محققان بیان داشتند که مصرف پروپیلن گلیکول تاثیر معنی داری بر ماده خشک مصرفی، توازن انرژی و بازدهی خوراک مصرفی نداشت. در پژوهشی که اثر مصرف پروپیلن گلیکول به صورت سرک را بر عملکرد گاوهای هلشتاین تازه‌زا مورد ارزیابی قرار داده بود بیان شد که ماده خشک مصرفی روزانه و بازدهی خوراک مصرفی تحت تاثیر تیمارها قرار نگرفت که همسو با نتایج تحقیق حاضر است اما در مورد توازن انرژی پس از زایش بیان داشتند که بین تیمارها تفاوت معنی دار وجود داشت و مقدار آن به صورت خطی با افزایش سطح مصرف پروپیلن گلیکول افزایش می‌یافت (Liu et al. 2009).

در پژوهش‌های مختلفی اثر پیش‌سازهای گلوکز بر خوراک مصرفی، توازن انرژی و بازدهی خوراک مصرفی مورد ارزیابی قرار گرفته است که همه‌ی آنها مستقیماً تحت تاثیر سطح خوراک مصرفی قرار دارند، نتایج مختلفی از جمله افزایش، کاهش و یا مانند تحقیق حاضر بی اثر بودن استفاده از پیش‌سازهای گلوکز نتیجه‌گیری شده است، اما در اکثر این پژوهش‌ها مهم ترین عامل اثر گذار بر ماده خشک مصرفی روزانه را خوش خوراکی و طعم و بوی ماده مغذی بیان کرده اند. گلیسرول دارای طعم شیرین است و پروپیلن گلیکول دارای طعم تلخ می‌باشد که می‌توانند خوش خوراکی جیره مصرفی گاو را تحت تاثیر مثبت و یا منفی خود قرار دهند. ولی عدم تاثیر در این پژوهش می‌تواند به دلیل مصرف این مکمل‌ها به صورت کاملاً مخلوط شده با کل خوراک باشد زیرا این مخلوط شدن اثر طعم این مواد را به شدت کاهش می‌دهد. از سوی دیگر میزان انرژی خالص شیردهی هر دو این مواد نزدیک به هم می‌باشد و به دلیل سطح مصرف (۳۰۰ گرم) و حالت فیزیکی بسیار شبیه به هم این مواد (مایع) عملاً تفاوت معنی داری در خوراک مصرفی بین این دو مشاهده نشد. تفاوت اندک مشاهده شده در خوراک مصرفی می‌تواند به دلیل تفاوت در میزان و نوع اسیدهای چرب فرار شکمبه بین این مواد و مسیرهای متفاوتی که طی می‌کنند باشد. وقتی گلیسرول به صورت کامل از روده جذب می‌شود، در کبد متابولیزه شده و به عنوان گلیسرآلدئید-۳-فسفات وارد مسیر گلوکونئوزن سیتوزولی می‌شود، بدون اینکه نیاز به ورود به چرخه اسید تری کربوکسیلیک داشته باشد، و بنابراین، مراحل متابولیسمی با آنزیم‌های محدودکننده را دور می‌زند (Johnson. 1954). وقتی پروپیلن گلیکول به صورت کامل جذب می‌شود در کبد به لاکتات متابولیزه شده (Kristensen and Raun. 2007) و از طریق پیروات وارد چرخه کربس می‌شود و گلوکونئوزن را تحریک می‌کند. پروپیلن گلیکول می‌تواند به صورت کامل از طریق دیواره شکمبه یا روده کوچک جذب شود و یا در شکمبه به پروپیونات، پروپانول و به مقدار کمتری به پروپانال متابولیزه شده و سپس از طریق دیواره آن جذب شود (Nielsen and Ingvarsten. 2004; Kristensen and Raun. 2007). پروپیلن گلیکول اگر به پروپیونات متابولیزه شود از طریق سوکسینیل-CoA وارد چرخه کربس می‌شود و در نهایت سنتز گلوکز را افزایش می‌دهد (Nielsen and Ingvarsten. 2004) ولی گلیسرول به روش مستقیم تری نسبت به آن وارد مسیر گلوکونئوزن می‌شود. به طور کلی تمام این تفاوت‌ها از جمله سطح مصرف مکمل‌ها، نوع خوراک پایه، شرایط فیزیولوژیکی گاوها و... نتوانستند موجب ایجاد تفاوت معنی دار در ماده خشک مصرفی روزانه و سایر پارامترها شوند. (Leal Yepes et al. 2018) بیان کردند که استفاده از مکمل اسیدهای آمینه شاخه‌دار به میزان ۵۰۰ گرم در روز تاثیری معنی داری بر ماده خشک مصرفی روزانه و توازن انرژی در گاوهای هلشتاین ندارد که تایید کننده نتایج حاصل از پژوهش حاضر است.

جدول ۲. اثر جیره‌های آزمایشی بر ماده خشک مصرفی، بازدهی خوراک مصرفی و توازن منفی انرژی در گاوهای هلشتاین اوایل شیردهی

شاخص	کنجاله گلوتن ذرت ^۱			پودر گوشت			SEM ^۲	پیش‌ساز گلوکز	اسید آمینه شاخه‌دار	P-value ^۳	اثر متقابل
	۷۵P	۵۰/۵۰	۷۵G	۷۵P	۵۰/۵۰	۷۵G					
ماده خشک مصرفی (کیلوگرم در روز)	۲۰/۳۱	۲۰/۱۰	۱۹/۸۸	۲۰/۱۲	۱۹/۷۵	۱۹/۸۴	۰/۶۴	۰/۲۱	۰/۳۸	۰/۴۵	
انرژی خالص شیردهی (مگا کالری در روز)	۲۵/۳۱	۲۵/۱۲	۲۴/۹۸	۲۵/۱۲	۲۵/۱۱	۲۴/۸۸	۰/۷۱	۰/۳۸	۰/۴۲	۰/۲۶	
انرژی خالص شیردهی (مگا کالری در کیلوگرم)	۰/۸۱	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۷۹	۰/۷۶	۰/۷۳	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۴۷	۰/۵۸	
بازده خوراک مصرفی (FE)	۲/۰۸	۲/۱۰	۲/۰۵	۲/۰۹	۲/۰۷	۲/۰۸	۰/۱۱	۰/۵۶	۰/۶۶	۰/۶۱	
توازن منفی انرژی (مگا کالری در روز)	-۳/۶۸	-۳/۸۵	-۳/۹۹	-۳/۷۱	-۳/۸۶	-۴/۰۲	۱/۰۳	۰/۲۳	۰/۴۸	۰/۳۸	

۱. جیره پایه به همراه ۳۰۰ گرم پیش‌ساز گلوکز با نسبت‌های P۷۵: (۷۵ درصد پروپیلن گلیکول، ۲۵ درصد گلیسرول)، ۵۰/۵۰: (۵۰ درصد پروپیلن گلیکول، ۵۰ درصد گلیسرول)، G۷۵: (۲۵ درصد پروپیلن گلیکول، ۷۵ درصد گلیسرول) و پودر گوشت یا کنجاله گلوتن ذرت. ۲. خطای استاندارد میانگین ها. ۳. در یک ردیف معنی داری تیمارها ($p < ۰/۰۵$) با حروف مشخص شده است

قابلیت هضم

همان گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود تفاوت معنی داری بین تیمارها در قابلیت هضم ماده خشک مصرفی، ماده آلی، پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و چربی خام وجود ندارد. مانند ماده خشک مصرفی روزانه، تفاوت‌هایی در نتایج آزمایش‌ها در مورد تأثیر تجویز گلیسرول در جیره‌های غذایی گاوهای شیری بر قابلیت هضم مواد مغذی وجود دارد. تقریباً همان عواملی که باعث تفاوت در نتایج خوراک مصرفی می‌شوند، در هضم خوراک نیز مؤثر هستند. Südekum, 2008 گزارش کرد که استفاده از گلیسرول در نشخوارکنندگان هیچ تأثیری بر قابلیت هضم ظاهری ماده آلی، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و نشاسته ندارد. همچنین در پژوهشی که روی گاوهای شیری هلشتاین با مصرف روزانه ۲۱۰ گرم پروپیلن گلیکول انجام گردید مشاهده شد که مصرف پروپیلن گلیکول تأثیر معنی داری بر قابلیت هضم ماده خشک، ماده آلی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی نداشت (Shingfield et al. 2002). با مصرف گلیسرول در سطوح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گرم در روز به ازای هر گاو قابلیت هضم ماده خشک مصرفی، الیاف نامحلول در شوینده خنثی افزایش یافت (Wang et al. 2009) که می‌تواند نشان‌دهنده افزایش فعالیت میکروبی شکمبه باشد (Andrade et al. 2018). علاوه بر این تغذیه گلیسرول به گاوهای شیرده در سطوح ۷۰، ۱۴۰ یا ۲۱۰ گرم در کیلوگرم ماده خشک خوراک مصرفی روزانه مشاهده کردند موجب افزایش قابلیت هضم ماده خشک مصرفی، پروتئین خام و عصاره اتری شد (Paiva et al. 2016). تغذیه گلیسرول به میزان ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌لیتر در روز به گاوهای شیرده، قابلیت هضم ماده آلی و کربوهیدرات‌های غیرساختاری را تحت تأثیر قرار نداد، اما قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین خام و الیاف افزایش یافت، در حالی که تفاوتی بین دو سطح در قابلیت هضم خوراک مشاهده نشد (Saleem et al. 2018).

پژوهشگرانی که اثرات مثبت تغذیه پیش‌سازهای گلوکز بر قابلیت هضم مواد مغذی را مشاهده کردند، فرضیه دادند که این مواد انرژی کافی برای میکروب‌های شکمبه فراهم می‌کند تا منابع نیتروژن را برای بیوسنتز پروتئین‌های میکروبی تجزیه کنند. گلیسرول توسط باکتری‌های *Selenomonas ruminantium*، *Megasphaera elsdenii* و *Streptococcus bovis* مصرف شده و تولید پروپیونات، استات و بوتیرات را افزایش می‌دهد اما موجب کاهش در تولید نیکوتین آمید-آدنین دی‌نوکلئوتید (NADH) می‌شود که در ادامه ATP لازم برای تخمیر خوراک را افزایش می‌دهد و در اختیار سایر میکروب‌های شکمبه قرار داده و در نهایت موجب افزایش کارایی انرژی در شکمبه می‌شود (Lee et al. 2011).

از سوی دیگر جایگزینی کنسانتره با گلیسرول خام به میزان ۱۰ درصد در خوراک گاوهای شیرده موجب کاهش ۳۰ درصدی هضم الیاف نامحلول در شوینده خنثی گردید (Shin et al. 2012). همچنین (Donkin et al. 2009) زمانی که ذرت با گلیسرول به میزان ۵، ۱۰ یا ۱۵ درصد ماده خشک مصرفی خوراک در گاوهای شیرده جایگزین شد موجب کاهش قابلیت هضم الیاف شد. اثرات منفی تجویز گلیسرول بر میکروفلور شکمبه و فعالیت های سلولولیتیک مسئول چنین اثراتی است به نحوی که تجویز گلیسرول خام غلظت DNA و فعالیت آنزیمی باکتری *Butyrivibrio fibrisolvens* را کاهش می‌دهد (AbuGhazaleh et al. 2011) همچنین در پژوهی دیگر کاهش فعالیت سلولولیتیک در *Ruminococcus flavefaciens* و *F. succinogenes* را با تجویز گلیسرول خام در شرایط آزمایشگاهی گزارش کردند (Abo El-Nor et al., 2010). در نتیجه تغییر در تعداد و فعالیت باکتری‌های شکمبه به ویژه باکتری‌های تجزیه کننده سلولز ممکن است مسئول کاهش قابلیت هضم مواد مغذی، به ویژه الیاف باشند. اختلافات بین نتایج ممکن است به سطح مورد استفاده‌ی پیش‌سازهای گلوکز، جیره غذایی حیوانات و همچنین شرایط آزمایش‌ها (آزمایش‌های درون تنی در مقابل آزمایش‌های برون تنی) مربوط باشد.

جدول ۳. اثر جیره‌های آزمایشی بر قابلیت هضم ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی در گاوهای هلشتاین اوایل شیردهی

قابلیت هضم	کنجاله گلو تن ذرت ^۱			پودر گوشت			SEM ^۲	P-value ^۳		
	۷۵P	۵۰/۵۰	۷۵G	۷۵P	۵۰/۵۰	۷۵G		پیش‌ساز	اسید آمینه	اثر متقابل
								گلوکز	شاخه‌دار	
ماده خشک (درصد)	۷۲/۲۳	۷۱/۳۸	۷۰/۹۸	۷۱/۴۹	۷۲/۲۱	۷۱/۲۸	۳/۳۷	۰/۳۸	۰/۴۲	۰/۲۲
ماده آلی (درصد)	۷۵/۲۷	۷۴/۴۸	۷۳/۹۸	۷۴/۱۲	۷۵/۴۷	۷۳/۲۲	۱/۸۲	۰/۲۴	۰/۵۷	۰/۳۸
پروتئین خام (درصد)	۷۴/۱۲	۷۳/۵۶	۷۳/۱۶	۷۲/۸۷	۷۵/۱۳	۷۲/۳۵	۱/۳۶	۰/۴۷	۰/۸۴	۰/۵۶
چربی خام (درصد)	۸۱/۱۹	۸۰/۵۵	۸۰/۹۳	۷۹/۵۲	۸۱/۳۶	۸۰/۴۱	۱/۲۷	۰/۴۲	۰/۳۶	۰/۴۱
الیاف نامحلول در شوینده خنثی (درصد)	۵۵/۶۱	۵۳/۹۳	۵۳/۲۷	۵۶/۳۲	۵۵/۲۸	۵۳/۴۷	۲/۱۲	۰/۱۳	۰/۵۱	۰/۴۷

۱. جیره پایه به همراه ۳۰۰ گرم پیش‌ساز گلوکز با نسبت‌های P۷۵ (۷۵ درصد پروبیون گلیکول، ۲۵ درصد گلیسرول)، ۵۰/۵۰ (۵۰ درصد پروبیون گلیکول، ۵۰ درصد گلیسرول)، G۷۵ (۲۵ درصد پروبیون گلیکول، ۷۵ درصد گلیسرول) و پودر گوشت یا کنجاله گلو تن ذرت. ۲. خطای استاندارد میانگین ها. ۳. در یک ردیف معنی داری تیمارها ($p < ۰/۰۵$) (با حروف مشخص شده است)

تولید و ترکیبات شیر

نتایج مربوط به تولید و ترکیبات شیر در جدول ۴ بیان گردیده است. تولید شیر روزانه در بخش اثر متقابل بین تیمارها معنی دار نبوده است ولی در بخش اثر اصلی پیش‌سازهای گلوکز بین تیمارها تفاوت معنی دار وجود دارد ($p < ۰/۰۵$)، به عبارت دیگر تولید شیر روزانه تحت تاثیر منبع اسیدهای آمینه شاخه‌دار قرار نرفت و این تفاوت بین میزان استفاده از منابع مختلف پیش‌سازهای گلوکز است که موجب تفاوت معنی دار در تولید شیر روزانه گردیده است، به این صورت که بین تیمار ۷۵P (۷۵ درصد پروبیون گلیکول و ۲۵ درصد گلیسرول) و تیمار ۷۵G (۲۵ درصد پروبیون گلیکول و ۷۵ درصد گلیسرول) تفاوت معنی دار وجود دارد اما هیچ یک با تیمار ۵۰/۵۰ (۵۰ درصد پروبیون گلیکول و ۵۰ درصد گلیسرول) تفاوت معنی داری ندارند. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش نسبت پروبیون گلیکول به گلیسرول در تیمارها میزان تولید شیر به صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. در تولید شیر تصحیح شده برای ۳/۵ درصد چربی و سایر اجزا شیر تفاوت معنی داری بین تیمارهای آزمایشی مشاهده نشد. همسو با نتایج فوق در پژوهشی تاثیر مصرف پروبیون گلیکول روی چهار گله گاو شیری هلشتاین برسی گردید مشاهده شد مصرف پروبیون گلیکول به صورت معنی داری تولید شیر را در ۳۰ روز اول پس از زایش نسبت به گاوهایی که این مکمل را مصرف نکرده بودند افزایش داد (Mcatr et al. 2011). همچنین Lien et al. 2010 بیان داشتند که

استفاده از پروپیلن گلیکول در ۹۰ روز اول پس از زایش سبب افزایش تولید شیر نسبت به تیمار شاهد به صورت معنی دار گردید. اما در پژوهشی که با استفاده از پیش سازهای گلوکز از جمله پروپیلن گلیکول و گلیسرول به صورت تزریق در نگاری انجام گردید مشاهده شد استفاده از پیش سازهای گلوکز به صورت جداگانه و یا استفاده همزمان از آنها تاثیر معنی داری بر تولید شیر روزانه ندارد (Piantoni and Allen, 2015). همچنین در پژوهشی دیگر بیان شد مصرف پروپیلن گلیکول به صورت نوشاندن تاثیری بر تولید شیر روزانه گاوهای هلشتاین ندارد (Miyoshi et al. 2001).

استفاده از مکمل اسیدهای امینه شاخه دار به میزان ۵۰۰ گرم در روز تاثیری معنی داری بر چربی و پروتئین شیر و همچنین شیر تصحیح شده برای انرژی در گاوهای هلشتاین نداشت (Leal Yepes et al 2018) که تایید کننده نتایج حاصل از پژوهش حاضر است. در پژوهشی با مصرف روزانه ۳۰۰ گرم پروپیلن گلیکول مایع در ۲۱ روز اول پس از زایش گاوهای هلشتاین، تمایل به تولید شیر بیشتر در طول ۹۰ روز اول زایش (۰/۹۴ کیلوگرم) در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده گردید، اما تفاوتی در شیر اصلاح شده از نظر انرژی مشاهده نشد (Lomander et al. 2012) که همسو با نتایج پژوهش حاضر است. در آزمایشی با استفاده از ۵۰۰ میلی لیتر پروپیلن گلیکول به مدت ۵ روز به صورت نوشاندن به گاوهای اوایل زایش تنها مزایای کمی برای گاوهای دارای عدم تعادل فیزیولوژیک مشاهده شد (Østergaard et al. 2020). استفاده از پروپیلن گلیکول در دوره پیش از زایش گاوهای هلشتاین تاثیری بر تولید شیر در ۹ هفته اول پس از زایش نداشت (Juchem et al. 2004). گاوهای چند بار زایش کرده هلشتاین از ۱۰ روز پیش از تاریخ پیش بینی شده زایش تا ۲۵ روز پس از زایش ۵۰۰ میلی لیتر پروپیلن گلیکول خوراکی دریافت کردند که موجب افزایش محتوای لاکتوز شیر شد و چربی شیر تمایل به کاهش داشت، اما تفاوتی در تولید شیر و درصد پروتئین شیر مشاهده نشد (Butler et al. 2006). استفاده از پروپیلن گلیکول در خوراک گاوهای هلشتاین مبتلا به کتوز تحت بالینی تولید شیر را در اوایل بهبود می بخشد (Mcart et al. 2011). همسو با نتایج پژوهش حاضر (paiva et al. 2016) کاهش تولید شیر در گاوهای شیری که به مدت طولانی گلیسرول تغذیه می کردند، مشاهده کردند. اما برخی دیگر از پژوهش ها گزارش دادند استفاده از گلیسرول در خوراک مصرفی روزانه گاوها و بزهای شیرده تاثیر معنی داری بر میزان تولید شیر روزانه آنها نداشته است (Shin et al. 2012; Ezequiel et al. 2015; Thoh et al. 2017).

همسو با نتایج حاضر در برخی از مطالعات افزودن ۲۰۰ تا ۴۰۰ گرم پروپیلن گلیکول به جیره غذایی گاوها تاثیری بر درصد لاکتوز شیر نداشت (Cozzi et al. 1996; Shingfield et al. 2002). با توجه به نتایج پژوهش حاضر مشاهده شد با افزایش سطح پروپیلن گلیکول درصد چربی شیر کاهش پیدا می کند، هرچند که معنی دار نمی باشد. دلیل این گرایش به کاهش محتوای چربی شیر می تواند حاصل تغییر در نسبت اسیدهای چرب فرار شکمبه در پی تجزیه پروپیلن گلیکول باشد که در نهایت منجر به کاهش نسبت استات در شکمبه می شود. این کاهش ممکن است میزان استات در دسترس برای سنتز اسیدهای چرب جدید در غدد تولید کننده شیر در پستان را کاهش دهد. همچنین گرایش به کاهش محتوای چربی شیر می تواند به دلیل کاهش NEFA پلاسما باشد، زیرا کاهش غلظت های آن منجر به کاهش جذب NEFA توسط غدد شیری می شود (Emery and Herdt, 1991; Nielsen and Riis, 1993). استفاده از پروپیلن گلیکول و گلیسرول به صورت تکی یا مصرف همزمان آنها در خوراک مصرفی گاوهای هلشتاین تازه زاده ها تاثیر معنی داری بر میزان چربی شیر و پروتئین شیر تولیدی آنها نداشت (Piantoni and Allen 2015)، که همسو با نتایج پژوهش حاضر است. زمانی که دانه ذرت با گلیسرول خالص به میزان ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد از کل ماده خشک خوراک جایگزین گردید تاثیر معنی داری بر تولید شیر روزانه، درصد چربی و پروتئین شیر مشاهده نشد (Donkin et al 2007).

پروپیلن گلیکول به دلیل اینکه دارای غلظت انرژی بالاتری نسبت به سایر پیش سازهای گلوکز می باشد در نتیجه مصرف آن غلظت انرژی خوراک را بالا می برد (Nielsen and Ingvarsten 2004). در اوایل زایش به دلیل وجود توازن منفی انرژی که عمدتاً گاوهای پرتولید به آن دچار می شوند، استفاده از پروپیلن گلیکول موجب بهبود توازن انرژی در گاو می شود و مقداری

از انرژی و گلوکز مورد نیاز برای تولید شیر را فراهم می‌کند و در نهایت سبب تولید شیر بیشتر در گاوهای تازه‌زا می‌گردد. همچنین مصرف پروپیلن گلیکول تا حدودی سبب بهبود ماده خشک مصرفی روزانه در گاوها شده که این افزایش خوراک مصرفی می‌تواند موجب تولید شیر بیشتر در گاوها شود. در نهایت با افزایش تراکم انرژی در جیره غذایی حیوانات شیرده به دلیل تأثیر آن بر سطح انسولین و گلوکز خون انتظار می‌رود عملکرد شیردهی بهبود یابد (Lomander et al., 2012; Bajramaj et al., 2017).

جدول ۴. اثر جیره‌های آزمایشی بر تولید و ترکیبات شیر در گاوهای هلشتاین اوایل شیردهی

شیر	کنجاله گلوتن ذرت ^۱			پودر گوشت			^۲ SE M	^۳ P.value	اثر متقابل
	۷۵P	۵۰/۵۰	۷۵G	۷۵P	۵۰/۵۰	۷۵G			
تولید شیر (کیلوگرم در روز)	۳۷/۸۶ ^a	۳۶/۶۰ ^a	۳۵/۸۰ ^b	۳۷/۴۵ ^a	۳۶/۲۰ ^b	۳۵/۹۰ ^b	۰/۷۱	۰/۵۱	۰/۱۱
تولید شیر تصحیح شده برای ۳/۵ درصد چربی شیر (کیلوگرم در روز)	۴۲/۷۳	۴۱/۴۸	۴۰/۷۵	۴۲/۷۵	۴۰/۹۱	۴۱/۱۰	۰/۵۴	۰/۴۳	۰/۳۹
چربی شیر (درصد)	۴/۲۸	۴/۳۱	۴/۳۴	۴/۳۶	۴/۲۹	۴/۳۸	۰/۱۲	۰/۳۲	۰/۷۱
چربی شیر (کیلوگرم در روز)	۱/۶۲	۱/۵۸	۱/۵۵	۱/۶۳	۱/۵۵	۱/۵۷	۰/۰۹	۰/۶۶	۰/۴۱
پروتئین شیر (درصد)	۳/۲۹	۳/۳۱	۳/۲۸	۳/۳۸	۳/۲۹	۳/۳۳	۰/۰۵	۰/۴۰	۰/۳۲
پروتئین شیر (کیلوگرم در روز)	۱/۲۵	۱/۲۱	۱/۱۷	۱/۲۷	۱/۱۹	۱/۲۰	۰/۰۳۱	۰/۲۶	۰/۴۵
لاکتوز (درصد)	۴/۶۸	۴/۶۱	۴/۵۷	۴/۷۱	۴/۶۵	۴/۵۸	۰/۰۹	۰/۴۸	۰/۴۱
لاکتوز (کیلوگرم در روز)	۱/۷۷	۱/۷۱	۱/۶۶	۱/۷۳	۱/۶۵	۱/۶۱	۰/۰۶	۰/۴۶	۰/۳۳

۱. جیره پایه به همراه ۳۰۰ گرم پیش‌ساز گلوکز با نسبت‌های P۷۵: (۷۵ درصد پروپیلن گلیکول، ۲۵ درصد گلیسرول)، ۵۰/۵۰: (۵۰ درصد پروپیلن گلیکول، ۵۰ درصد گلیسرول)، G۷۵: (۲۵ درصد پروپیلن گلیکول، ۷۵ درصد گلیسرول) و ۶۰۰ گرم پودر گوشت یا کنجاله گلوتن ذرت. ۲. خطای استاندارد میانگین ها. ۳. در یک ردیف معنی داری تیمارها $(p < 0.05)$ (با حروف مشخص شده است)

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این پژوهش استفاده از پیش‌سازهای گلوکز به همراه منبع اسیدهای آمینه شاخه‌دار (کنجاله گلوتن ذرت) تأثیر معنی داری بر ماده خشک مصرفی روزانه، بازدهی مصرف خوراک و بالانس منفی انرژی گاوهای هلشتاین تازه‌زا ندارد. تولید شیر روزانه گاوهای تازه تحت تأثیر نوع منبع پیش‌ساز گلوکز گرفت ولی منبع اسیدهای آمینه شاخه‌دار تأثیری بر آن نداشت، به نحوی که میزان تولید شیر روزانه گاوها با افزایش میزان نسبت پروپیلن گلیکول به گلیسرول افزایش پیدا کرد بنا بر این توصیه می‌شود در ابتدای زایش به منظور افزایش تولید از پیش‌سازهای گلوکز استفاده شود و در بین منابع مختلف پیش‌ساز گلوکز اولویت استفاده با پروپیلن گلیکول می‌باشد.

REFERENCES

- Abo El-Nor S, Abu Ghazaleh AA, Potu RB, Hastings D, Khattab MSA.(2010). Effects of differing levels of glycerol on rumen fermentation and bacteria. *Anim Feed Sci Technol* 2010;162(3):99e105.
- AbuGhazaleh AA, Abo, El-Nor S, Ibrahim SA.(2011). The effect of replacing corn with glycerol on ruminal bacteria in continuous culture fermenters. *J Anim Physiol Anim Nutr* (Berl) 2011;95:313e9.
- Andrade GP de, Carvalho FFR de, Batista ^AMV, Pessoa RAS, da Costa CA, Cardoso DB, *et al.* (2018). Evaluation of crude glycerin as a partial substitute of corn grain in growing diets for lambs. *Small Rumin Res* 2018;165:41e7.
- Appuhamy, J. A. D. R. N., J. R. Knapp, O. Becvar, J. Escobar, and M. D. Hanigan. (2011). Effects of jugular-infused lysine, methionine, and branched-chain amino acids on milk protein synthesis in highproducing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2011; 94:1952–1960.
- Bajramaj DL, Curtis RV, Kim JJM, Corredig M, Doelman J, Wright TC, *et al.*(2017). Addition of glycerol to lactating cow diets stimulates dry matter intake and milk protein yield to a greater extent than addition of corn grain. *J Dairy Sci* 2017;100(8): 6139e50.
- Butler, S.T.; Pelton, S.H.; Butler, W.R. (2006). Energy balance, metabolic status, and the first postpartum ovarian follicle wave in cows administered propylene glycol. *J. Dairy Sci.* 2006; 89, 2938–2951.
- Chung, I. D. Girard and G. A. Varga. (2009). Effects of feeding dry propylene glycol to early postpartum Holstein dairy cows on production and blood parameters. *Animal.* 2009; 3:10, pp 1368–1377
- Cozzi G, Berzaghi P, Gottardo F, Gabai G, Andrighetto I. (1996). Effects of feeding propylene glycol to mid-lactating dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 1996; 64:43-51.
- Donkin SS, Koser SL, White HM, Doane PH, Cecava MJ. (2009). Feeding value of glycerol as a replacement for corn grain in rations fed to lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2009;92(10):5111e9.
- Donkin SS, Pallatin MR, Doane PH, Cecava MJ, White HM, Barnes E, *et al.* (2007). Performance of dairy cows fed glycerol as a primary feed ingredient. *J Dairy Sci* 2007;90:350.
- DeFrain JM, Hippen AR, Kalscheur KF, Jardon PW. (2004). Feeding glycerol to transition dairy cows: effects on blood metabolites and lactation performance. *J Dairy Sci* 2004;87(12):4195e206.
- Emery RS, Herdt TH. Lipid nutrition. (1991). *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 1991; 7:341–352.
- Ezequiel JMB, Sancanari JBD, Machado Neto OR, da Silva ZF, Almeida MTC, Silva DAV, *et al.* (2015). Effects of high concentrations of dietary crude glycerin on dairy cow productivity and milk quality. *J Dairy Sci* 2015;98(11):8009e17.
- Gordon, J. L., S. J. Leblanc, and T. F. Duffield. (2013). Ketosis treatment in lactating dairy cattle. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 2013;29:433–445
- Graber, M., S. Kohler, T. Kaufmann, M. G. Doherr, R. M. Bruckmaier, and H. A. van Dorland. (2010). A field study on characteristics and diversity of gene expression in the liver of dairy cows during the transition period. *J. Dairy Sci.* 2010;93:5200–5215
- Ji, P., and H. M. Dann. (2013). Negative protein balance: Implications for fresh and transition cows. In *Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers*. Department of Animal Science in the College of Agriculture and Life Sciences at Cornell University, Syracuse, NY.2013
- Johnson RB. (1954). The treatment of ketosis with glycerol and propylene glycol. *Cornell Vet* 1954;44:6e21.
- Juchem, S.O.; Santos, F.A.P.; Imaizumi, H.; Pires, A.V.; Barnabé, E.C. (2004). Production and blood parameters of holstein cows treated prepartum with sodium monensin or propylene glycol1. *J. Dairy Sci.* 2004; 87, 680–689.
- Kass M, Ariko T, Samarütel J, Ling K, Jaakson H, Kaart T, *et al.*(2013). Long-term oral drenching of crude glycerol to primiparous dairy cows in early lactation. *Anim Feed Sci Technol*

- 2013;184:58e66.
- Khalili H, Varvikko T, Toivonen V, Hissa K, Suvitie M.(1997). The effects of added glycerol or unprotected free fatty acids or a combination of the two on silage intake, milk production, rumen fermentation and diet digestibility in cows given grass silage based diets. *Agric Food Sci Finl* 1997;6:349e62.
- Kristensen NB, Raun BML.(2007). Ruminal fermentation, portal absorption, and hepatic metabolism of glycerol infused into the rumen of lactating dairy cows. In: Ortigues- Marty I, editor. Energy and protein metabolism and nutrition e Proceedings of the 2nd International symposium on energy and protein metabolism and nutrition. The Netherlands: EAAP Publication No. 124. *Wageningen Academic Publishers*. 2007; p. 355e6.
- Larsen, M., H. Lapierre, and N. B. Kristensen. (2014). Abomasal protein infusion in postpartum transition dairy cows: Effect on performance and mammary metabolism. *J. Dairy Sci*. 2014;97:5608–5622.
- Leal Yepes, S. Mann, T. R. Overton, C. M. Ryan, L. S. Bristol, G. E. Granados, D. V. Nydam, and J. J. Wakshlag. (2018). Effect of rumen-protected branched-chain amino acid supplementation on production- and energy-related metabolites during the first 35 days in milk in Holstein dairy cow. *J. Dairy Sci*.2018; 102:1–16
- Leal Yepes, S. Mann, T. R. Overton, E. Behling-Kelly, D. V. Nydam, and J. J. Wakshlag (2021). Hepatic effects of rumen-protected branched-chain amino acids with or without propylene glycol supplementation in dairy cows during early lactation. *J. Dairy Sci*. 2021;104:10324–10337
- Lee S-Y, Lee S-M, Cho Y-B, Kam D-K, Lee S-C, Kim C-H, *et al.* (2011). Glycerol as a feed supplement for ruminants: in vitro fermentation characteristics and methane production. *Anim Feed Sci Technol* 2011;166e167:269e74.
- Lien, T. F., L. B. Chang, Y. M. Hong, and C. P. Wu. (2010). Effects of propylene glycol on milk production, serum metabolites, and reproductive performance during the transition period of dairy cows. *Asian-australas. J. Anim. Sci*. 2010;23:372–378.
- Liu, C. Wang, W. Z. Yang, W. W. Zhang, X. M. Yang, D. C. He, K. H. Dong and Y. X. Huang (2009). Effects of feeding propylene glycol on dry matter intake, lactation performance, energy balance and blood metabolites in early lactation dairy cows. *Animal*, 3:10, pp 1420–1427
- Lomander H, Frøssling J, Ingvarsten KL, Gustafsson H, Svensson C. (2012). Supplemental feeding with glycerol or propylene glycol of dairy cows in early lactation effects on metabolic status, body condition, and milk yield. *J Dairy Sci* 2012;95(5):2397e408.
- Mann, S., A. Abuelo, D. V. Nydam, F. A. Leal Yepes, T. R. Overton, and J. J. Wakshlag. (2016). Insulin signaling and skeletal muscle atrophy and autophagy in transition dairy cows either overfed energy or fed a controlled energy diet prepartum. *J. Comp. Physiol. B* 186:513–525.
- mcart , D. v. nydam , p. a. Ospina ,and G. r. Oetzel (2011). A field trial on the effect of propylene glycol on milk yield and resolution of ketosis in fresh cows diagnosed with subclinical ketosis. *J. Dairy Sci*. 94 :6011–6020
- McArt, J.A.A.; Nydam, D.V.; Ospina, P.A.; Oetzel, G.R. (2011). A field trial on the effect of propylene glycol on milk yield and resolution of ketosis in fresh cows diagnosed with subclinical ketosis. *J. Dairy Sci*. 2011, 94, 6011–6020.
- Miyoshi, S., J. L. Pate, and D. L. Palmquist. (2001). Effects of propylene glycol drenching on energy balance, plasma glucose, plasma insulin, ovarian function and conception in dairy cows. *Anim. Reprod. Sci*. 68:29–43.
- Nielsen, K.L. Ingvarsten. (2004). Propylene glycol for dairy cows A review of the metabolism of propylene glycol and its effects on physiological parameters, feed intake, milk production and risk of ketosis. *Animal Feed Science and Technology* 115 191–213
- NRC .(2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle: 2001, National Academies Press.
- Omazic AW, Tråv_en M, Bertilsson J, Holtenius K.(2013). High- and low-purity glycerine

- supplementation to dairy cows in early lactation: effects on silage intake, milk production and metabolism. *Animal* ;7(09):1479e85.
- Osman, M. A., P. S. Allen, N. A. Mehvar, G. Bobe, J. F. Coetzee, K. J. Koehler, and D. C. Beitz. (2008). Acute metabolic responses of postpartal dairy cows to subcutaneous glucagon injections, oral glycerol, or both. *J. Dairy Sci.* 91:3311–3322.
- Østergaard, S.; Krogh, M.A.; Oliveira, V.H.S.; Larsen, T.; Otten, N.D. (2020). Only few benefits from propylene glycol drench in early lactation for cows identified as physiologically imbalanced based on milk spectra analyses. *J. Dairy Sci.* 2020, 103, 1831–1842.
- Overton, T. R., J. A. A. McArt, and D. V. Nydam. (2017). A 100- year review: Metabolic health indicators and management of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 100:10398–10417.
- Paiva PG, Del Valle TA, Jesus EF, Bettero VP, Almeida G, Bueno ICS, *et al.* (2016). Effects of crude glycerin on milk composition, nutrient digestibility and ruminal fermentation of dairy cows fed corn silage-based diets. *Anim Feed Sci Technol* 2016;212:136e42.
- Piantoni and M. S. Allen. (2015). Evaluation of propylene glycol and glycerol infusions as treatments for ketosis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98:5429–5439
- Rewatkar HN, Padole RM, Jagdale RA, Godbole PV, Jadhao AD and Kolaskar AG (2019). A complete review on propylene glycol for dairy cows. *International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry* 2019; 4(3): 09-16
- Saleem AM, Zanouny AI, Singar AM. (2018). Effect of glycerol supplementation during early lactation on milk yield, milk composition, nutrient digestibility and blood metabolites of dairy buffaloes. *Animal* 2018;12(4):757e63.
- Shin JH, Wang D, Kim SC, Adesogan AT, Staples CR. (2012). Effects of feeding crude glycerin on performance and ruminal kinetics of lactating Holstein cows fed corn silage or cottonseed hull-based, low-fiber diets. *J Dairy Sci* 2012;95(7):4006e16.
- Shingfield, S. Jaakkola, P. Huhtanen. (2002). Effect of forage conservation method, concentrate level and propylene glycol on diet digestibility, rumen fermentation, blood metabolite concentrations and nutrient utilisation of dairy cows. . [*Animal Feed Science and Technology*. 2002;Volume 97, Issues 1–2, 24 , Pages 1-21](#)
- Südekum K-H. (2008). Co-products from biodiesel production. In Recent advances in animal nutrition 2007. Nottingham, UK. Nottingham University Press. 2008; p. 201e19.
- Thoh D, Pakdeechanuan P, Chanjula P. (2017). Effect of supplementary glycerin on milk composition and heat stability in dairy goats. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2017;30(12):1711e7.
- Thompson, J. C., and B. B. He. (2006). Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks. *Appl. Eng. Agric.* 2006;22:261–265.
- Wang C, Liu Q, Huo WJ, Yang WZ, Dong KH, Huang YX, *et al.* (2009). Effects of glycerol on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *Livest Sci* 2009;121(1):15e20.