



The effect of feeding flaked or granulated fat supplement containing lecithin or bile powder on the production performance and source of milk fatty acids in Holstein dairy cows

Hamidreza Taghian¹ , Kamran Rezayazdi² , Mehdi Dehghan-Banadaky³ ,
Hamed Khalilvandi-Behroozyar⁴ 

1. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture , University of Tehran, Karaj, Iran. Email: hamidreza.taghian@ut.ac.ir
2. Corresponding author, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture , University of Tehran, Karaj, Iran. Email: rezayazdi@ut.ac.ir
3. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture , University of Tehran, Karaj, Iran. Email: dehghanb@ut.ac.ir
4. Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. Email: hamed.khalilvandi@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	This research aims to investigate the effect of a feeding fat supplement containing an additive (lecithin or bile powder) with the physical form of flake or granule on the apparent digestibility of nutrients and some blood parameters in Holstein dairy cows. 48 lactating cows were used during two experimental periods in a 2x3x2 completely randomized factorial design and randomly grouped into 6 experimental treatments: 1. Control diet + 2.5% granulated fat supplement, 2. Control diet + 2.5% granulated fat supplement containing 5% lecithin 3. Control diet + 2.5% granulated fat supplement containing 5% bile powder 4. Control diet + 2.5% Flaked fat supplement 5. Control diet + 2.5% Flaked fat supplement containing 5% lecithin and 6. Control diet + 2.5% Flaked fat supplement containing 5% bile powder. All the experimental diets were balanced according to the recommendations of the National Research Association. All data were analyzed by statistical software. The addition of lecithin or bile powder average milk production, ECM, 3.5% FCM, milk fat, protein, lactose, solids, solids nonfat, SCC, <i>denovo</i> fatty acids, mixed fatty acids, preformed fatty acids, saturated fatty acids, unsaturated fatty acids, mono unsaturated fatty acids, poly unsaturated fatty acids, stearic acid, palmitic acid and oleic acid ($P \geq 0.05$). The addition of emulsifiers to the fat supplement of the high-production dairy cow diet may have positive effects on the production performance, milk compositions and source of fatty acids.
Article history: Received: 24 February 2024 Received in revised form: 29 June 2024 Accepted: 3 July 2024 Published online: Spring 2025	
Keywords: <i>emulsifier,</i> <i>bile powder,</i> <i>lecithin,</i> <i>fat,</i> <i>dairy cow.</i>	

Cite this article: Taghian, H. R., Rezayazdi, K., Dehghan-Banadaky, M. & Khalilvandi-Behroozyar, H. (2025). The effect of feeding flaked or granulated fat supplement containing lecithin or bile powder on the production performance and source of milk fatty acids in Holstein dairy cows. *Iranian Journal of Animal Science*, 56 (1), 155-174. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2024.372940.654002>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2024.372940.654002>

Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Energy requirements in dairy cows have elevated as milk production increases, normally fat supplements are used to help meet these energy requirements. Therefore, the amount of fatty acids intake increases due to the consumption of fat supplements and the increase in dry matter intake. According to the nutritionist recommendations, feeding more than 3 % of fat based on the dry matter intake should be provided from by-pass sources (neutral fat supplements). Presumably, one of the potential strategies to improve production performance and milk composition in dairy cows is supplementing emulsifying agents to the diet, because the reason for the decline in production performance and milk composition, especially fat and protein, is the reduction in absorption of fatty acids due to the increase duodenal flow of fatty acids which decrease availability of lysolecithin and micelles formation. In this regard, the saturation of the absorption sites of fatty acids in the jejunum and the mechanisms of adaptation by cows to maintain the stability of fatty acids composition in milk

and tissues have also been reported. The most available source of these emulsifying compounds is soy lecithin, which is widely used in various industries. It is thought that the phospholipids fermentation in the rumen prevents their role as an emulsifier in the intestinal environment and subsequently cannot reveal positive effects on the production performance of the lactating dairy cow. Bile acids play an important role in the digestion and absorption of fats and fat-soluble vitamins and are the basis for improving metabolism and as a result increase the efficiency of the animal production, so this study investigated the effect of the physical form of the saturated fat supplement containing lecithin or bile powder on production performance, milk compounds and sources of fatty acids of the milk in high-producing Holstein cows.

Material and method

48 lactating Holstein cows (lactation: 130 ± 21 ; milk production: 38.4 ± 1 , weight: 590 ± 12) during two experimental periods (24 cows in each period) in a $2 \times 3 \times 2$ completely randomized factorial design used and were randomly grouped into 6 experimental treatments by using silver saturated fat supplement (Kimia Danesh Alvand[®], Qom, Iran): 1. Control diet + 2.5% granulated fat supplement, 2. Control diet + 2.5% granulated fat supplement containing 5% lecithin 3. Control diet + 2.5% granulated fat supplement containing 5% bile powder 4. Control diet + 2.5% Flaked fat supplement 5. Control diet + 2.5% Flaked fat supplement containing 5% lecithin and 6. Control diet + 2.5% Flaked fat supplement containing 5% bile powder. All the experimental diets were balanced to have the same amount of nitrogen and energy and met the nutrient requirements of the animals according to the recommendations of the National Research Association. To prepare the bile powder, the gallbladders were collected from the slaughtered and transferred to the laboratory, then homogenized and filtered through nylon filters, and then the bile powder was obtained by drying at 60°C for 24 hours. After the analysis of DM and nutrient content in the feed samples were measured Eventually, all test data were analyzed by using SAS statistical software and MIXED procedure. Milk production of each cow was recorded 3 time in 24 h in the last 7 days of both periods, and 50 mL milk sample was obtained. The samples were transferred to the refrigerator at 4°C , immediately after adding 0.1 g of potassium dichromate. To determination of protein, fat, lactose, solids, solids without fat, somatic cell count, urea nitrogen, Denovo fatty acids, mixed fatty acids, preformed fatty acids, saturated fatty acids, unsaturated fatty acids, mono unsaturated fatty acids, poly unsaturated fatty acid, palmitic acid, stearic acid, and oleic acid, samples were transferred to Alborz Milk Laboratory (Karaj, Alborz, Iran) and then analyzed with CombiScope device (FTIR 600 HP). The body weight and body condition score, were assigned weekly after milking in the morning and before feeding morning meal, and at the same time, the BCS was determined by two experts using standard index of 1 to 5.

Results and discussion

The addition of lecithin or bile powder enhanced average milk production, ECM, 3.5% FCM, milk fat, protein, lactose, solids, solids nonfat, SCC, *denovo* fatty acids, mixed fatty acids, preformed fatty acids, saturated fatty acids, unsaturated fatty acids, mono unsaturated fatty acids, poly unsaturated fatty acids, stearic acid, palmitic acid and oleic acid ($P \geq 0.05$). It seems influencing factors on production performance and milk composition in lactating dairy cows fed with emulsifying compounds, are: stage of lactation, amount and the type of fat supplement, the ratio between stearic, palmitic and oleic acids in the fat supplement, the amount and type of emulsifying compounds added to the fat supplement and protection method for emulsifying compounds against rumen fermentation in fat supplements.

Conclusion

Adding emulsifying compounds to fat supplements in the diet of dairy cows improved production performance and some milk compounds, although their physical form did not demonstrate positive or negative effects in this study. Therefore, the results of this research suggest that the limitation of the emulsifying capacity of the intestinal environment is probably one of the reasons for the decrease in the absorption of fatty acids with the increase in the flow of fatty acids to the intestine. As a result, supplementing emulsifying agents in such a way that they are released after the rumen, probably improves the dairy cow production responses in the early and middle of the lactation period. Generally, more research is needed regarding the supplementation of emulsifying compounds with fat supplements containing different proportions of palmitic and stearic acids.

Author Contributions

For research articles with several authors, a short paragraph specifying their individual contributions must be provided. The following statements should be used “Conceptualization, X.X. and Y.Y.; methodology, X.X.; software, X.X.; validation, X.X., Y.Y. and Z.Z.; formal analysis, X.X.; investigation, X.X.; resources, X.X.; data curation, X.X.; writing—original draft preparation, X.X.; writing—review and editing, X.X.; visualization, X.X.; supervision, X.X.; project administration, X.X.; funding acquisition, Y.Y. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.” Please turn to the [CRediT](#) taxonomy for the term explanation. Authorship must be limited to those who have contributed substantially to the work re-ported.

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

In this section, please provide details regarding where data supporting reported results can be found, including links to publicly archived datasets analyzed or generated during the study (see [examples](#)). Data available on request from the authors.

If the study did not report any data, you might add “Not applicable” here.

Acknowledgements

The *Acknowledgments* section should be a few sentences at the end, but it is important to recognize those people (organizations and individuals) who made considerable impact on the research, provided *significant* help to the author to formulate and complete the experiment, and improved the research at any stage (from providing access to equipment or field sites to editing the manuscript). However, this is an optional section.

In this section, you can acknowledge any support given which is not covered by the author contribution or funding sections. This may include administrative and technical support, or donations in kind (e.g., materials used for experiments).

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The study was approved by the Ethics Committee of the University of ABCD (Ethical code: IR.UT.RES.2024.500). The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

اثر تغذیه مکمل چربی پرک یا گرانول حاوی لسیتین یا پودر صفرا بر عملکرد تولیدی و منشأ اسیدهای چرب شیر در گاوهای شیرده هلستاین

حمیدرضا تقیان^۱ | کامران رضایزدی^۲ | مهدی دهقان بنادکی^۳ | حامد خلیلوندی بهروزیار^۴

۱. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: hamidreza.taghian@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: rezayazdi@ut.ac.ir

۳. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: dehghanb@ut.ac.ir

۴. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: hamed.khalilvandi@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف این پژوهش بررسی اثر تغذیه مکمل چربی حاوی افزودنی (لسیتین یا پودر صفرا) با شکل فیزیکی پرک یا گرانول بر عملکرد تولیدی و منشأ اسیدهای چرب در گاوهای شیرده هلستاین است. ۴۸ رأس گاو شیرده طی دو دوره آزمایشی در قالب طرح چند عاملی ۲×۳×۲ کاملاً تصادفی استفاده شد که به طور تصادفی در ۶ تیمار آزمایشی گروه بندی شدند: ۱. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی گرانول، ۲. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی گرانول حاوی ۵ درصد پودر صفرا، ۳. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی پرک، ۴. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی پرک، ۵. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی پرک حاوی ۵ درصد لسیتین و ۶. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی پرک حاوی ۵ درصد پودر صفرا. تمام جیره های آزمایشی طبق توصیه های انجمن ملی تحقیقات متعادل شدند. تمامی داده های آزمایش با استفاده از نرم افزار آماری واکاوی شدند. افزودنی های لسیتین یا پودر صفرا سبب بهبود میانگین تولید شیر، مقدار چربی، پروتئین، لاکتوز، شیر تصحیح شده بر اساس ۳/۵ درصد چربی، مقدار تولید اسیدهای چرب دنوو، مخلوط، پریفورم، اسیدهای چرب اشباع، اسیدهای چرب غیراشباع، اسیدهای چرب با یک پیوند دوگانه، اسیدهای چرب با چند پیوند دوگانه، اسید پالمیتیک، اسید استئاریک و اسید اولئیک شدند ($P \leq 0.05$). افزودن ترکیبات امولسیون کننده در مکمل های چربی جیره غذایی گاوهای شیرده بر تولید، احتمالاً اثرات مثبتی بر عملکرد تولیدی و ترکیبات شیر دارد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۳ تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۴	
کلیدواژه ها: امولسیون کننده، پودر صفرا، لسیتین، چربی، گاو شیری.	

استناد: تقیان، حمیدرضا؛ رضایزدی، کامران؛ دهقان بنادکی، مهدی و خلیلوندی بهروزیار، حامد (۱۴۰۴). اثر تغذیه مکمل چربی پرک یا گرانول حاوی لسیتین یا پودر صفرا بر عملکرد تولیدی و منشأ اسیدهای چرب شیر در گاوهای شیرده هلستاین. *نشریه علوم دامی ایران*، ۵۶ (۱)، ۱۷۴-۱۵۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2024.372940.654002>

ناشر: مؤسسه انشارات دانشگاه تهران.



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2024.372940.654002>

مقدمه

احتیاجات انرژی در گاوهای شیری امروزی با افزایش میزان تولید شیر افزایش پیدا کرده است، بنابراین مکمل‌های چربی اغلب به منظور کمک برای دستیابی به این احتیاجات انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند. طبق تحقیقات انجام شده گوارش پذیری اسیدهای چرب با افزایش مقدار جریان اسیدهای چرب به روده باریک، کاهش می‌یابد که همین امر ظرفیت جذب اسیدهای چرب را برای گاو محدود نموده و دستیابی به حداکثر تولید را محدود می‌کند (Boerman *et al.*, 2015). بنابراین درک عوامل تغذیه‌ای مرتبط با عملکرد تولیدی گاوهای شیرده و بهبود ترکیبات شیر از منظر علمی و اقتصادی برای صنعت گاو شیری جالب توجه می‌باشد.

ظاهراً یکی از استراتژی‌های بالقوه به منظور بهبود عملکرد تولیدی و ترکیبات شیر در حیوانات مکمل نمودن ترکیبات امولسیون کننده در جیره غذایی آن‌ها است، زیرا دلیل افت عملکرد تولیدی و ترکیبات تشکیل دهنده شیر به ویژه چربی و پروتئین، کاهش جذب اسیدهای چرب (به ویژه اسید استئاریک) در اثر افزایش جریان آن‌ها به دوازدهه را مرتبط با در دسترس بودن لیزولسیتین و تشکیل میسل دانسته‌اند (Doreau *et al.*, 2016; Zhao *et al.*, 2017; Daley *et al.*, 2020) در همین راستا، اشباع شدن نقاط جذبی اسیدهای چرب در ژئوزنوم (Freitas Jr *et al.*, 2018) و سازوکارهای عادت‌پذیری توسط گاو برای حفظ ثبات ترکیب اسیدهای چرب شیر و بافت‌ها نیز گزارش شده است (Loften *et al.*, 2014). توانایی لیپاز پانکراسی، کولیپاز و فسفولیپازها در هضم کارآمد تری‌گلیسریدها و فسفولیپیدهای جیره نشخوارکنندگان مستلزم وجود نمک‌های صفراوی و لیزولسیتین بوده تا خصوصیات امولسیفیکانگی و تشکیل میسل انجام شده و عملکرد تولیدی و ترکیبات تشکیل دهنده شیر را بهبود بخشد (McFadden, 2019).

تصور می‌شود که تخمیر فسفولیپیدها در شکمبه احتمالاً مانع از استفاده آن‌ها به عنوان امولسیون کننده محیط روده شود و متعاقباً نتواند اثرات مثبتی را بر عملکرد تولیدی حیوان نشان دهد، بنابراین بکارگیری فناوری‌هایی که لسیتین و لیزولسیتین را در برابر تخمیر شکمبه‌ای محافظت کنند ضروری می‌باشد (McFadden, 2019). اسیدهای صفراوی گروهی از استروئیدهای محلول در آب می‌باشند که در اثر کاتابولیسم کلسترول در سلول‌های کبدی سنتز می‌گردند، اسیدهای صفراوی اولیه عمدتاً با اسیدهای آمینه گلیاسین و یا تائورین مزدوج می‌شوند و نقش مهمی در هضم و جذب چربی‌ها و ویتامین‌های محلول در چربی بازی می‌کنند و زمینه ساز بهبود سوخت‌وساز و در نتیجه افزایش بازدهی بدن هستند (di Gregorio *et al.*, 2021; Macierzanka *et al.*, 2019). شکل فیزیکی و میانگین اندازه ذرات مکمل‌های چربی عبوری اشباع، عاملی مؤثر بر پاسخ‌های تولیدی در گاوهای شیری معرفی شده است (de Souza *et al.*, 2017; Eastridge & Firkins, 2000).

در حال حاضر پژوهشی که به ارزیابی اثرات افزودن مواد امولسیون کننده نظیر لسیتین یا پودر صفرا به مکمل‌های چربی عبوری اشباع با شکل فیزیکی و میانگین اندازه ذرات متفاوت بر عملکرد تولیدی، ترکیبات شیر و منشأ اسیدهای چرب شیر در گاوهای شیرده هلشتاین پرداخته باشد، اجرا نشده است. همچنین از دیگر ضرورت‌های این مطالعه دستیابی به راهکاری است که توسط آن بتوان بازدهی عملکرد تولیدی و ترکیبات تشکیل دهنده شیر را با تغذیه مکمل‌های چربی اشباعی که به دلایل اقتصادی سهم اسید استئاریک در آن‌ها از سایر اسیدهای چرب علی‌الخصوص اسید پالمیتیک بیشتر است را بهبود بخشید زیرا بر اساس نتایج مشاهده شده در سایر پژوهش‌ها، افزایش سهم اسید استئاریک در مکمل‌های چربی نسبت به مکمل‌های چربی حاوی اسید پالمیتیک بالا، با کاهش عملکرد تولیدی و ترکیبات تشکیل دهنده شیر مرتبط می‌باشد (Boerman *et al.*, 2015; Carraro *et al.*, 2019; Chamberlain & DePeters, 2017; Palmquist & Jenkins, 2017; Piantoni *et al.*, 2014; Rico *et al.*, 2013). بنابراین این مطالعه به بررسی اثر شکل فیزیکی مکمل چربی اشباع حاوی لسیتین یا پودر صفرا بر عملکرد تولیدی، ترکیبات شیر و منشأ اسیدهای چرب شیر در گاوهای پرتولید هلشتاین پرداخته است.

پیشینه پژوهش

تولید شیر بسته به نوع منبع چربی جیره، اجزای تشکیل دهنده جیره غذایی و مرحله شیردهی تحت تأثیر تغذیه مکمل‌های چربی عبوری قرار می‌گیرند (Lohrenz et al., 2010; Rabiee et al., 2012). اکثر مکمل‌های چربی حاوی اسیدهای چرب پالمیتیک، استئاریک و اولئیک هستند که از نظر قدمت، مکمل‌های چربی غنی از اسید استئاریک به‌شدت مورد استفاده قرار می‌گرفتند (de Beni Arrigoni et al., 2016). در پژوهشی که به بررسی اثر اندازه ذرات مکمل‌های چربی پرداخته شده بود، تغذیه نمودن تری‌گلیسریدهای پیه با درجه اشباعیت‌های مختلف و اندازه‌های متفاوت در گاوهای شیرده مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که ماده خشک مصرفی و بازده شیر در میان گاوهای تغذیه شده با منابع چربی اشباع با اندازه ذرات مختلف مشابه یکدیگر بودند اما پیه سنتز شده به‌صورت شیمیایی نیز سبب کاهش درصد ماده خشک مصرفی و درصد چربی شیر شد (Eastridge & Firkins, 2000). در مطالعه‌ای دیگر اندازه ذرات مکمل چربی هیچ اثری بر ماده خشک مصرفی، بازدهی شیر و ترکیبات شیر، یا بازدهی خوراک نداشت. هرچند، تیمار اسید پالمیتیک با اندازه ذرات درشت سبب افزایش چربی شیر در مقایسه با اسید پالمیتیک با اندازه ذرات ریز شد (de Souza et al., 2017). اثرات مکمل نمودن لسیتین بر عملکرد تولیدی در گاوهای تغذیه شده با اسید پالمیتیک مورد بررسی قرار گرفت که مکمل‌های چربی با لسیتین به مقدار صفر، ۰/۱۲، ۰/۲۴، یا ۰/۳۶ درصد ماده خشک پوشانده شدند. به‌طور کلی لسیتین سبب افزایش تولید انرژی تصحیح شده شیر به‌طور خطی شد و نسبت اسیدهای چرب ۱۶ کربنه شیر در حضور لسیتین به‌طور خطی کاهش یافت در حالی که مقدار اسیدهای چرب ۱۸ کربنه نیز به‌طور خطی افزایش یافتند (Rico et al., 2019). در پژوهشی دیگر مکمل‌سازی لیزوفسفولیپید تغییری در ماده خشک مصرفی ایجاد نکرد اما به‌طور خطی سبب افزایش تولید شیر، و متعاقباً افزایش بازده خوراک شد و همچنین تولید چربی و پروتئین شیر نیز در این تیمارها افزایش یافت. علاوه بر این، میزان ترشح نیتروژن به شیر به‌طور خطی افزایش یافت و دفع اداری نیتروژن با افزایش مقدار لیزوفسفولیپید جیره نیز کاهش پیدا کرد (Lee et al., 2019). پژوهشی با هدف تعیین اثرات تزریق شیردانی نوعی ماده امولسیون‌کننده بر پاسخ‌های تولیدی گاوهای شیرده هلشتاین انجام شد و سه سطح افزایشی از ماده امولسیون‌کننده توین ۸۰ (۱۵، ۳۰ و ۴۵ گرم در روز) به همراه مقدار دو درصد مکمل چربی حاوی ۳۳ درصد اسید پالمیتیک و ۶۶/۸ درصد اسید استئاریک به تغذیه دام‌ها رسید. افزایش دز تزریقی سبب تمایل به کاهش ماده خشک مصرفی به‌صورت درجه دوم گردید اما میزان چربی شیر، تولید چربی شیر، انرژی تصحیح شده شیر و غلظت پلاسمایی اسیدهای چرب غیراستریفه با افزایش دز تزریقی ماده امولسیون‌کننده به‌صورت درجه دوم افزایش یافت. بر اساس میزان تولید، افزایش تولید اسیدهای چرب دنوو (اسیدهای چرب کمتر از ۱۶ کربن)، مخلوط (اسیدهای چرب دارای ۱۶ کربن) و پریفورمد (اسیدهای چرب دارای بیش از ۱۶ کربن) در دز تزریقی ۳۰ گرم در روز مشاهده شد (de Souza et al., 2020). در مطالعه‌ای دیگر اثرات تغذیه‌ای مکمل نمودن چهار سطح مختلف (صفر، ۰/۱۲، ۰/۲۴ و ۰/۳۶ درصد) لسیتین روغن‌زدایی شده سویا بر تولید و ترکیبات شیر، پلاسمای خون و مقدار تولید اسیدهای چرب شیر در گاوهای شیرده هلشتاین تغذیه شده با سطوح مختلف چربی پالم مورد بررسی قرار گرفت. در تیمار تغذیه شده با چربی پالم ۹۹ درصد، افزودن لسیتین روغن‌زدایی شده سبب کاهش مقدار چربی شیر و تمایل به کاهش تولید چربی شیر شد. اما افزایش بازده انرژی شیر به‌صورت خطی در تیمارهای تغذیه شده با اسید پالمیتیک ۷۲ درصد افزایش یافت. مکمل نمودن لسیتین روغن‌زدایی شده میزان نیتروژن اوره‌ای شیر را نسبت به تیمارهای تغذیه نشده با لسیتین کاهش داد و همچنین لسیتین روغن‌زدایی شده سبب کاهش مقدار اسیدهای چرب دنوو و افزایش اسیدهای چرب پریفورمد شد (Fontoura et al., 2021). در پژوهشی اثر تغذیه اسیدهای چرب به همراه ۰/۴۵ درصد ماده خشک لیزوفسفولیپید به‌منظور بهبود بازده تولید گاوهای شیرده مورد بررسی قرار گرفت که افزودن لیزوفسفولیپیدها به مکمل چربی

1. Tween 80
2. Denovo
3. Preformed

اسید استتاریک سبب افزایش وزن زنده شد و همچنین تمایل به افزایش در اسیدهای چرب شیر با منشأ مخلوط (منشأ جیره و بافت بدن) نیز مشاهده شد (Porter, 2023). در سالیان اخیر به ویژه در کشور چین، اسیدهای صفراوی به عنوان افزودنی خوراکی جدید در تغذیه حیوانات مختلف مورد توجه قرار گرفته است (Gao et al., 2023) با این حال پژوهشی در رابطه با تغذیه پودر صفرا در گاوهای شیرده در دسترس نبود و از پژوهش‌های انجام شده در سایر حیوانات بهره‌برداری شد. اثر مکمل‌سازی پودر صفرا گاو بر عملکرد برخی از حیوانات تک‌معدده‌ای تغذیه شده با جیره‌های حاوی پیه مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان‌داد افزودن پودر صفرا سبب بهبود میانگین وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک در کل دوره پرورش می‌شود (Alzawqari et al., 2011). در پژوهشی دیگر برخی حیوانات تک‌معدده‌ای جیره‌ای بر پایه ذرت-سویا حاوی پیه با سطوح مختلفی از اسیدهای صفراوی (صفر، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم) دریافت نمودند که افزودن اسیدهای صفراوی به‌طور معنی‌داری سبب افزایش میانگین وزن روزانه و کاهش ضریب تبدیل خوراک بین روزهای ۲۱ تا ۴۲ شد (Lai et al., 2018). در پژوهشی دیگر حیوانات تک‌معدده‌ای با جیره‌ای بر پایه ذرت و کنجاله حاوی مقادیر ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اسید صفراوی تغذیه شدند که میانگین افزایش وزن روزانه، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و گلوکاتایون پراکسیداز در تیمارهای تغذیه شده با اسیدهای صفراوی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Cao et al., 2021).

روش‌شناسی پژوهش

حیوانات و تیمارهای آزمایشی

این آزمایش در گاوداری تحقیقاتی گروه علوم دامی دانشگاه تهران اجرا شد. در این آزمایش از ۴۸ رأس گاو شیرده هلشتاین (میانگین \pm انحراف استاندارد در ابتدای آزمایش؛ روزهای شیردهی: 21 ± 130 ؛ تولید شیر: $1 \pm 38/4$ ؛ وزن بدن: 12 ± 590) که از وضعیت سلامتی مناسبی برخوردار بودند طی دو دوره آزمایشی (هر دوره ۲۴ رأس) به صورت آزمایش چند عاملی $2 \times 3 \times 2$ در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. گاوهای مورد آزمایش بر اساس روزهای شیردهی و میانگین تولید شیر به‌طور تصادفی در ۶ تیمار آزمایشی و ۴ تکرار در هر دوره (جمعاً ۸ تکرار)، گروه‌بندی شدند: ۱. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی گرانول، ۲. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی گرانول حاوی ۵ درصد لسیتین، ۳. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی گرانول حاوی ۵ درصد پودر صفرا، ۴. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی پرک، ۵. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی پرک حاوی ۵ درصد لسیتین و ۶. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی پرک حاوی ۵ درصد پودر صفرا. جیره‌های آزمایشی و ترکیبات شیمیایی آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. تمام جیره‌های آزمایشی به نحوی متعادل شدند که ضمن یکسان بودن میزان نیتروژن و انرژی، احتیاجات مواد مغذی موردنیاز دام‌ها را طبق توصیه‌های انجمن ملی تحقیقات فراهم می‌نمودند (NRC, 2021). تمام جیره‌های غذایی به‌طور روزانه تهیه و به‌صورت کاملاً مخلوط شده و در حد اشتها (حداقل ۵ درصد پسماند) به نحوی به مصرف دام‌ها می‌رسید که دسترسی آزاد به آب نیز وجود داشت. در این آزمایش از پودر چربی اشباع پرشیافت سیلور (کیمیا دانش الوند، قم، ایران) حاوی ۹۳ درصد اسیدهای چرب اشباع (۵۸ درصد اسید استتاریک و ۳۵ درصد اسید پالمیتیک) و ۷ درصد اسیدهای چرب غیراشباع (۵ درصد اسید اولئیک و ۲ درصد اسید لینولئیک) به دو شکل فیزیکی پرک (۳/۲۵ میلی‌متر میانگین هندسی) و گرانول (۱/۴۰ میلی‌متر میانگین هندسی) استفاده شد. همچنین برای تهیه پودر صفرا، ابتدا کیسه صفرا از گاوهای کشتار شده در کشتارگاه دام سنگین استان قم جمع‌آوری و پس از انتقال به آزمایشگاه هموزنیزه و از طریق صافی‌های نایلونی درشت فیلتر شدند و سپس پودر صفرا از طریق خشک کردن نمونه‌ها در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت طبق روش مرجع به دست آمد (Alzawqari et al., 2011) (Song et al., 2011) به دنبال یافتن دستورالعملی برای توصیه مقدار قابل تغذیه نمک‌های صفراوی، در موش‌های آزمایشگاهی اقدام به تغذیه نمودن نمک‌های صفراوی در سطوح مختلف نمودند که طبق نتایج بدست آمده و براساس نسبت کبد به وزن بدن، فعالیت آنزیم کبدی آلانین آمینوترانسفراز و غلظت اسیدهای صفراوی، حداقل غلظت قابل تغذیه نمک‌های صفراوی حدود ۰/۱۴ درصد وزن بدن برآورد گردید که تغذیه بیش از

۱۰ برابر آن برای حیوان سمی است. بر اساس این یافته‌ها در این پژوهش مقدار ۵ درصد پودر صفرا به مکمل‌های چربی اضافه گردید تا اثرات امولسیون‌کنندگی آن بر قابلیت هضم مورد بررسی قرار گیرد. در پژوهشی مشاهده گردید که جایگزینی و تغذیه ۲۵ گرم در روز لسیتین با ۱۴ گرم کولین کلراید اثرات مشابهی بر عملکرد و فراسنجه‌های خون گاوهای شیرده داشته است، از این رو طبق محاسبات انجام شده مقدار لسیتین موجود در پودر چربی به نحوی تنظیم شد که حداقل لسیتین دریافتی برای تیمارهای آزمایشی کمتر از ۲۵ گرم در روز به ازای هر رأس نباشد (Nardi et al., 2012). بنابراین از لسیتین سویا (پیشگامان شیمی، گوانجی بیوتک، چین)، به‌عنوان دیگر افزودنی مورد استفاده در تهیه و تولید پودر چربی‌های گرانول و پرک استفاده شد. برای این منظور لسیتین و صفرا در آخرین مرحله تولید پودر چربی‌ها به محصول اضافه شد و سپس وارد برج گرانول یا سیستم فلیک (پرک) شدند.

جدول ۱. ترکیبات و مواد مغذی تشکیل‌دهنده جیره‌غذایی تیمارهای آزمایشی

شرح	اقلام، درصد ماده خشک
یونجه	۶/۴۳
سیلاژ ذرت	۳۸/۵۴
کاه گندم	۱/۶۳
آرد جو	۱۴/۷۴
آرد ذرت	۱۵/۰۰
سبوس گندم	۰/۹۵
تخم پنبه	۲/۶۳
کنجاله سویا	۱۳/۹۰
پودر چربی ^۱	۲/۵۰
مکمل ویتامین-معدنی ^۲	۰/۶۵
جوش شیرین	۰/۹۰
اکسید منیزیوم	۰/۳۰
نمک	۰/۳۰
کربنات کلسیم	۰/۴۵
دی کلسیم فسفات	۰/۱۶
زتولیت	۰/۷۶
توکسین‌بایندر ^۳	۰/۱۶
ترکیبات مواد مغذی، درصد ماده خشک	
پروتئین خام	۱۴/۴۰
چربی خام	۵/۷۷
خاکستر خام	۷/۱۱
الیاف نامحلول در شوینده خنثی	۳۰/۸۴
کربوهیدرات‌های غیر الیافی	۴۱/۸۸
اسیدهای چرب	۵/۶۴
اسیدهای چرب ۱۸ کربنه	۳/۴۲
اسیدهای چرب ۱۶ کربنه	۱/۴۶

۱. پرشیافت سلولر (کیمیا دانش‌الوند، قم، ایران) در دو شکل فیزیکی گرانول و پرک حاوی ۵ درصد پودر صفرا یا لسیتین

۲. مکمل ویتامین و مواد معدنی شامل ویتامین A، ویتامین D₃، ویتامین E، بیوتین و مواد معدنی فسفر، کلسیم، منیزیوم، گوگرد، سولفات آهن، سولفات مس، سولفات منگنز، سولفات روی، کربنات کبالت، ید، سدیم سلنیت، آنتی‌اکسیدان و مونسین.

۳. آلومینیوم سلیکاته، زرین بایندر (ویوان تک اکسیر ایرانیان، مشهد، ایران)

جمع آوری نمونه‌ها

پژوهش حاضر شامل دو دوره آزمایشی که هر کدام ۲۱ روز (۱۴ روز عادت دهی به جیره و ۷ روز نمونه برداری) به طول انجامید، بود. تمام دام‌ها در ابتدای آزمایش و دو روز پایانی (روز ۲۰ و ۲۱) در هر دوره وزن کشی شدند. نمونه‌گیری از علوفه‌ها جهت تعیین ماده خشک و تنظیم مقدار خوراک مصرفی به صورت هفتگی انجام شد. در این آزمایش گاوها سه مرتبه در هر شبانه‌روز (۸ صبح، ۱۶ عصر و ۲۴ بامداد) دوشیده می‌شدند. تولید شیر در هر وعده شیردوشی در ۷ روز پایانی هر دو دوره ثبت گردید و نمونه‌گیری (داخل ظروف پلاستیکی ۵۰ میلی‌لیتری) از شیر تمام دام‌ها انجام شد. نمونه‌های مربوط به هر گاو بلافاصله پس از اضافه نمودن ۰/۱ گرم دی‌کرومات پتاسیم به یخچال ۴ درجه سلسیوس منتقل می‌گردید و سپس جهت تعیین میزان پروتئین، چربی، لاکتوز، ماده خشک، ماده خشک بدون چربی، میزان سلول‌های بدنی، نیتروژن اوره‌ای، منشأ اسیدهای چرب دنوو، مخلوط، پریفورم، اسیدهای چرب اشباع، اسیدهای چرب غیراشباع، اسیدهای چرب با یک پیوند دوگانه، اسیدهای چرب با چند پیوند دوگانه، اسید پالمیتیک، اسید استئاریک و اسید اولئیک به آزمایشگاه شیر البرز (کرج، البرز، ایران) منتقل و سپس از طریق دستگاه کامپی اسکوب (FTIR 600 HP) تعیین شدند (Barbano *et al.*, 2014). مقدار تولید پروتئین، چربی و لاکتوز بر اساس میزان شیر تولیدی هر دام و درصد هریک از آن ترکیبات در شیر محاسبه شد. همچنین به منظور محاسبه شیر تصحیح شده براساس ۳/۵ درصد چربی، شیر تصحیح شده برای انرژی و نیز تخمین میزان انرژی شیر از روابط ذیل استفاده شد.

$$(\text{تولید چربی} \times ۱۶/۲۳) + (\text{تولید شیر} \times ۰/۴۳۲۲) = \text{شیر تصحیح شده براساس } ۳/۵ \text{ درصد چربی}$$

$$(\text{تولید شیر} \times ۰/۳۲۳) + (\text{تولید پروتئین} \times ۷/۱۳) + (\text{تولید چربی} \times ۱۲/۸۲) = \text{شیر تصحیح شده برای انرژی}$$

$$(\text{لاکتوز} \times ۰/۰۳۹۵) + (\text{پروتئین} \times ۰/۰۵۶۳) + (\text{چربی} \times ۰/۰۹۲۹) \times \text{تولید شیر} = \text{انرژی شیر (مگا کالری در روز)}$$

جهت تعیین وزن زنده و نمره وضعیت بدن، گاوها به‌طور هفتگی و پس از شیردوشی نوبت صبح و قبل از خوردن وعده غذایی وزن کشی شدند و هم‌زمان تعیین نمره وضعیت بدنی از طریق دو فرد متخصص و با استفاده از شاخص یک تا پنج (یک لاغر و پنج فربه) انجام شد (Roche *et al.*, 2013).

آنالیز نمونه‌ها

آنالیز شیمیایی نمونه‌های مربوط به جیره غذایی (پسماند خوراک و اجزای تشکیل دهنده جیره) از طریق آون در دمای ۵۵ درجه سلسیوس (به مدت ۷۲ ساعت) و آسیاب نمودن با توری به قطر ۱ میلی‌متر از طریق دستورالعمل‌های بین‌المللی برای ماده خشک، خاکستر خام (کوره الکتریکی) پروتئین خام (Kjeltec Auto Analyzer 1030 Tractor) و چربی خام (Soxtec System H.T Tector) انجام شد (AOAC, 2006). به منظور تعیین ایف نامحلول در شوینده خنثی از طریق روش استاندارد با استفاده از سدیم سولفات و آلفا آمیلاز پایدار در برابر حرارت (۱۰۰ میکرولیتر به ازای ۰/۵ گرم نمونه) توسط دستگاه آنکوم تک (اصفهان، ایران) انجام شد (Van Soest *et al.*, 1991). میزان کربوهیدرات‌های غیر ایافی (Non Fiber Carbohydrates) از رابطه ذیل محاسبه گردید (AOAC, 2006).

$$NFC = 100 - (NDF + CP + Ash + EE)$$

در رابطه فوق NDF، ایف نامحلول در شوینده خنثی؛ CP، پروتئین خام؛ Ash، خاکستر خام؛ EE، عصار اتری می‌باشد.

مدل آماری

این آزمایش به صورت چند عاملی ۲×۳×۲ در دو دوره و هر دوره با ۲۴ رأس دام در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. سپس تمامی داده‌های حاصل از کل آزمایش به روش آنالیز واریانس و با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) و رویه MIXED و با مدل آماری زیر آنالیز گردید.

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + F_j + P_l + (FP)_{jl} + (AP)_{il} + \text{Animal}(T)_k + e_{ijkl}$$

Y_{ijkl} = مقدار هر مشاهده، μ = میانگین کل متغیر مورد بررسی، A_i = اثر افزودنی، F_j = اثر شکل فیزیکی چربی، P_1 = اثر دوره‌ها، FP_{ji} = اثر خطای آزمایش، AP_{il} = اثر متقابل افزودنی و دوره‌ها، $Animal(T)_k$ = اثر ثابت حیوان در k ام تیمار، e_{ijkl} = اثر ثابت خطای آزمایشی. هنگامی که اثرات متقابل و اثرات دوره‌ها معنی‌دار نشدند، مقادیر مربوط به سطح معنی‌داری آن‌ها از جداول حذف گردید و به‌منظور مشخص شدن اثرات عامل‌ها از چهار مقایسه مستقل یا متعامد برای ارزیابی اثرات ۱. شکل فیزیکی گرانول در مقایسه با شکل فیزیکی پرک، ۲. عدم استفاده از افزودنی در مقایسه با استفاده از افزودنی لسیترین ۳. عدم استفاده از افزودنی در مقایسه با استفاده از افزودنی پودر صفر، ۴. استفاده از افزودنی لسیترین در مقایسه با استفاده از افزودنی پودر صفر استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها به روش حداقل میانگین مربعات و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام شد.

یافته‌های پژوهش

نتایج مربوط به عملکرد تولیدی و ترکیبات شیر در جدول ۲ ارائه شده است. نوع شکل فیزیکی مکمل چربی استفاده‌شده در این پژوهش تأثیری بر عملکرد تولیدی، تغییرات وزن بدن، ترکیبات شیر و منشأ اسیدهای چرب شیر نداشت ($P \geq 0/05$). افزودن لسیترین به مکمل‌های چربی سبب بهبود میانگین تولید شیر ($P = 0/027$)، انرژی تصحیح شده شیر ($P < 0/001$)، شیر تصحیح شده بر اساس ۳/۵ درصد چربی ($P = 0/001$)، مقدار و درصد چربی شیر ($P < 0/001$)، مقدار پروتئین شیر ($P = 0/007$)، مقدار لاکتوز ($P = 0/028$)، مقدار و درصد مواد جامد ($P = 0/002$) و ($P < 0/001$)، مقدار مواد جامد بدون چربی ($P = 0/016$)، انرژی خالص شیردهی ($P < 0/001$) و لگاریتم شمار سلول‌های بدنی ($P = 0/029$) شد. علاوه بر این مقادیر مربوط به اسیدهای چرب با منشأ دنوو ($P < 0/001$)، مخلوط ($P = 0/007$)، پریفورم ($P < 0/001$)، اسیدهای چرب اشباع ($P < 0/001$)، اسیدهای چرب غیراشباع ($P = 0/020$)، اسیدهای چرب با چند پیوند دوگانه ($P < 0/001$)، اسید پالمیتیک ($P = 0/034$) و اسید استئاریک ($P < 0/001$) نیز افزایش یافتند. افزودن پودر صفر به مکمل‌های چربی سبب افزایش درصد مواد جامد بدون چربی ($P = 0/010$)، لگاریتم شمار سلول‌های بدنی ($P = 0/005$)، میانگین تولید شیر، انرژی تصحیح شده شیر، شیر تصحیح شده بر اساس ۳/۵ درصد چربی، مقدار و درصد چربی، مقدار پروتئین، مقدار لاکتوز، مقدار و درصد مواد جامد، مقدار مواد جامد بدون چربی و انرژی خالص شیردهی شد ($P < 0/001$). علاوه بر این مقادیر مربوط به اسیدهای چرب با چند پیوند دوگانه

اسید اولئیک سیس ۹ ترانس ۱۱ ($P = 0/003$) و اسیدهای چرب با منشأ دنوو، مخلوط، پریفورم، اسیدهای چرب اشباع، اسیدهای چرب غیراشباع، اسیدهای چرب دارای یک پیوند دوگانه، اسید پالمیتیک و اسید استئاریک نیز به‌طور معنی‌داری ($P < 0/001$) افزایش یافتند.

بحث

اثر بر عملکرد تولیدی و ترکیبات شیر

عملکرد تولیدی در تیمارهای دریافت‌کننده پودر چربی گرانول و پرک فاقد افزودنی (لسیترین یا پودر صفر) در جدول ۲ ارائه شده است. در این پژوهش عملکرد تولید شیر، تغییرات وزن بدن، ترکیبات شیر و منشأ اسیدهای چرب شیر در دو شکل فیزیکی گرانول و پرک (بدون در نظر گرفتن افزودنی استفاده‌شده در آن‌ها) تغییری پیدا نکرد. همسو با نتایج این پژوهش، Souza et al (2017) مشاهده کردند که افزودن مکمل‌های چربی بر پایه اسید پالمیتیک به میزان دو درصد در جیره گاوهای شیرده هلستاین در سه اندازه متفاوت شامل ۲۸۴، ۳۲۴ و ۶۰۰ میکرومتر در میزان تولید شیر، شیر تصحیح شده بر اساس ۳/۵ درصد چربی، انرژی تصحیح شده شیر، چربی، پروتئین و لاکتوز و همچنین بازده خوراک مصرفی نشد. در پژوهشی دیگر که میزان پنج درصد انواع مکمل‌های چربی شامل: پیه پرک شده با عدد یدی پایین، پیه گرانول شده با عدد یدی پایین، پیه گرانول

با عدد یدی متوسط و پیه مخلوط با عدد یدی بالا در قالب تیمارهای آزمایشی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفتند که بر خلاف پژوهش حاضر، میزان تولید شیر در تیمار تغذیه شده با پیه گرانول با عدد یدی متوسط نسبت به تیمار شاهد و تیمار تغذیه شده با پیه مخلوط با عدد یدی بالا افزایش یافت که احتمالاً به دلیل افزایش مقدار انرژی خالص شیردهی دریافت شده بوده است. شایان ذکر است که همسو با نتایج به دست آمده در این پژوهش تفاوت معنی‌داری در میزان تولید شیر میان تیمارهای تغذیه شده با پیه پرک شده با عدد یدی پایین، پیه گرانول با عدد یدی متوسط، پیه مخلوط با عدد یدی بالا نیز مشاهده نشد. ترکیبات تشکیل دهنده شیر در این پژوهش مورد مقایسه قرار گرفتند که درصد چربی شیر میان تیمارهای مختلف مشابه بود و فقط در تیمار تغذیه شده با پنج درصد پیه مخلوط کاهش درصد چربی شیر به میزان $0/63$ واحد نسبت به تیمار شاهد گزارش گردید. درصد پروتئین شیر و بازده خوراک نیز میان تیمارهای مختلف با اندازه ذرات متفاوت نیز معنی‌دار نبود (Eastridge & Firkins, 2000). از آنجایی که میزان انرژی خالص شیردهی تحت تأثیر تغییر شکل فیزیکی منابع چربی قرار نگرفته است، احتمالاً به همین دلیل عملکرد تولیدی دام‌ها و همچنین ترکیبات تشکیل دهنده شیر نیز تفاوت معنی‌داری پیدا نکرده است. مطابق فرضیه این پژوهش، افزودن لسیتین به مکمل چربی سبب بهبود عملکرد تولیدی و برخی از ترکیبات شیر شد (جدول ۲). در پژوهشی تزریق شیردانی نوعی امولسیون‌کننده (Tween 80) در سه سطح مختلف (۱۵، ۳۰ و ۴۵ گرم در روز) در گاوهای اواسط شیردهی هلشتاین که با مکمل چربی به میزان $1/98$ درصد ماده خشک جیره (حاوی اسید پالمیتیک $32/8$ درصد، اسید استئاریک $51/5$ درصد، اسید اولئیک $5/80$ درصد، سایر $9/9$ درصد) تغذیه می‌شدند، تولید شیر تفاوت معنی‌داری میان تیمارهای مختلف نشان نداد اما همسو با نتایج حاضر میزان شیر تصحیح شده بر اساس $3/5$ درصد چربی، انرژی تصحیح شده شیر و چربی شیر در تیماری که دز دریافتی امولسیون‌کننده آن ۳۰ گرم در روز بود به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت اما بر میزان پروتئین و لاکتوز شیر تأثیر گذار نبود (de Souza et al., 2020). در پژوهشی دیگر افزودن لسیتین به جیره غذایی گاوهای شیرده هلشتاین که حاوی $1/3$ درصد ماده خشک پیه هیدرولیز شده بود نیز سبب افزایش تولید شیر، شیر تصحیح شده بر اساس چهار درصد چربی و انرژی تصحیح شده گردید. درصد چربی و پروتئین شیر در این پژوهش تمایل به افزایش داشت اما به‌صورت آماری معنی‌دار نبود ولی مقدار تولید چربی، پروتئین و لاکتوز شیر نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. لازم به ذکر است میزان نیتروژن اوره‌ای شیر نیز تحت تأثیر افزودن لسیتین در دو مقدار $0/05$ و $0/075$ درصد ماده خشک جیره قرار نگرفت (Lee et al., 2019). ناهمسو با نتایج پژوهش حاضر، افزودن $0/05$ درصد لسیتین سویا به جیره حاوی $1/8$ درصد پودر چربی در دو نوع مختلف (پودر چربی نوع یک: حاوی 82 درصد اسید پالمیتیک، 5 درصد اسید استئاریک، 10 درصد اسید اولئیک سیس، و 3 درصد سایر اسیدهای چرب، پودر چربی نوع دو: حاوی 28 درصد اسید پالمیتیک، 55 درصد اسید استئاریک، 7 درصد اسید اولئیک سیس و 10 درصد سایر اسیدهای چرب) تفاوت معنی‌داری در مقدار تولید شیر، انرژی تصحیح شده شیر، چربی، پروتئین، لاکتوز، شمار سلول‌های بدنی و نیتروژن اوره‌ای شیر ایجاد نکرد (Porter, 2023). در پژوهش Fontoura et al. (2021) که در آن دو نوع مکمل چربی حاوی مقادیر بالا (99 درصد) و متوسط (72 درصد) از اسید پالمیتیک با مقادیر متفاوتی از لسیتین روغن‌زدایی شده سویا (صفر، 30 ، 60 و 90 گرم در روز) در جیره گاوهای شیرده هلشتاین مکمل شده بود نیز مورد بررسی قرار گرفت که در این پژوهش مقادیر تولید شیر، انرژی تصحیح شده شیر، پروتئین، لاکتوز و شمار سلول‌های بدنی شیر تحت تأثیر افزودنی لسیتین قرار نگرفتند ولی افزودن لسیتین به جیره گاوهای تغذیه شده با پودر چربی حاوی 72 درصد اسید پالمیتیک سبب کاهش خطی نیتروژن اوره‌ای شیر شد. علاوه بر این، تغذیه لسیتین سبب بهبود بازده خوراک در گاوهای تغذیه شده با پودر چربی حاوی 72 درصد اسید پالمیتیک شد و همچنین شیر تصحیح شده بر اساس چربی نیز تمایل به افزایش یافت. در پژوهشی دیگر که مقدار 10 گرم در روز لیزوفسفولیپید (با منشأ سبوس برنج) به ازای هر رأس به همراه دو درصد منبع چربی عبوری در جیره غذایی گاوهای شیرده هلشتاین به مدت 10 روز استفاده گردید که برخلاف نتیجه پژوهش حاضر مشاهده شد تولید شیر تغییر معنی‌داری پیدا نکرد ولی غلظت چربی شیر در روز پنج آزمایش نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت اما تولید چربی و پروتئین شیر نیز متفاوت نبود (Rico et al., 2017). در مطالعه‌ای دیگر که بررسی

اثر چهار نوع مختلف لسیتین که به همراه نوعی مکمل چربی کلسیمی (حاوی اسید پالمیتیک ۴۵/۷، اسید اولئیک ۳۶ درصد، اسید استئاریک ۴/۷ درصد و سایر ۱۳/۶ درصد) به میزان سه درصد ماده خشک جیره به تغذیه گاوهای شیرده براون سوئیس که در اواسط دوره شیردهی بودند رسید که میزان تولید شیر میان تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری نداشت (Wettstein *et al.*, 2001). در غیرنشخوارکنندگان نیز لیزوفسفولیپیدها به‌طور وسیعی به‌عنوان افزودنی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند و پاسخ‌های تولیدی حیوانات مورد بررسی با یکدیگر کاملاً سازگار هستند (Polycarpo *et al.*, 2016; Zhao & Kim, 2017; Zhao *et al.*, 2015). این امر نشان می‌دهد که میزان عبور لیزوفسفولیپیدها از شکمبه برای دریافت پاسخ مثبت بر عملکرد تولیدی گاوهای شیرده ضروری است (Zhang *et al.*, 2022). در این پژوهش به‌نظر می‌رسد که احتمالاً تأثیر امولسیون‌کنندگی لسیتین بر گوارش‌پذیری مواد مغذی از طریق ارتقاء ظرفیت امولسیون‌کنندگی دستگاه گوارش سبب بهبود سوخت‌وساز انرژی در هموستازی پایه بدن شده و همین امر عملکرد تولیدی و ترکیبات تشکیل دهنده شیر را تحت تأثیر قرار داده است (Brautigam *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2019).

تأثیر استفاده از منابع چربی حاوی افزودنی پودر صفرای بر عملکرد تولیدی و برخی از ترکیبات شیر در گاوهای شیرده هلشتاین در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که افزودن پودر صفرای به مکمل‌های چربی سبب افزایش معنی‌دار در عملکرد تولید شیر، ترکیبات شیر و منشأ اسیدهای چرب می‌شود ($P \geq 0.05$). تنها یک پژوهش به بررسی تغذیه پودر صفرای یا نمک‌های صفرآوری بر تولید و ترکیبات شیر در گاوهای شیرده پرداخته است و پژوهش‌های بیشتری در دسترس نبود. لذا پژوهش‌هایی که در آن عملکرد رشد مورد بررسی قرار گرفته است، مورد بحث قرار می‌گیرد. همسو با نتایج پژوهش حاضر، در پژوهشی که در آن برخی از حیوانات تک‌معدده‌ای با ۰/۵ درصد پودر صفرای به‌عنوان مکمل تغذیه شده بودند، میزان عملکرد رشد و ضریب تبدیل غذایی بهبود یافت (Alzawqari *et al.*, 2011). به‌طور مشابه در پژوهش Cao *et al.* (2021) تغذیه ۶۰ الی ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از پودر صفرای سبب بهبود افزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل غذایی طی دوره پرورش ۴۲ روزه نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین در پژوهشی دیگر تغذیه کنودتوکسی‌کولیک‌اسید به مقدار ۶۰ میلی‌گرم در روز سبب بهبود عملکرد و بازده خوراک در حیوانات تک‌معدده‌ای قطع شیر شد (de Diego-Cabero *et al.*, 2015). در مطالعه‌ای دیگر تغذیه مقادیر ۱۵۰ الی ۴۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از اسیدهای صفرآوری در برخی از حیوانات تک‌معدده‌ای که با جیره حاوی ۱۰ درصد روغن ماهی و چهار درصد روغن سویا تغذیه می‌شدند، سبب بهبود عملکرد رشد، ضریب تبدیل غذایی و بازده استفاده از پروتئین شد (Ding *et al.*, 2020). عملکرد رشد و ضریب تبدیل غذایی در برخی از حیوانات تک‌معدده‌ای با افزودن ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از اسیدهای صفرآوری به جیره‌های حاوی ۱/۵ الی ۳ درصد لارد بهبود یافت که دلیل آن بهبود متابولیسم لیپیدها گزارش شد (Lai *et al.*, 2018). همسو با نتایج پژوهش حاضر، استفاده از اسیدهای صفرآوری به مقدار ۰/۳ درصد در جیره برخی از حیوانات تک‌معدده‌ای که حاوی دو درصد روغن سویا و دو درصد روغن ماهی بود، پس از ۱۰ هفته سبب بهبود عملکرد رشد و ضریب تبدیل غذایی گردید که علت آن را بهبود متابولیسم انرژی به‌ویژه هضم و جذب اسیدهای چرب عنوان نمودند. برخلاف نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نیز تغذیه نمودن ۰/۵ درصد از عصاره پودر صفرای به برخی از حیوانات تک‌معدده‌ای در حال رشد، هیچ تأثیری بر عملکرد رشد نداشت هرچند که ضریب تبدیل غذایی از نظر عددی در این حیوانات کاهش یافت اما از نظر آماری نیز معنی‌دار نبود (Zhou *et al.*, 2023). همسو با نتیجه پژوهش حاضر، اخیراً در آزمایشی که در آن مقدار ۱۸ گرم در روز پودر صفرای خوک به جیره غذایی گاوهای اواسط شیردهی اضافه گردید عملکرد دام‌ها به سبب افزایش غلظت هورمون عامل رشد شبه انسولینی (IGF1) بهبود یافت و میزان پروتئین شیر نیز افزایش پیدا کرد، اما برخلاف نتیجه پژوهش، محققین مذکور تأثیر معنی‌داری بر سایر ترکیبات شیر نگرداند (Chen *et al.*, 2024). توضیح علت تفاوت در نتایج به‌دست آمده در مطالعه Chen *et al.* (2024) با پژوهش حاضر کمی دشوار است اما به نظر می‌رسد نحوه افزودن پودر صفرای به جیره‌های پایه (به‌صورت محافظت شده با پودر چربی در مقایسه با تغذیه به صورت محافظت نشده)، مقدار تغذیه پودر صفرای (حداقل حدود ۳۰ گرم در

روز در مقابل ۱۸ گرم در روز)، مقدار مکمل چربی موجود در جیره‌های پایه (۲/۵ درصد ماده خشک در مقایسه با ۰/۶۶ درصد ماده خشک) و مرحله شیردهی دام‌ها از عوامل اصلی ایجاد کننده تفاوت میان این دو پژوهش می‌باشد. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، به نظر می‌رسد احتمالاً بهبود گوارش پذیری لیپیدها و در نتیجه اثر بر سوخت‌وساز انرژی در گاوهای تغذیه شده با مکمل‌های چربی حاوی پودر صفرا سبب بهبود عملکرد تولیدی و اثر بر ترکیبات شیر و منشأ اسیدهای چرب شیر شده باشد. تعداد سلول‌های بدنی شیر به عنوان نشانه‌ای از وضعیت سلامت پستان در نظر گرفته می‌شود که معمولاً از لوکوسایت‌ها تشکیل شده است (Vargas-Bello-Pérez *et al.*, 2020). با توجه به کاهش تعداد سلول‌های بدنی شیر در تیمارهای تغذیه شده با پودر چربی حاوی پودر صفرا، به نظر می‌رسد احتمالاً ایجاد اثرات ضد التهابی سبب تأثیر بر بهبود سیستم ایمنی بدن شده که همین امر کاهش تعداد سلول‌های بدنی شیر را در پی داشته است (Bonacina *et al.*, 2021).

جدول ۲. اثر چربی گرانول یا پرک حاوی لسیتین یا پودر صفرا بر عملکرد تولیدی و ترکیبات شیر

متغیر	تیمارهای آزمایشی ^۱			SEM ^۲	P.value ^۱		
	گرانول بدون افزودنی	گرانول دارای لسیتین	گرانول پودر صفرا		مقایسه متعامد	بدون افزودنی	بدون افزودنی با پودر صفرا
عملکرد شیر، کیلوگرم در روز	۳۸/۲۴ ^a	۴۰/۱۲ ^{ab}	۴۱/۶۷ ^b	۰/۳۲	۰/۸۹۹	۰/۰۲۷	< ۰/۰۰۱
تولید شیر	۲۳/۸۸	۲۳/۸۱	۲۳/۸۰	۱/۲۳	-۰/۲۲۲	۰/۹۰۲	۰/۶۹۴
ماده خشک مصرفی	۳۹/۹۸ ^a	۴۳/۷۹ ^b	۴۵/۹۶ ^b	۰/۳۸	۰/۸۵۲	< ۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱
شیر تصحیح شده برای انرژی ^۳	۱/۷۲ ^a	۱/۹۰ ^b	۱/۹۶ ^b	۰/۱۱	-۰/۷۸۷	۰/۰۷۸	۰/۰۱۴
انرژی تصحیح شده شیر/ماده خشک مصرفی	۴۰/۲۹ ^a	۴۴/۴۱ ^b	۴۶/۶۶ ^b	۱/۱۴	-۰/۸۶۲	۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱
شیر تصحیح شده بر اساس ۳/۵ درصد چربی ^۴	۱/۴۵ ^a	۱/۶۷ ^b	۱/۷۷ ^b	۰/۰۵	-۰/۸۴۸	< ۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱
چربی	۱/۱۸ ^a	۱/۲۶ ^b	۱/۳۱ ^c	۰/۰۱	-۰/۸۲۵	۰/۰۰۷	< ۰/۰۰۱
پروتئین	۱/۷۵ ^a	۱/۸۴ ^{ab}	۱/۹۴ ^b	۰/۰۲	-۰/۹۵۷	۰/۰۲۸	< ۰/۰۰۱
لاکتوز	۴/۷۸ ^a	۵/۱۷ ^b	۵/۴۳ ^b	۰/۱۳	-۰/۷۸۵	۰/۰۰۲	< ۰/۰۰۱
مواد جامد	۳/۳۳ ^a	۳/۵۰ ^{ab}	۳/۶۷ ^b	۰/۰۸	-۰/۹۴۲	۰/۰۱۶	< ۰/۰۰۱
مواد جامد بدون چربی	۳/۸۳ ^a	۴/۱۶ ^b	۴/۲۴ ^b	۰/۰۲	-۰/۸۲۶	< ۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱
چربی	۳/۰۹	۳/۱۴	۳/۱۵	۰/۰۱	-۰/۸۲۷	۰/۱۰۵	۰/۱۲۳
پروتئین	۴/۵۷	۴/۵۸	۴/۶۵	۰/۰۱	-۰/۴۴۵	۰/۳۷۲	۰/۰۶۰
لاکتوز	۱۲/۴۹ ^a	۱۲/۸۸ ^b	۱۳/۰۴ ^b	۰/۰۷	-۰/۹۳۵	< ۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱
مواد جامد	۸/۶۶	۸/۷۳	۸/۸۰	۰/۰۴	-۰/۶۸۵	۰/۰۵۷	۰/۰۱۰
مواد جامد بدون چربی	۱۴/۵۴	۱۴/۲۳	۱۴/۴۱	۰/۳۶	-۰/۵۰۴	۰/۳۲۶	۰/۵۳۷
نیترژن آورده‌ای شیر، mg/dL	۰/۷۱ ^a	۰/۷۴ ^b	۰/۷۶ ^b	۰/۰۱	-۰/۹۲۴	< ۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱
انرژی خالص شیردهی، Mcal/kg	۲۷/۱۸ ^a	۲۹/۸۵ ^b	۳۱/۴۴ ^b	۰/۱۰	-۰/۸۸۲	< ۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱
انرژی خالص شیردهی، Mcal/d ^۵	۱/۶۴	۱/۷۵	۱/۷۷	۰/۱۰	-۰/۷۹۰	۰/۲۴۸	۰/۰۹۳
کیلوگرم شیر/ماده خشک مصرفی، kg/kg	۲/۷۴ ^b	۲/۴۴ ^{ab}	۲/۳۴ ^a	۰/۱۱	-۰/۵۱۹	۰/۰۲۹	۰/۰۰۵
لگاریتم شمار سلول‌های بدنی	۶۱۰/۶۳	۶۰۹/۸۸	۵۸۰/۶۳	۲۹/۳۵	-۰/۸۸۳	۰/۳۰۲	۰/۳۵۳
وزن بدن، کیلوگرم	۰/۲۳	-۰/۲۰	-۰/۴۹	۰/۷۵	-۰/۴۸۲	۰/۷۱۸	۰/۹۶۹
تغییرات وزن بدن، کیلوگرم	۳/۶۰	۳/۴۳	۳/۵۵	۰/۱۴	-۰/۷۸۳	۰/۸۷۰	۰/۷۷۱
نمره وضعیت بدن ^۶							

۱. ضریب احتمال معنی‌داری در سطح خطای (P ≤ ۰/۰۵)

۲. خطای میانگین استاندارد.

۳. انرژی تصحیح شده شیر (کیلوگرم در روز): (۰/۳۲۷ × کیلوگرم شیر) + (۱۲/۹۵ × کیلوگرم چربی شیر) + (۷/۲۰ × کیلوگرم پروتئین شیر).

۴. شیر تصحیح شده بر اساس ۳/۵ درصد چربی: (۰/۴۳۲۴ × کیلوگرم شیر) + (۱۶/۲۱۶ × کیلوگرم چربی شیر)

۵. انرژی خالص شیردهی (مگا کالری در روز): کیلوگرم شیر × (۰/۰۹۲۹ × درصد چربی + ۰/۰۵۶۳ × درصد پروتئین + ۰/۰۳۹۵ × درصد لاکتوز)

۶. نمره وضعیت بدن با دقت ۰/۲۵ و نمره ۱ تا ۵ تعیین شده است.

جدول ۳. میانگین صفات اندازه گیری شده برای اثرات دوره، نوع شکل فیزیکی و نوع افزودنی استفاده شده برای عملکرد تولیدی و ترکیبات شیر

P.value ¹			میانگین صفات اندازه گیری شده							دوره دوم	دوره اول	متغیر
نوع افزودنی	شکل فیزیکی	دوره	SEM ²	دارای افزودنی پودر صغرا	دارای افزودنی لسیتین	بدون افزودنی	شکل فیزیکی پرک	شکل فیزیکی گرانول				
عملکرد شیر، کیلوگرم در روز												
۰/۰۰۷	۰/۹۰۷	۰/۷۶۱	۰/۷۰	۴۱/۴۸	۴۰/۲۵	۳۸/۱۶	۳۹/۹۲	۴۰/۰۱	۴۰/۰۹	۳۹/۸۴	تولید شیر	
۰/۹۲۶	۰/۹۴۷	۰/۲۲۲	۰/۸۹	۲۳/۵۹	۲۳/۹۲	۲۴/۰۸	۲۳/۹۰	۲۳/۸۳	۲۳/۲۲	۲۴/۵۰	ماده خشک مصرفی	
< ۰/۰۰۱	۰/۸۶۳	۰/۸۲۶	۰/۸۳	۴۵/۷۶	۴۳/۸۵	۳۹/۸۸	۴۳/۰۸	۴۳/۲۴	۴۳/۲۷	۴۳/۰۶	شیر تصحیح شده برای انرژی ^۳	
۰/۰۵۲	۰/۷۹۷	۰/۴۹۴	۰/۰۸	۱/۹۷	۱/۸۸	۱/۶۸	۱/۸۳	۱/۸۶	۱/۸۸	۱/۸۱	انرژی تصحیح شده شیر/ماده خشک مصرفی	
< ۰/۰۰۱	۰/۸۷۲	۰/۸۱۲	۰/۸۷	۴۶/۵۰	۴۴/۴۳	۴۰/۱۹	۴۳/۶۲	۴۳/۷۹	۴۳/۸۳	۴۳/۵۶	شیر تصحیح شده براساس ۳/۵ درصد چربی ^۴	
< ۰/۰۰۱	۰/۸۶۰	۰/۸۴۴	۱/۱۵	۱/۷۶	۱/۶۷	۱/۴۶	۱/۶۳	۱/۶۳	۱/۶۳	۱/۶۳	چربی	
۰/۰۰۲	۰/۸۴۰	۰/۹۱۲	۰/۰۲	۱/۳۰	۱/۲۶	۱/۱۸	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	پروتئین	
۰/۰۰۵	۰/۹۶۱	۰/۶۹۴	۰/۰۴	۱/۹۲	۱/۸۵	۱/۷۵	۱/۸۴	۱/۸۴	۱/۸۵	۱/۸۳	لاکتوز	
< ۰/۰۰۱	۰/۹۱۸	۰/۷۸۵	۰/۱۰	۵/۴۰	۵/۱۹	۴/۷۷	۵/۱۲	۵/۱۳	۵/۱۴	۵/۱۱	مواد جامد	
۰/۰۰۳	۰/۹۴۶	۰/۷۶۱	۰/۰۶	۳/۶۴	۳/۵۲	۳/۳۱	۳/۴۹	۳/۴۹	۳/۵۰	۳/۴۸	مواد جامد بدون چربی	
ترکیبات شیر، درصد												
< ۰/۰۰۱	۰/۸۳۸	۰/۹۵۰	۰/۰۴	۴/۲۵	۴/۱۴	۳/۸۲	۴/۰۶	۴/۰۷	۴/۰۷	۴/۰۷	چربی	
۰/۲۳۷	۰/۸۴۱	۰/۷۴۴	۰/۰۲	۳/۱۴	۳/۱۴	۳/۰۹	۳/۱۲	۳/۱۳	۳/۱۲	۳/۱۳	پروتئین	
۰/۱۹۴	۰/۴۶۴	۰/۵۲۶	۰/۰۲	۴/۶۴	۴/۶۱	۴/۵۸	۴/۶۲	۴/۶۰	۴/۶۱	۴/۶۰	لاکتوز	
< ۰/۰۰۱	۰/۹۴۰	۰/۹۷۳	۰/۰۵	۱۳/۰۳	۱۲/۸۹	۱۲/۵۰	۱۲/۸۱	۱۲/۸۰	۱۲/۸۱	۱۲/۸۱	مواد جامد	
۰/۰۴۱	۰/۷۰۲	۰/۸۸۶	۰/۰۳	۸/۷۸	۸/۷۵	۸/۶۸	۸/۷۴	۸/۷۳	۸/۷۴	۸/۷۳	مواد جامد بدون چربی	
سایر												
۰/۶۶۱	۰/۵۳۶	۰/۹۷۰	۰/۰۸	۱۴/۳۹	۱۴/۳۵	۱۴/۴۵	۱۴/۳۷	۱۴/۴۳	۱۴/۴۰	۱۴/۴۰	نیترژن اورهای شیر، mg/dL	
< ۰/۰۰۱	۰/۹۳۱	۰/۹۳۱	۰/۰۰۴	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۷۱	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۷۴	انرژی خالص شیردهی، Mcal/kg	
< ۰/۰۰۱	۰/۸۹۰	۰/۸۰۴	۰/۵۸	۳۱/۳۰	۲۹/۹۳	۲۷/۱۱	۲۹/۴۰	۲۹/۴۹	۲۹/۵۳	۲۹/۳۶	انرژی خالص شیردهی، Mcal/d ^۵	
۰/۲۵۷	۰/۸۰۳	۰/۴۵۶	۰/۰۷	۱/۷۸	۱/۷۳	۱/۶۱	۱/۷۰	۱/۷۲	۱/۷۴	۱/۶۸	کیلوگرم شیر/ماده خشک مصرفی، kg/kg	
۰/۰۱۰	۰/۵۰۴	۰/۷۲۴	۰/۰۸	۲/۳۴	۲/۴۲	۲/۶۷	۲/۴۵	۲/۵۱	۲/۴۶	۲/۴۹	لگاریتم شمار سلول های بدنی	
۰/۵۳۸	۰/۸۸۶	۰/۵۲۶	۲۱/۲۶	۵۹۴/۰۰	۵۹۰/۸۸	۶۲۱/۵۶	۶۰۳/۹۲	۶۰۰/۳۸	۶۱۰/۰۰	۵۹۴/۲۹	وزن بدن، کیلوگرم	
۰/۹۲۶	۰/۴۸۹	۰/۹۱۵	۰/۵۴	۰/۴۶۴	۰/۲۲۰	۰/۴۹۴	۰/۶۱۱	۰/۱۸۰	۰/۳۶	۰/۴۳	تغییرات وزن بدن، کیلوگرم	
۰/۹۰۸	۰/۷۹۶	۰/۵۳۵	۰/۱۰	۳/۵۷	۳/۵۱	۳/۵۳	۳/۵۶	۳/۵۲	۳/۵۰	۳/۵۸	نمره وضعیت بدن ^۶	

۱. ضریب احتمال معنی داری در سطح خطای (P ≤ ۰/۰۵)

۲. خطای میانگین استاندارد.

۳. انرژی تصحیح شده شیر (کیلوگرم در روز): (۰/۳۲۷ × کیلوگرم شیر) + (۱۲/۹۵ × کیلوگرم چربی شیر) + (۷/۲۰ × کیلوگرم پروتئین شیر).

۴. شیر تصحیح شده بر اساس ۳/۵ درصد چربی: (۰/۴۳۲۴ × کیلوگرم شیر) + (۱۶/۲۱۶ × کیلوگرم چربی شیر)

۵. انرژی خالص شیردهی (مگا کالری در روز): کیلوگرم شیر × (۰/۹۲۹ × درصد چربی + ۰/۰۵۶۳ × درصد پروتئین + ۰/۰۳۹۵ × درصد لاکتوز)

۶. نمره وضعیت بدن با دقت ۰/۲۵ و نمره ۱ تا ۵ تعیین شده است.

اثر بر منشأ اسیدهای چرب شیر

با توجه به عدم تأثیر گذاری شکل فیزیکی مکمل‌های چربی بر مقدار و درصد چربی شیر، تأثیر معنی‌داری بر منشأ اسیدهای چرب شیر با تغییر شکل فیزیکی مشاهده نشد (جدول ۴). در رابطه با بررسی اثر شکل فیزیکی مکمل‌های چربی بر منشأ اسیدهای چرب مطالعات زیادی در دسترس نبود. اما همسو با نتایج این پژوهش، افزودن مکمل‌های چربی بر پایه اسید پالمیتیک به میزان دو درصد در جیره گاوهای شیرده هلشتاین در سه اندازه متفاوت شامل ۲۸۴، ۳۲۴ و ۶۰۰ میکرومتر هیچ تأثیری بر منشأ اسیدهای چرب شیر نداشت هرچند که مقدار اسیدهای چرب مخلوط در گاوهای تغذیه شده با مکمل چربی نسبت به تیمار فاقد مکمل چربی بهبود یافت. به نظر می‌رسد رابطه مستقیمی میان تغییرات مقدار چربی شیر با منشأ اسیدهای چرب وجود دارد، بنابراین از آنجایی که مقدار و درصد چربی شیر در تیمارهای تغذیه شده با مکمل‌های چربی با شکل فیزیکی مختلف دچار تغییرات نشد، احتمالاً همین امر عامل عدم اثر گذاری بر منشأ اسیدهای چرب شیر در این تیمارها شده است.

اثر افزودن لسیتین یا پودر صفرا بر منشأ اسیدهای چرب، مقدار اسید استتاریک، اسید پالمیتیک و اسید اولئیک در جدول شماره ۴ ارائه شده است. همسو با نتایج پژوهش حاضر، میزان اسیدهای چرب دنوو، مخلوط و پریفورمد شیر در تیماری که مقدار ۳۰ گرم در روز ترکیب امولسیون‌کننده به جیره آن اضافه شده بود افزایش یافت. علاوه بر این میزان اسیدهای چرب اسید کاپروئیک (C6)، اسید کاپریلیک (C8)، اسید لوریک (C12)، اسید میریستیک (C14)، اسید پالمیتیک (C16)، اسید پالمیتولئیک (C16:1) و اسید لینولئیک مزدوج سیس ۹ ترانس ۱۱ (C18:2) در تیمارهایی که مقدار ۳۰ گرم در روز امولسیون‌کننده دریافت کرده بودند افزایش یافت (de Souza *et al.*, 2020). در پژوهشی دیگر افزودن لسیتین سویا به جیره‌های حاوی روغن سویا در گاوهای شیرده هلشتاین سبب افزایش میزان اسید لینولئیک در شیر شد (Abel-Caines *et al.*, 1998). برخلاف نتایج به دست آمده در این پژوهش، افزودن ۰/۰۵ درصد لسیتین سویا به جیره حاوی ۱/۸ درصد پودر چربی در دو نوع مختلف (پودر چربی نوع یک: حاوی ۸۲ درصد اسید پالمیتیک، ۵ درصد اسید استتاریک، ۱۰ درصد اسید اولئیک سیس، و ۳ درصد سایر اسیدهای چرب، پودر چربی نوع دو: حاوی ۲۸ درصد اسید پالمیتیک، ۵۵ درصد اسید استتاریک، ۷ درصد اسید اولئیک و ۱۰ درصد سایر اسیدهای چرب) مقادیر انواع اسیدهای چرب دنوو، مخلوط و پریفورمد شیر نیز میان تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری پیدا نکرد اما سبب کاهش غلظت اسیدهای چرب تری‌دسایکلیک (C13:0)، پنتادکانوئیک (C15:0) و مارگاریک (C17:0) در شیر شد (Porter, 2023). در پژوهشی دیگر افزودن ۱۰ گرم در روز لیزولسیتین به عنوان ترکیبی امولسیون‌کننده به جیره غذایی گاوهای شیرده هلشتاین تأثیری بر منشأ اسیدهای چرب شیر نداشت (Rico *et al.*, 2017). همچنین در پژوهشی دیگر افزودن ۰/۱۲، ۰/۲۴ و ۰/۳۶ درصد لسیتین به مکمل‌های چربی بر پایه اسید پالمیتیک همسو با نتایج حاضر مقادیر اسید استتاریک اسید مارگاریک (C17:0) و اسید اولئیک ترانس-۱۱، اسید لینولئیک ترانس-۱۰ سیس-۱۲ شیر را افزایش داد اما نا همسو با نتایج این پژوهش مقادیر اسید پالمیتولئیک ترانس-۹ (C16:1) و اسید اولئیک سیس-۹ نیز به طور خطی با افزایش دز مصرفی لسیتین کاهش یافت. علاوه بر این بر خلاف پژوهش حاضر نیز مقادیر اسیدهای چرب دنوو به صورت خطی با افزایش دز مصرفی لسیتین کاهش یافت و همچنین تأثیر معنی‌داری بر اسیدهای چرب ۱۶ کربنه شیر نیز گزارش نکردند (Fontoura *et al.*, 2021). در مطالعه‌ای دیگر که بررسی اثر چهار نوع مختلف لسیتین که به همراه نوعی مکمل چربی کلسیمی (حاوی اسید پالمیتیک ۴۵/۷، اسید اولئیک ۳۶ درصد، اسید استتاریک ۴/۷ درصد و سایر ۱۳/۶ درصد) به میزان سه درصد ماده خشک جیره به تغذیه گاوهای شیرده براون سوئیس که در اواسط دوره شیردهی بودند رسید که میزان اسید لینولئیک مزدوج در تیمارهای تغذیه شده با لسیتین نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت در حالی که سایر اسیدهای چرب شیر تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد پیدا نکرد که این عدم تأثیر گذاری را به پایین بودن مقدار لسیتین افزوده شده و مقدار لسیتین محافظت شده از تخمیر شکمبه‌ای نسبت دادند (Wettstein *et al.*, 2001).

توضیح علت تفاوت در نتیجه پژوهش حاضر با پژوهش‌هایی که نتایجی ناهمسو گزارش کرده‌اند دشوار است. با این حال، این تفاوت‌ها احتمالاً به دلیل نوع منبع ترکیب امولسیون‌کننده، دز مصرفی و نحوه محافظت آن در برابر تخمیر شکمبه‌ای می‌باشد.

به‌طور کلی با در نظر گرفتن شرایط آزمایش‌های فوق‌الذکر و نتایج حاصل از آن‌ها، به‌نظر می‌رسد از عوامل مهم و تأثیرگذار بر عملکرد تولیدی و ترکیبات شیر در گاوهای شیرده تغذیه شده با ترکیبات امولسیون‌کننده، می‌توان به مواردی نظیر ۱. مرحله شیردهی، ۲. مقدار و نوع مکمل چربی دریافتی، ۳. نسبت بین اسید استتاریک، اسید پالمیتیک و اسید اولئیک در مکمل چربی، ۴. مقدار و نوع ترکیبات امولسیون‌کننده استفاده‌شده در مکمل چربی و ۵. نحوه محافظت از ترکیبات امولسیون‌کننده در برابر تخمیر شکمبه در مکمل‌های چربی اشاره نمود. زیرا طبق تحقیقات مورد اشاره، در پژوهش‌هایی که دام مورد بررسی در مرحله پیک تولید قرار داشته و مکمل چربی در مقادیر بیش از دو درصد جیره با نسبت اسید استتاریک بالاتر نسبت به اسید پالمیتیک و اسید اولئیک به همراه ۳۰ گرم در روز از ترکیبات امولسیون‌کننده تغذیه شده، عملکرد تولیدی دام و ترکیبات شیر بهبود یافته است.

جدول ۴. اثر چربی گرانول یا پرک حاوی لسیتین یا پودر صفرا بر منشأ اسیدهای چرب شیر

P.value ^۱			تیمارهای آزمایشی ^۱							متغیر
مقایسه متعامد										
بدون افزودنی با پودر صفرا	بدون افزودنی با لسیتین	گرانول با پرک	SEM ^۲	پرک دارای پودر صفرا	پرک دارای لسیتین	پرک بدون افزودنی	گرانول دارای پودر صفرا	گرانول دارای لسیتین	گرانول بدون افزودنی	
منابع چربی شیر، گرم در روز ^۳										
< ۰.۰۰۱	< ۰.۰۰۱	۰/۶۵۷	۱۳/۰۲	۴۴۲	۴۳۹	۳۷۵	۴۴۷	۴۳۱	۳۹۲	اسیدهای چرب دنوو
< ۰.۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۴۱۱	۱۲/۶۶	۴۰۴	۳۸۹	۲۴۸	۴۲۱	۳۸۸	۳۵۸	اسیدهای چرب مخلوط
< ۰.۰۰۱	< ۰.۰۰۱	۰/۷۸۵	۲۱/۰۳	۷۶۸	۷۰۶	۶۲۶	۷۶۹	۷۲۲	۵۹۶	اسیدهای چرب پریفورم
< ۰.۰۰۱	< ۰.۰۰۱	۰/۵۶۴	۳۹/۶۹	۱۱۰۹	۱۰۷۶	۹۴۴	۱۱۴۴	۱۰۸۲	۹۴۵	اسیدهای چرب اشباع
< ۰.۰۰۱	۰/۰۲۰	۰/۷۷۰	۱۹/۹۱	۴۲۹	۳۸۰	۳۲۵	۴۰۰	۳۸۱	۳۳۹	اسیدهای چرب غیراشباع
۰/۰۰۱	۰/۰۶۲	۰/۸۷۶	۱۸/۸۱	۳۴۹	۳۰۸	۲۶۵	۳۲۷	۳۰۹	۲۷۹	اسیدهای چرب با یک پیوند دوگانه
< ۰.۰۰۱	< ۰.۰۰۱	۰/۱۷۷	۳/۱۶	۷۳	۶۷	۵۵	۶۵	۶۶	۵۳	اسیدهای چرب با چند پیوند دوگانه
< ۰.۰۰۱	۰/۰۱۳۴	۰/۲۲۹	۱۲/۱۹	۳۸۷	۳۸۴	۳۴۶	۴۲۱	۳۷۹	۳۵۴	اسید پالمیتیک
< ۰.۰۰۱	< ۰.۰۰۱	۰/۱۱۰	۱۱/۸۳	۳۲۵	۲۷۹	۲۵۰	۲۹۳	۲۸۹	۲۲۵	اسید استتاریک
۰/۰۰۳	۰/۰۷۴	۰/۵۸۷	۱۸/۲۸	۲۹۸	۲۶۲	۲۲۱	۲۶۹	۲۵۷	۲۳۰	اسید اولئیک

۱. ضریب احتمال معنی‌داری در سطح خطای (P ≤ ۰.۰۵)

۲. خطای میانگین استاندارد.

۳. دنوو شامل اسیدهای چرب زیر ۱۶ کربن که از بافت پستان نشأت می‌گیرند، پریفورم شامل اسیدهای چرب بالای ۱۶ کربن که از پلاسما خون نشأت می‌گیرند، مخلوط شامل اسیدهای چرب ۱۶ کربن که از هردو منبع قبلی نشأت می‌گیرد.

جدول ۵. میانگین صفات اندازه گیری شده برای اثرات دوره، نوع شکل فیزیکی و نوع افزودنی استفاده شده برای منشأ اسیدهای چرب شیر

P.value ¹		میانگین صفات اندازه گیری شده									
نوع افزودنی	شکل فیزیکی	دوره	SEM ²	دارای افزودنی پودر صفرا	دارای افزودنی لسیتین	بدون افزودنی	شکل فیزیکی پرک	شکل فیزیکی گرانول	دوره دوم	دوره اول	متغیر
											منابع چربی شیر، گرم در روز ³
< ۰.۰۰۱	۰/۶۷۶	۰/۸۰۳	۹/۷۷	۴۴۵ ^a	۴۳۵ ^a	۳۸۴ ^b	۴۱۹	۴۲۳	۴۲۳	۴۲۰	اسیدهای چرب دنوو
< ۰.۰۰۱	۰/۴۳۶	۰/۶۱۷	۹/۴۳	۴۱۳ ^a	۳۸۸ ^a	۳۵۳ ^b	۳۸۰	۳۸۹	۳۸۷	۳۸۲	اسیدهای چرب مخلوط
< ۰.۰۰۱	۰/۷۹۶	۰/۸۲۵	۱۶/۶۸	۷۶۸ ^a	۷۱۴ ^b	۶۱۲ ^c	۷۰۰	۶۹۵	۷۰۰	۶۹۶	اسیدهای چرب پریفورم
< ۰.۰۰۱	۰/۵۸۶	۰/۳۱۷	۲۲/۱۸	۱۱۲۶ ^a	۱۰۷۹ ^a	۹۴۴ ^b	۱۰۴۳	۱۰۵۷	۱۰۶۳	۱۰۳۷	اسیدهای چرب اشباع
۰/۰۰۱	۰/۷۷۸	۰/۱۸۵	۱۴/۶۲	۴۱۵ ^a	۳۸۰ ^a	۳۳۲ ^b	۳۷۸	۳۷۳	۳۶۴	۳۸۷	اسیدهای چرب غیراشباع
۰/۰۰۷	۰/۸۷۹	۰/۲۴۷	۱۳/۶۶	۳۳۸ ^a	۳۰۸ ^{ab}	۲۷۲ ^b	۳۰۷	۳۰۵	۲۹۷	۳۱۵	اسیدهای چرب با یک پیوند دوگانه
< ۰.۰۰۱	۰/۱۱۳	۰/۰۹۸	۱/۸۹	۶۹ ^a	۶۶ ^a	۵۴ ^b	۶۵	۶۱	۶۱	۶۵	اسیدهای چرب با چند پیوند دوگانه
۰/۰۰۱	۰/۲۵۳	۰/۶۹۳	۹/۰۷	۴۰۴ ^a	۳۸۱ ^a	۳۵۰ ^b	۳۷۲	۳۸۴	۳۸۰	۳۷۶	اسید پالمیتیک
< ۰.۰۰۱	۰/۱۰۱	۰/۷۶۴	۷/۵۲	۳۰۹ ^a	۲۸۴ ^b	۲۳۷ ^c	۲۸۵	۲۶۹	۲۷۵	۲۷۸	اسید استئاریک
۰/۰۱۴	۰/۵۹۸	۰/۸۶۳	۱۳/۲۸	۲۸۴ ^a	۲۵۹ ^{ab}	۲۲۶ ^b	۲۶۰	۲۵۲	۲۵۸	۲۵۵	اسید اولئیک

۱. ضریب احتمال معنی داری در سطح خطای (P ≤ ۰/۰۵).

۲. خطای میانگین استاندارد.

۳. دنوو شامل اسیدهای چرب زیر ۱۶ کربن که از بافت پستان نشأت می گیرند، پریفورم شامل اسیدهای چرب بالای ۱۶ کربن که از پلاسمای خون نشأت می گیرند، مخلوط شامل اسیدهای چرب ۱۶ کربنه که از هر دو منبع قبلی نشأت می گیرد.

نتیجه گیری

افزودن ترکیبات امولسیون کننده به مکمل های چربی مورد استفاده در جیره غذایی گاوهای شیرده موجب بهبود عملکرد تولیدی و برخی از ترکیبات شیر می شود هرچند که شکل فیزیکی آن ها اثرات مثبت یا منفی مشخصی در این مطالعه از خود نشان نداد. بنابراین نتایج به دست آمده از این پژوهش پیشنهاد می کند که محدودیت ظرفیت امولسیون کنندگی محیط روده احتمالاً یکی از دلایل کاهش قابلیت هضم اسیدهای چرب با افزایش جریان اسیدهای چرب به روده است. در نتیجه مکمل نمودن ترکیبات امولسیون کننده به نحوی که پس از شکمبه آزاد شوند، احتمالاً سبب بهبود پاسخ های تولیدی حیوان در اوایل و اواسط دوره شیردهی می شود. به طور کلی به پژوهش های بیشتری در خصوص مکمل سازی ترکیبات امولسیون کننده با مکمل های چربی حاوی نسبت های متفاوتی از اسید پالمیتیک و اسید استئاریک نیاز است. در گاوداری های صنعتی بیشترین سهم هزینه ها مربوط به هزینه خوراک است که در این بین منابع چربی به عنوان یکی از اجزای گران قیمت تشکیل دهنده جیره ها شناخته می شوند. بنابراین همین امر حساسیت در انتخاب نوع منبع چربی را بر اساس حداکثر اثر بخشی آن ها برجسته می نماید. لذا هنگام انتخاب نوع منابع چربی توسط متخصصین تغذیه برای استفاده در جیره های غذایی گاوهای شیرده می بایست علاوه بر در نظر گرفتن ترکیب اسیدهای چرب موجود در آن ها، وجود ترکیبات بهبود دهنده گوارش پذیری نظیر ترکیبات امولسیون کننده را در منابع پودر چربی مورد توجه قرار دهند.

تشکر و قدردانی

از شرکت کیمیا دانش الوند[©] به منظور حمایت مالی و تأمین مکمل های چربی حاوی لسیتین و پودر صفرا کمال تشکر و قدردانی را داریم. همچنین از گروه علوم دامی دانشگاه تهران به منظور فراهم نمودن شرایط اجرای این طرح آزمایشی سپاسگزاریم.

"هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Abel-Caines, S. F., Grant, R. J., & Morrison, M. (1998). Effect of soybean hulls, soy lecithin, and soapstock mixtures on ruminal fermentation and milk composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 81(2), 462-470. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75598-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75598-5)
- Alzawqari, M., Moghaddam, H. N., Kermanshahi, H., & Raji, A. R. (2011). The effect of desiccated ox bile supplementation on performance, fat digestibility, gut morphology and blood chemistry of broiler chickens fed tallow diets. *Journal of Applied Animal Research*, 39(2), 169-174.
- AOAC. (2006). Official Methods of Analysis (18 ed.). *Association of Official Analytical Chemists*.
- Barbano, D., Melilli, C., & Overton, T. (2014). Advanced use of FTIR spectra of milk for feeding and health management.
- Boerman, J., Firkins, J., St-Pierre, N., & Lock, A. (2015). Intestinal digestibility of long-chain fatty acids in lactating dairy cows: A meta-analysis and meta-regression. *Journal of Dairy Science*, 98(12), 8889-8903.
- Brautigan, D., Li, R., Kubicka, E., Turner, S., Garcia, J., Weintraut, M., & Wong, E. (2017). Lysolecithin as feed additive enhances collagen expression and villus length in the jejunum of broiler chickens. *Journal of Poultry Science*, 96(8), 2889-2898.
- Carraro, P. C., Da Silva, E. D., & Oliveira, D. E. (2019). Palmitic acid increases the abundance of mRNA of genes involved in de novo synthesis of fat in mammary explants from lactating ewes. *Small Ruminant Research*, 174, 99-102. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.02.020>
- Cao, A. Z., Lai, W. Q., Zhang, W. W., Dong, B., Lou, Q. Q., Han, M. M., Zhang, L. Y. (2021). Effects of porcine bile acids on growth performance, antioxidant capacity, blood metabolites and nutrient digestibility of weaned pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 276, 114931. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2021.114931>
- Chamberlain, M., & DePeters, E. (2017). Impacts of feeding lipid supplements high in palmitic acid or stearic acid on performance of lactating dairy cows. *Journal of Applied Animal Research*, 45(1), 126-135.
- Chen, Y., Yuan, C., Yang, T., Song, H., Zhan, K., & Zhao, G. (2024). Effects of bile acid supplementation on lactation performance, nutrient intake, antioxidative status, and serum biochemistry in mid-lactation dairy cows. *Animals*, 14(2), 290. <https://www.mdpi.com/2076-2615/14/2/290>
- Daley, V. L., Armentano, L., Kononoff, P., & Hanigan, M. D. (2020). Modeling fatty acids for dairy cattle: Models to predict total fatty acid concentration and fatty acid digestion of feedstuffs. *Journal of Dairy Science*, 103(8), 6982-6999.
- de Beni Arrigoni, M., Martins, C. L., & Factori, M. A. (2016). Lipid metabolism in the rumen. *Rumenology*, 103-126.
- de Diego-Cabero, N., Mereu, A., Menoyo, D., Holst, J. J., & Ipharraguerre, I. R. (2015). Bile acid mediated effects on gut integrity and performance of early-weaned piglets. *BMC Veterinary Research*, 11, 111. <https://doi.org/10.1186/s12917-015-0425-6>
- de Souza, J., Garver, J., Preseault, C., & Lock, A. (2017). Effects of prill size of a palmitic acid-enriched fat supplement on the yield of milk and milk components, and nutrient digestibility of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(1), 379-384.
- de Souza, J., Western, M., & Lock, A. L. (2020). Abomasal infusion of an exogenous emulsifier improves fatty acid digestibility and milk fat yield of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(7), 6167-6177. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2020-18239>
- di Gregorio, M. C., Cautela, J., & Galantini, L. (2021). Physiology and physical chemistry of bile acids. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(4), 1780. <https://www.mdpi.com/1422-0067/22/4/1780>
- Ding, T., Xu, N., Liu, Y., Du, J., Xiang, X., Xu, D., Mai, K. (2020). Effect of dietary bile acid (BA) on the growth performance, body composition, antioxidant responses and expression of lipid metabolism-related genes of juvenile large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) fed high-lipid

- diets. *Aquaculture*, 518, 734768.
- Doreau, M., Meynadier, A., Fievez, V., & Ferlay, A. (2016). Ruminant metabolism of fatty acids: Modulation of polyunsaturated, conjugated, and trans fatty acids in meat and milk. *Lipids in Human Function*, 521-542. Elsevier.
- Eastridge, M., & Firkins, J. (2000). Feeding tallow triglycerides of different saturation and particle size to lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 83 (3-4), 249-259.
- Fontoura, A., Rico, J., Davis, A., Myers, W., Tate, B., Gervais, R., & McFadden, J. (2021). Effects of dietary deoiled soy lecithin supplementation on milk production and fatty acid digestibility in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(2), 1823-1837.
- Freitas Jr, J., Takiya, C. S., Del Valle, T. A., Barletta, R. V., Venturelli, B. C., Vendramini, T. H. A., Gandra, J. R. (2018). Ruminant biohydrogenation and abomasal flow of fatty acids in lactating cows fed diets supplemented with soybean oil, whole soybeans, or calcium salts of fatty acids. *Journal of Dairy Science*, 101(9), 7881-7891.
- Gao, Y., Yao, Y., Huang, J., Sun, Y., Wu, Q., Guo, D., & Wang, S. (2023). Effect of dietary bile acids supplementation on growth performance, feed utilization, intestinal digestive enzyme activity and fatty acid transporters gene expression in juvenile leopard coral grouper (*Plectropomus leopardus*). *Frontiers in Marine Science*, 10, 1171344.
- Lai, W., Cao, A., Li, J., Zhang, W., & Zhang, L. (2018). Effect of high dose of bile acids supplementation in broiler feed on growth performance, clinical blood metabolites, and organ development. *Journal of Applied Poultry Research*, 27(4), 532-539.
- Lai, W., Huang, W., Dong, B., Cao, A., Zhang, W., Li, J., Zhang, L. (2018). Effects of dietary supplemental bile acids on performance, carcass characteristics, serum lipid metabolites and intestinal enzyme activities of broiler chickens. *Poultry Science*, 97(1), 196-202. <https://doi.org/https://doi.org/10.3382/ps/pex288>
- Lee, C., Morris, D., Copelin, J., Hettick, J., & Kwon, I. (2019). Effects of lysophospholipids on short-term production, nitrogen utilization, and rumen fermentation and bacterial population in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 3110-3120.
- Loften, J. R., Linn, J. G., Drackley, J. K., Jenkins, T. C., Soderholm, C. G., & Kertz, A. F. (2014). Invited review: Palmitic and stearic acid metabolism in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(8), 4661-4674. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2014-7919>
- Lohrenz, A. K., Duske, K., Schneider, F., Nürnberg, K., Losand, B., Seyfert, H. M., Hammon, H. M. (2010). Milk performance and glucose metabolism in dairy cows fed rumen-protected fat during mid lactation. *Journal of Dairy Science*, 93(12), 5867-5876. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2010-3342>
- Macierzanka, A., Torcello-Gómez, A., Jungnickel, C., & Maldonado-Valderrama, J. (2019). Bile salts in digestion and transport of lipids. *Advances in Colloid and Interface Science*, 274, 102045. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.102045>
- McFadden, J. (2019). Dietary lecithin supplementation in dairy cattle.
- Nardi, R. d., Marchesini, G., Tenti, S., Contiero, B., Andrighetto, I., & Segato, S. (2012). Lecithin as a supplement for mid-lactating dairy cows. *Acta Agriculturae Slovenica*, 100(Suppl. 3), 67-70.
- NRC. (2021). Nutrient requirements of dairy cattle: Eighth revised edition. The National Academies Press. <https://doi.org/doi:10.17226/25806>
- Palmquist, D., & Jenkins, T. (2017). A 100-Year Review: Fat feeding of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10061-10077.
- Piantoni, P., Lock, A. L., & Allen, M. S. (2013). Palmitic acid increased yields of milk and milk fat and nutrient digestibility across production level of lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 96(11), 7143-7154. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2013-6680>
- Polycarpo, G. V., Burbarelli, M. F., Carão, A. C., Merseguel, C. E., Dadalt, J. C., Maganha, S. R., Albuquerque, R. (2016). Effects of lipid sources, lysophospholipids and organic acids in maize-based broiler diets on nutrient balance, liver concentration of fat-soluble vitamins, jejunal microbiota and performance. *British Poultry Science*, 57(6), 788-798.

- <https://doi.org/10.1080/00071668.2016/11219019>
- Porter, N. (2023). Feeding fatty acids with lysophospholipids to improve production efficiency of lactating dairy cows. The Ohio State University.
- Rabiee, A., Breinhild, K., Scott, W., Golder, H., Block, E., & Lean, I. (2012). Effect of fat additions to diets of dairy cattle on milk production and components: A meta-analysis and meta-regression. *Journal of Dairy Science*, 95(6), 3225-3247.
- Rico, D., Ying, Y., & Harvatine, K. (2017). Effects of lysolecithin on milk fat synthesis and milk fatty acid profile of cows fed diets differing in fiber and unsaturated fatty acid concentration. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 9042-9047 .
- Rico, J., Fontoura, A., Tate, B., & McFadden, J. (2019). Effects of soy lecithin on circulating choline metabolite concentrations and phosphatidylcholine profile in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 102, 385-385.
- Rico, J. E., Allen, M. S., & Lock, A. L. (2014). Compared with stearic acid, palmitic acid increased the yield of milk fat and improved feed efficiency across production level of cows. *Journal of Dairy Science*, 97(2), 1057-1066. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2013-7432>
- Roche, J. R., Kay, J. K., Friggens, N. C., Loor, J. J., & Berry, D. P. (2013). Assessing and managing body condition score for the prevention of metabolic disease in dairy cows. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 29(2), 323-336.
- Song, P., Zhang, Y., & Klaassen, C. D. (2011). Dose-response of five bile acids on serum and liver bile Acid concentrations and hepatotoxicity in mice. *Toxicol Science*, 123(2), 359-367. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfr177>
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vargas-Bello-Pérez, E., Cancino-Padilla, N., Geldsetzer-Mendoza, C., Morales, M. S., Leskinen, H., Garnsworthy, P. C., Romero, J. (2020). Effects of dietary polyunsaturated fatty acid sources on expression of lipid-related genes in bovine milk somatic cells. *Scientific Reports*, 10(1), 14850.
- Western, M. M., de Souza, J., & Lock, A. L. (2020). Effects of commercially available palmitic and stearic acid supplements on nutrient digestibility and production responses of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(6), 5131-5142 .
- Wettstein, H. R., Scheeder, M. R., Sutter, F., & Kreuzer, M. (2001). Effect of lecithins partly replacing rumen-protected fat on fatty acid digestion and composition of cow milk. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 103(1), 12-22 .
- Zhang, M., Bai, H., Zhao, Y., Wang, R., Li, G., Zhang, G., & Zhang, Y. (2022). Effects of dietary lysophospholipid inclusion on the growth performance, nutrient digestibility, nitrogen utilization, and blood metabolites of finishing beef cattle. *Antioxidants*, 11(8), 1486.
- Zhao, P. Y., & Kim, I. H. (2017). Effect of diets with different energy and lysophospholipids levels on performance, nutrient metabolism, and body composition in broilers. *Poultry Science*, 96(5), 1341-1347. <https://doi.org/https://doi.org/10.3382/ps/pew469>
- Zhao, P. Y., Li, H. L., Hossain, M. M., & Kim, I. H. (2015). Effect of emulsifier (lysophospholipids) on growth performance, nutrient digestibility and blood profile in weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 207, 190-195. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.06.007>
- Zhao, P., Zhang, Z., Lan, R., Liu, W., & Kim, I. (2017). Effect of lysophospholipids in diets differing in fat contents on growth performance, nutrient digestibility, milk composition and litter performance of lactating sows. *Animal*, 11(6), 984-990.
- Zhou, P., Yan, H., Zhang, Y., Qi, R., Zhang, H., & Liu, J. (2023). Growth performance, bile acid profile, fecal microbiome and serum metabolomics of growing-finishing pigs fed diets with bile acids supplementation. *Journal of Animal Science*, 101. <https://doi.org/10.1093/jas/skad393>