The University of Tehran Press

Iranian Journal of Animal Science

Online ISNN: 2008-4773

Homepage: http:// ijas.ut.ac.ir/

The assessment of Lipidol and fat powder effects on performance, nutrient digestibility, feeding behaviors and blood parameters of suckling Holstein calves

Alireza Alipour [1], Taghi Ghoorchi [2] ✉, Abdolhakim Toghdory [3] and Mohsen Sari[4]

1. Department of Animal and Poultry nutrition, Animal Science Faculty, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: Alireza.alipour_s99@gau.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Animal and Poultry nutrition, Animal Science Faculty, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: Ghoorchi@gau.ac.ir
3. Department of Animal and Poultry nutrition, Animal Science Faculty, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: Toghdory@gau.ac.ir
4. Department of Animal Science, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: M.sari@asnrukh.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 13 June 2025

Received in revised form:

7 September 2025

Accepted: 4 October 2025

Published online: Summer 2026

Keywords:

Lipidol,
Fat powder,
Holstein calves,
Growth performance,
Feeding behavior.

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the effects of using fat powder and Lipidol, a lysophospholipid-based feed additive, on growth indices, feeding behavior, digestibility, and blood metabolic parameters in suckling Holstein calves. For this purpose, 36 male Holstein calves with a mean weight of 38.3 ± 0.6 kg were assigned to four groups in a completely randomized 2×2 factorial design: 1) basal diet containing 0.15% Lipidol without fat powder, 2) basal diet containing 0.3% Lipidol without fat powder, 3) basal diet containing 0.15% Lipidol and 3.0 % fat powder, and 4) basal diet containing 0.3 % Lipidol and 3.0 % fat powder. The experimental period continued until the calves reached 67 days of age. Growth indices, feed consumption, skeletal growth, feeding behaviors (eating, rumination, chewing, and resting time), apparent digestion coefficients, and blood metabolites (glucose, cholesterol, triglycerides, total protein, and albumin) were measured. The results showed that calves receiving the combination of Lipidol and fat powder exhibited the highest daily growth, increased dry matter intake, and relative improvement in skeletal growth ($P < 0.05$). Additionally, eating and chewing time were reduced, while resting time increased, suggesting enhanced feeding efficiency and improved satiety. The concentration of triglycerides and cholesterol in the blood significantly increased ($P < 0.05$) in the groups receiving Lipidol, whereas glucose, total protein, and albumin levels did not show significant differences. In conclusion, supplementation with fat powder and Lipidol in the diet of suckling Holstein calves improved growth performance and metabolic status, likely through enhanced fat digestibility, improved nutrient absorption, and altered feeding behaviors.

Cite this article: Alipour, A., Ghoorchi, T., Toghdory, A. & Sari, M. (2026). The assessment of Lipidol and fat powder effects on performance, nutrient digestibility, feeding behaviors and blood parameters of suckling Holstein calves. *Iranian Journal of Animal Science*, 57 **(2),** 233-250. DOI: https://doi.org/10.22059/ijas.2025.397921.654087

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijas.2025.397921.654087

Extended Abstract

Introduction

Successful rearing of pre-weaning calves plays a crucial role in ensuring long-term health and productivity in adult cattle. During this critical developmental period, high-quality and digestible nutrition is essential. However, young calves typically have limited ability to synthesize sufficient phospholipids, which are vital for cellular function and nutrient absorption. Supplementing the diet with phospholipids and emulsifiers can enhance nutrient utilization, reduce mortality, and support growth.

Fat digestion in calves is limited due to immature bile and enzyme secretion, making dietary fat emulsification necessary for effective digestion and absorption. Lysophospholipids, derived from phospholipid hydrolysis, can improve nutrient transport by modifying membrane fluidity and permeability. These compounds, when used as feed additives, have shown potential to enhance intestinal morphology, energy retention, and overall nutrient absorption.

Fat-rich diets also support liver function, improve feed efficiency, and increase energy density. Moreover, combining fat powders with emulsifiers like Lipidol, a lysophospholipid-based product, can improve the digestion of both lipids and amino acids, influence rumen microbial composition, and boost volatile fatty acid production. Recent studies have highlighted the benefits of essential fatty acids on calf growth, immune function, and gut health, but there is still limited data on the use of Lipidol and fat powder in milk for calves.

Therefore, this study aimed to evaluate the effects of milk enriched with Lipidol and fat powder on growth performance, nutrient digestibility, feeding behavior, and blood parameters in Holstein pre-weaning calves.

Materials and Methods

This study was conducted in Yazd Province using 36 Holstein calves with an average body weight of 38.3 ± 0.6 kg. Calves were randomly assigned to one of four treatment groups (9 calves per group) and housed individually until 67 days of age. The experiment followed a 2×2 factorial design, with two levels of dietary fat (with 3.0 % or without fat powder) and two levels of Lipidol supplement (0.15% and 0.3%). The four groups were: 0.15% Lipidol without fat powder, 0.3% Lipidol without fat powder, 0.15% Lipidol + 3.0 % fat powder and 0.3 % Lipidol + 3.0 % fat powder. Calves were weighed at the start and every 30 days before milk feeding. Feed intake was measured daily by recording the weight of feed offered and feed refused. Also Body measurements, Blood samples (to measure glucose, total protein, albumin, and blood urea nitrogen), Feeding behaviors (rumination, chewing, eating, resting, and abnormal oral behaviors) Fecal samples (to determine the digestibility) were measured. All data were analyzed using SAS 9.1.4 in a completely randomized factorial design. Mean comparisons were performed using Duncan's multiple range test at a 5% significance level.

Results

Results showed no significant differences in initial weight, weight at 30 days, weight gain, total feed intake, or feed conversion ratio across treatments. However, calves receiving both Lipidol and fat powder had significantly higher feed intake between days 30–60 and greater weaning weights. These groups were also weaned later, likely due to improved digestibility or increased solid feed intake. Body measurements such as pelvic width, wither height, and body length at weaning were significantly higher in treatments with fat powder, while chest and body depth remained unaffected ($P<0.01$). Digestibility of nutrients, including dry matter, organic matter, crude fat, protein, and NDF, was significantly enhanced, particularly in treatment 4 (0.3% Lipidol + 3.0 % fat powder), which consistently showed the highest digestibility values. Feeding behavior was also influenced: treatment 0.3 % Lipidol without fat powder calves spent more time eating and chewing, while treatment 0.15 % Lipidol only calves spent the most time resting ($P<0.01$). Blood analysis revealed higher glucose levels in treatment 1 and the highest cholesterol in treatment 3, with no significant differences in triglycerides, total protein, or albumin, though treatment 4 (0.3 lipidol+ 3.0 fat powder) had slightly elevated protein levels ($P<0.01$). Overall, the combination of Lipidol and fat powder improved nutrient digestibility, growth traits, and feeding behavior in suckling calves.

Conclusion

This study demonstrates that supplementing suckling calves' diets with 0.3% Lipidol and 3.0% fat powder improves growth performance, nutrient digestibility, and certain physical traits. The combination likely enhanced digestion by stimulating bile secretion and emulsification processes, thereby increasing the surface area for lipase activity and improving absorption of fatty acids and fat-soluble nutrients. Additionally, fat supplementation may have slowed ruminal passage rate, improving feed utilization and stabilizing energy supply. These effects not only supported better body development at weaning but also modulated feeding behavior by promoting satiety and reducing stress-related competition at the feeder, contributing to improved animal welfare. Overall, this dietary strategy is effective for improving growth and efficiency in young calves, though further research is needed to evaluate its long-term metabolic and developmental impacts.

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

Data Availability Statement
Data available on request from the authors.

Acknowledgements
The authors would like to thank Vice president for Research and Technology of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources and also Kimia danesh alvand compony.

Ethical considerations
The study was approved by the Ethics Committee of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest
The author declares no conflict of interest.

انتشارات دانشگاه تهران

نشریه علوم دامی ایران، دوره ۵۷، شماره ۲

شاپا الکترونیکی: ۷۹۴۹-۲۴۲۳

Homepage: http://ijas.ut.ac.ir//

بررسی اثر استفاده از لیپیدول و پودر چربی بر عملکرد، قابلیت هضم مواد مغذی، رفتارهای تغذیه‌ای و فراسنجه های خونی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

علیرضا علیپور[۱] | تقی قورچی[۲] ✉ | عبدالحکیم توغدری[۳] | محسن ساری[۴] |

۱.گروه تغذیه دام طیور ، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Alireza.alipour_s99@gau.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه تغذیه دام طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Ghoorchi@gau.ac.ir

۳. گروه تغذیه دام طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Toghdory@gau.ac.ir

۴. گروه علوم دامی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران. رایانامه: M.sari@asnrukh.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۲

تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

لیپیدول، پودر چربی، گوساله‌های هلشتاین، عملکرد رشد، رفتار تغذیه‌ای.

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر استفاده از پودر چربی و لیپدول افزودنی خوراکی مبتنی بر لیزوفسفولیپیدها بر شاخص‌های رشد، رفتار تغذیه‌ای، قابلیت هضم و متابولیسم خون در گوساله‌های هلشتاین شیرخوار بود. بدین منظور، ۳۶ رأس گوساله نر هلشتاین با میانگین وزنی ۰/۶ ± ۳۸/۳ کیلوگرم و میانگین سن ۲/۰ ± ۷/۰ روز در قالب طرح کاملاً تصادفی به روش فاکتوریل ۲×۲ به چهار گروه شامل: جیره پایه حاوی ۰/۱۵ درصد لیپیدول بدون پودر چربی، ۲- جیره پایه حاوی ۰/۳ درصد لیپیدول بدون پودر چربی، ۳- جیره پایه حاوی ۰/۱۵ درصد لیپیدول و ۳ درصد پودر چربی و ۴- جیره پایه حاوی ۰/۳ درصد لیپیدول و ۳ درصد پودر چربی اختصاص داده شدند. دوره آزمایش ۶۰ روز بود و تا سن ۶۷ روزگی ادامه یافت و شاخص‌هایی از جمله عملکرد رشد و مصرف خوراک، رشد اسکلتی، رفتارهای تغذیه‌ای (مدت زمان خوردن، نشخوار، جویدن و استراحت)، ضرایب هضم ظاهری، و متابولیت‌های خونی (گلوکز، کلسترول، تری‌گلیسرید، پروتئین کل و آلبومین) اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد گوساله‌های دریافت‌کننده ترکیب لیپیدول و پودر چربی، بیشترین رشد روزانه، افزایش مصرف ماده خشک و بهبود نسبی رشد اسکلتی را نشان دادند ($P< 0.05$). همچنین مدت زمان خوردن و جویدن در این گروه کاهش یافت، در حالی که زمان استراحت افزایش یافت، که نشان‌دهنده افزایش راندمان تغذیه‌ای و بهبود سیری بود. غلظت تری‌گلیسرید و کلسترول خون در گروه‌های حاوی لیپیدول افزایش معنی‌داری داشت ($P<0.05$)، در حالی که گلوکز، پروتئین کل و آلبومین تفاوت آماری نداشتند. در مجموع، افزودن پودر چربی و لیپیدول به جیره غذایی گوساله‌های شیرخوار می‌تواند از طریق بهبود قابلیت هضم چربی، جذب مواد مغذی، و تغییر رفتارهای تغذیه‌ای، رشد و وضعیت متابولیکی را بهبود بخشد.

استناد: علیپور، علیرضا؛ قورچی، تقی؛ توغدری، عبدالحکیم و ساری، محسن (۱۴۰۵). بررسی اثر استفاده از لیپیدول و پودر چربی بر عملکرد، قابلیت هضم مواد مغذی، رفتارهای تغذیه¬ای و فراسنجه های خونی گوساله¬های شیرخوار هلشتاین. *نشریه علوم دامی ایران*، ۵۷ (۲)، ۲۵۰-۲۳۳. DOI: https://doi.org/10.22059/ijas.2025.397921.654087

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijas.2025.397921.654087

مقدمه

پرورش موفق گوساله‌های شیرخوار نقش بنیادینی در ارتقای سلامت و بهره‌وری دام‌های بالغ دارد. در این دوره، تغذیه مناسب به‌ویژه از نظر کیفیت و هضم‌پذیری مواد مغذی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گوساله‌های نابالغ معمولاً توانایی کافی برای سنتز فسفولیپیدها ندارند. این ترکیبات برای انجام فرآیندهای متابولیکی ضروری‌اند. بنابراین، دریافت فسفولیپیدها از طریق جیره غذایی اهمیت زیادی دارد. این کار می‌تواند از رشد بهتر حمایت کند، تلفات را کاهش دهد، ضریب تبدیل خوراک را بهبود بخشد و سلامت گوساله را ارتقا دهد .(Coutteau *et al*., 1997; Khalilvandi-Behroozyar *et al*, 2023). فسفولیپیدها از اجزای اصلی چربی‌های غشای سلولی هستند که علاوه بر نقش ساختاری، عملکردهای کلیدی در فرآیندهای گوارشی مانند هضم، جذب و انتقال مواد مغذی در دستگاه گوارش دارند.(Tocher *et al*., 2008) در گوساله‌ها، هضم چربی از حفره دهانی آغاز شده و تحت تأثیر لیپاز بزاقی قرار می‌گیرد، اما تنها بخشی از چربی تا پیش از رسیدن به روده باریک تجزیه می‌شود. در هفته‌های ابتدایی زندگی، محدودیت در ترشح صفرا و آنزیم‌های گوارشی، توانایی هضم کامل چربی را در گوساله‌ها کاهش می‌دهد (Hill *et al*., 2009; Bach *et al*., 2005). در این شرایط، استفاده از مکمل‌هایی مانند امولسیفایرها به‌عنوان راهکاری علمی می‌تواند فرآیند امولسیون‌سازی و جذب روده‌ای چربی‌ها و سایر مواد مغذی را بهبود بخشد، به‌ویژه زمانی که از جایگزین شیرهای حاوی چربی استفاده می‌شود(Zhao *et al*., 2015; Wang *et al*., 2022).

لیزوفسفولیپیدها که از هیدرولیز فسفولیپیدها توسط آنزیم فسفولیپاز حاصل می‌شوند، ترکیباتی فعال از نظر بیولوژیکی محسوب می‌شوند که با تغییر در سیالیت غشای سلولی و افزایش نفوذپذیری آن، می‌توانند انتقال مواد مغذی به‌ویژه درشت‌مولکول‌ها را تسهیل کنند .(Lu *et al*., 2022) استفاده از لیزوفسفولیپیدها به‌عنوان مکمل خوراکی، با هدف بهبود خواص ساختاری دو لایه لیپیدی غشا و در نتیجه ارتقای بهره‌وری جذب مواد مغذی، پیشنهاد شده است .بر اساس گزارش‌ها، افزودن لیزوفسفولیپیدها به جیره غذایی می‌تواند موجب افزایش ابقای انرژی و بهبود شاخص‌های مورفولوژیک روده شود که این امر نقش بالقوه این ترکیب در بهبود عملکرد رشد و سلامت دستگاه گوارش دام‌های جوان را تقویت می‌کند(Boontiam *et al*, 2021; Zhang *et al*, 2022).

هضم لیپیدها در بدن گوساله همانند کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها نیست. چربی‌ها بعلّت نامحلول بودن در آب برای ورود به مایع گوارشی و فعال شدن آنزیم‌های هضم کننده آن نیاز به فرایند امولسیفیه شدن دارند تا آنزیم‌ها بتوانند مولکولهای چربی را به شکل تری گلیسرید محلول در آب درآورند (Tocher *et al*, 2008). تأمین فسفولیپیدهای مورد نیاز از طریق جیره غذایی می‌تواند با بهبود ضریب تبدیل خوراک، کاهش تلفات، و ارتقاء سلامت کلی، رشد گوساله‌ها را بهینه کند. فسفولیپیدها نه‌تنها اجزای ساختاری غشای سلولی هستند، بلکه در هضم، جذب و انتقال ترکیبات غذایی نیز نقش فعالی دارند. در این میان، استفاده از لیپیدول‌های خوراکی با ترکیب مناسب اسیدهای چرب ضروری، ضمن افزایش چگالی انرژی جیره، موجب بهبود عملکرد رشد، توسعه اندام‌ها و کارایی دستگاه گوارش می‌شود(Zhang *et al*, 2022).

کبد به‌عنوان اندامی مرکزی در متابولیسم چربی‌ها، نقش اساسی در سنتز، اکسیداسیون و انتقال لیپیدها ایفا می‌کند. جلوگیری از تجمع چربی در این اندام، به‌ویژه در قالب استئاتوز کبدی، از جنبه‌های مهم حفظ سلامت متابولیکی در گوساله‌های شیرخوار است(Lodge *et al*, 1976). ترکیباتی مانند فسفولیپیدها و امولسیفایرها با بهبود انتقال لیپیدها و کاهش انباشت آن‌ها در سلول‌های کبدی، در پیشگیری از اختلالات کبدی مؤثرند. در این راستا، بهینه‌سازی نسبت اسیدهای چرب اشباع به غیراشباع در جیره غذایی به‌عنوان یکی از استراتژی‌های کلیدی تغذیه‌ای شناخته می‌شود (Lu *et al*, 2022). در دهه ۱۹۴۰ میلادی، چربی‌ها به‌عنوان مکمل غذایی وارد صنعت تغذیه دام شدند و مطالعات اولیه نشان دادند که استفاده از آن‌ها می‌تواند عملکرد تولیدی دام را بهبود بخشد. افزودن چربی به جیره می‌تواند با کاهش حرارت افزایشی و افزایش زمان تماس مواد مغذی با آنزیم‌ها، کارایی هضم و جذب را بهبود بخشد (Palmquist *et al*, 1980). ویژگی‌هایی چون طول زنجیره، درجه اشباع، و موقعیت اسیدهای چرب در تری‌گلیسیرید، همگی در میزان هضم و جذب چربی نقش دارند. در گوساله‌های جوان که دستگاه گوارش آن‌ها هنوز تکامل نیافته و ترشح طبیعی فسفولیپیدها و نمک‌های صفراوی محدود است، استفاده از لیپوفسفولیپیدها و سایر امولسیفایرهای خوراکی می‌تواند با افزایش سطح تماس آنزیم لیپاز با قطرات چربی، موجب بهبود فرآیند هیدرولیز و جذب چربی‌ها شود. در نتیجه، این رویکرد

نه‌تنها بهره‌وری تغذیه‌ای را افزایش می‌دهد، بلکه با کاهش بار متابولیکی بر کبد، به سلامت عمومی و رشد بهتر گوساله‌ها نیز کمک می‌کند(Tocher *et al*, 2008; Lu et al, 2022) .افزودن چربی به جیره‌های غذایی، علاوه بر تأمین انرژی خالص بیشتر نسبت به کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها، منجر به بهبود خوش‌خوراکی، تسهیل جذب ویتامین‌های محلول در چربی و بهبود شرایط کلی بهداشت خوراک می‌شود(Hamosh *et al*, 1975).

امولسیون‌سازی چربی‌ها، که نخستین مرحله از هضم آن‌ها به‌شمار می‌رود، با کمک نمک‌های صفراوی و فسفولیپیدهای آمفی‌پاتیک مانند لسیتین انجام می‌شود. این ترکیبات با ایجاد میسل‌های پایدار در محیط آبی روده، امکان دسترسی مؤثر آنزیم‌های گوارشی به مولکول‌های چربی را فراهم می‌سازند(Zhao *et al*, 2015). یافته‌های پژوهش Reis *et al*(2021) نشان می‌دهد که افزودن لیزوفسفولیپید به جایگزین شیر گوساله‌ها، عملکرد رشد، بازده خوراک، وضعیت ایمنی و سلامت دستگاه گوارش را بهبود بخشیده و از بروز اسهال می‌کاهد. علت این اثرات را می‌توان در ارتقاء کارایی جذب مواد مغذی و کاهش حضور چربی‌های هضم‌نشده در روده دانست که می‌توانند منبع رشد باکتری‌های بیماری‌زا باشند.

همچنین مطالعاتی گزارش کرده‌اند که استفاده از ترکیباتی مانند لیپیدول نه‌تنها قابلیت هضم چربی‌ها، بلکه جذب برخی اسیدهای آمینه ضروری مانند لیزین، لوسین و هیستیدین را افزایش داده است. این ترکیبات از طریق بهینه‌سازی مصرف انرژی، افزایش بازده خوراک، بهبود ترکیب میکروبی شکمبه و افزایش تولید اسیدهای چرب فرّار، به ارتقاء بهره‌وری متابولیک و رشد گوساله‌های شیرخوار کمک می‌کنند. در مجموع، استفاده از لیزوفسفولیپیدها به‌عنوان افزودنی‌های عملکردی در جیره غذایی، می‌تواند به‌عنوان روشی مؤثر برای ارتقاء سلامت، رشد و بهره‌وری اقتصادی در سیستم‌های پرورش گوساله مطرح باشد(Cho *et al*, 2013;Zhang *et al*, 2022).

اطلاعات محدودی در زمینه استفاده از پودر چربی در تغذیه گوساله شیرخوار وجود دار ولی مطالعات اخیر نشان دادند که، تأثیر اسیدهای چرب ضروری بر سلامت و رشد گوساله‌ها نقش قابل ملاحظه ای داشته است. Hill *et al* (2011) .گزارش کردند که افزودن یک مکمل تجاری حاوی روغن نارگیل، روغن بذر کتان و اسید استیک به جایگزین شیر، موجب بهبود ضریب تبدیل خوراک، افزایش مصرف خوراک و افزایش میانگین وزن‌گیری روزانه در گوساله‌های شیرخوار شده و هم‌زمان منجر به کاهش تحریک عوامل التهابی گردیده است. مطالعه‌ای توسط Garcia *et al* (2015) شان داد که افزودن اسیدهای چرب ضروری به جیره آغازین موجب افزایش اسیدهای چرب غیر اشباع از نوع لینولئیک و آلفا–لینولنیک در بافت کبد و کاهش اسیدهای چرب اشباع می‌شود. با این حال، این تغییرات تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد، مصرف ماده خشک یا عملکرد سیستم ایمنی نداشت. همچنین، Karcher *et al* (2014)دریافتند که استفاده از روغن بذر کتان در جیره گوساله‌ها باعث بهبود بازده غذایی و افزایش نرخ رشد می‌شود. افزون بر این، کاهش بیان ژن‌های اینترلوکین در این گوساله‌ها مشاهده شد، که حاکی از نقش تعدیل‌کننده اسیدهای چرب امگا–۳ بر پاسخ‌های ایمنی و حمایت از رشد است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که ترکیب صحیح اسیدهای چرب ضروری در جیره می‌تواند به طور هم‌زمان اثرات مثبتی بر عملکرد رشد و تنظیم ایمنی در گوساله‌های جوان داشته باشد. با توجه به مطالب ذکر شده و محدود بودن اطلاعات در زمینه پرورش گوساله با استفاده از منابع لیپیدول و چربی، پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر این ترکیبات در شیر بر عملکرد، قابلیت هضم مواد مغذی، رفتارهای تغذیه ای و فراسنجه های خونی گوساله¬های شیرخوار هلشتاین انجام شد.

روش شناسی پژوهش

حیوانات و تیمارهای آزمایشی

این مطالعه در استان یزد با استفاده از ۳۶ رأس گوساله هلشتاین نر با میانگین وزنی ۰/۶ ± ۳۸/۳ کیلوگرمو میانگین سنی ۲/۰ ± ۷/۰ روز به اجرا درآمد. در روز سوم پس از تولد، به‌منظور اطمینان از دریافت کافی آغوز، از سیاهرگ وداج گوساله‌ها نمونه خون تهیه و در لوله‌های خلا جمع‌آوری شد. نمونه‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید و سرم حاصل جداسازی شد. میزان پروتئین تام سرم با استفاده از دستگاه رفرکتومتر اندازه‌گیری شد و تنها گوساله‌هایی با غلظت پروتئین تام

بیش از ۵/۵ میلی‌گرم در دسی‌لیتر، به‌عنوان گوساله سالم به طرح وارد شدند. گوساله‌هایی که دارای مشکلات تنفسی، سابقه سخت‌زایی، تحت درمان آنتی‌بیوتیکی، یا دوقلو بودند، از مطالعه حذف گردیدند.

گوساله‌های واجد شرایط از روز هفتم تولد (به دلیل اطمینان از سلامت کامل گوساله بعد از آزمون سلامت اولیه) به‌صورت کاملاً تصادفی به گروه‌های آزمایشی تخصیص داده شدند. هر تیمار شامل ۹ رأس گوساله بود که تا سن ۶۷ روزگی (طول دوره آزمایش ۶۰ روز) در جایگاه‌های انفرادی نگهداری شدند. ابعاد جایگاه‌های انفرادی ۱۲۵ × ۱۰۰ × ۱۰۰ سانتی‌متر (طول × عرض × ارتفاع) بود و بستر با کاه پوشیده شده بود؛ به‌گونه‌ای که گوساله‌ها امکان ایجاد حالت آشیانه‌ای را داشتند. به‌منظور حفظ کیفیت بستر و جلوگیری از افزایش رطوبت، تعویض بستر به‌صورت روزانه انجام شد. برای تأمین آب آشامیدنی و خوراک آغازین، ظروف فلزی مجزا در جلوی هر جایگاه نصب گردید. شیر به‌صورت دو وعده در روز (ساعت ۹ صبح و ۶ عصر) توزیع شد. در دو هفته اول، هر گوساله به‌طور متوسط روزانه ۴ کیلوگرم شیر دریافت کرد؛ این مقدار در دو هفته بعد به ۵ کیلوگرم و از هفته پنجم تا یک هفته مانده به زمان قطع شیر به ۶ کیلوگرم در روز افزایش یافت. در هفته پایانی، تغذیه شیر به یک وعده کاهش یافته و روزانه ۳ کیلوگرم شیر به گوساله داده شد. فرآیند قطع شیر در سن ۶۰ روزگی انجام گرفت.

جدول ۱. مواد تشکیل دهنده و ترکیب شیمیایی جیره آغازین

	تیمارهای آزمایشی[#]			
متغیرها	**۱**	**۲**	**۳**	**٤**
اجزای خوراک (درصد)				
جو آسیاب شده	۵	۵	۵	۵
ذرت آسیاب شده	۴۷/۸۵	۴۳/۵۵	۴۷/۴	۴۳/۴
کنجاله سویا	۳۸/۰۰	۳۹/۰۰	۳۸/۰۰	۳۹/۰۰
سبوس گندم	۲/۴	۲/۴	۲/۴	۲/۴
کلسیم کربنات	۱/۲	۱/۵	۱/۵	۱/۵
نمک	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
جوش شیرین	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
کلسیم دی فسفات	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴
مکمل ویتامینه	۳/۰	۳/۰	۳/۰	۳/۰
چربی خالص	۰/۰	۳/۰	۰/۰	۳/۰
لیپیدول	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۳۰	۰/۳۰
اجزای شیمیایی (براساس درصد ماده خشک)				
پروتیئن خام	۲۱/۸	۲۱/۹	۲۱/۸	۲۱/۹
انرژی قابل متابولیسم(مگاکالری بر کیلوگرم)	۳/۳۵	۳/۴۵	۳/۳۴	۳/۴۵
ADF	۵/۵	۵/۴	۵/۵	۵/۴
NDF	۱۱/۶	۱۱/۳	۱۱/۶	۱۱/۳
ADF/NDF	۰/۴۷	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۸
نشاسته	۳۸/۲	۳۵/۲	۳۸/۱	۳۵/۱
WSC	۷/۰	۷/۰	۷/۰	۷/۰
خاکستر	۷/۹	۸/۰	۸/۰	۸/۰
چربی کل	۲/۶	۵/۴۳	۲/۶	۵/۴۳
کلسیم	۰/۷۶	۰/۸۸	۰/۷۶	۰/۸۸
فسفر	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۷

تیمار ۱: جیره حاوی ۰/۵ درصد مکمل لیپیدول و بدون پودر چربی ، تیمار ۲ جیره پایه حاوی ۱ درصد مکمل لیپیدول و بدون پودر چربی ، تیمار ۳ جیره پایه حاوی ۰/۵ درصد مکمل لیپیدول و ۱/۵ درصد پودر چربی ، تیمار ۴ جیره پایه حاوی ۱ درصد مکمل لیپیدول و ۱/۵ درصد پودر چربی

طرح حاضر به‌مدت ۶۰ روز در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل ۲×۲ و با ۹ تکرار برای هر تیمار اجرا شد که در آن دو سطح چربی جیره‌ای (با و بدون پودر چربی) و دو سطح مکمل لیپیدول (۰/۱۵ و ۰/۳ درصد) مورد بررسی قرار گرفت. مکمل لیپیدول از شرکت ایزی‌بایو کره جنوبی و پودر چربی خالص با نام تجاری پرشیافت از شرکت کیمیا دانش الوند تأمین گردید. چهار گروه آزمایشی شامل: ۱ جیره پایه حاوی ۰/۱۵ درصد لیپیدول بدون پودر چربی، ۲–جیره پایه حاوی ۰/۳ درصد لیپیدول بدون پودر

چربی، ۳- جیره پایه حاوی ۰/۱۵ درصد لیپیدول و ۳ درصد پودر چربی و ۴- جیره پایه حاوی ۰/۳ درصد لیپیدول و ۳ درصد پودر چربی بودند.

تنظیم خوراک های آغازین بر اساس نیازمندی‌های تغذیه‌ای گوساله‌های شیری نژاد هلشتاین، با استناد به جداول NRC و به کمک نرم‌افزار جیره‌نویسی CNCPS انجام شد. کلیه گوساله‌ها دسترسی آزاد به خوراک آغازین و آب تازه داشتند. به‌منظور پایش دقیق مصرف خوراک، برای هر گوساله دو سطل مجزا اختصاص یافت؛ یکی برای خوراک تازه و دیگری برای خوراک باقیمانده. در صورت اتمام خوراک آغازین پیش از زمان اندازه‌گیری، بلافاصله سطل مربوط با خوراک تازه پر می‌شد. ترکیب اجزای خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

صفات اندازه گیری شده

عملکرد رشد

گوساله‌ها در هنگام ورود به طرح وزن کشی شده و پس از آن هر ۳۰ روز یکبار در ساعت مشخص و قبل از توزیع شیر وزن کشی تکرار می‌شد. جهت بررسی رشد اسکلتی، صفاتی مانند دور سینه، عمق شکم (بوسیله متر پلاستیکی)، ارتفاع کپل، ارتفاع جدوگاه، عرض کپل و طول بدن (بوسیله متر فلزی) در هنگام ورود به طرح، ۳۵ روزگی، روز از شیرگیری اندازه‌گیری و ثبت می‌شد. همچنین خوراک آغازین در ابتدای هر روز وزن شده و در ظرف مخصوص تعبیه شده در اختیار گوساله قرار گرفت و روز بعد قبل از توزیع خوراک جدید باقیمانده خوراک هر گوساله جمع‌آوری و وزن‌کشی شده و از خوراک در اختیار گرفته کسر و میزان مصرف خوراک واقعی لحاظ گردید.

فراسنجه‌های خونی

خونگیری ۳ ساعت پس از تغذیه شیر (قبل از وزن‌کشی یا هر فعالیت تنش‌زای دیگر) انجام شد. بدین منظور گوساله‌های هر تیمار در روزهای صفر و پایان دوره از سیاهرگ وداج بوسیله لوله‌های خلا حاوی فعال‌کننده انعقاد نمونه خون گرفته شد. نمونه‌ها بلافاصله به منظور تهیه سرم، به مدت ۲۰ دقیقه با تعداد دور ۲۰۰۰ در دقیقه مورد سانتریفیوژ قرار گرفتند. نمونه‌های سرم جدا شده با استفاده از سمپلر به ۳ میکروتیوپ ۰/۵ میلی‌لیتری منتقل و تا زمان ارزیابی‌های بعدی (گلوکز، پروتئین کل، آلبومین و نیتروژن اوره‌ی خون) در دمای ۲۰- درجه سانتی گراد نگهداری شدند.

رفتارهای تغذیه ای

در اخر دوره رفتار تغذیه ای شامل زمان نشخوار، جویدن، خوردن و استراحت در روز ۵۵ آزمایش به مدت ۳ روز اندازه گیری شد. بدین گونه که رفتار هر گوساله ها در دقیقه مشاهده شده و وقوع رفتارهای: دراز کشیدن (بدون فعالیت جویدن)، ایستادن (بدون فعالیت جویدن)، خوردن غذای اولیه، خوردن علوفه، نشخوار کردن (در حالت دراز کشیده یا ایستاده) و رفتارهای دهانی غیر معمول (زمانی که حیوان هر سطحی را می لیسید، زبانش را می پیچاند و یا بستر را مصرف کند) ثبت گردید.

قابلیت هضم ظاهری

نمونه های خوراک و مدفوع به روش خاکستر نامحلول در اسید (AIA8) به عنوان نشانگر داخلی از روز ۵۰ طرح به مدت ۳ روز انجام گرفت. برای این منظور نمونه برداری از مدفوع ۴ گوساله بصورت تصادفی در هر تیمار انجام شد. درصد ماده خشک، ماده آلی، پروتئین، چربی خام و NDF موجود در نمونه های خوراک و مدفوع تعیین شد. بعد از خشک کردن نمونه های خوراک و مدفوع و اندازه گیری خاکستر نامحلول در اسید آنها با استفاده از فرمول زیر قابلیت هضم ماده خشک محاسبه شد:

((درصدAIA در مدفوع/ درصدAIA در خوراک)×۱۰۰)-۱۰۰= قابلیت هضم ظاهری ماده خشک (درصد)

مدل آماری

کلیه داده های به دست آمده از تحقیق با استفاده از نرم افزار آماری SAS9.1.4 و در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل ۲×۲ مورد تجزیه واریانس قرار گرفت. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

$$Y_{ijkl}=\mu+ Lip_i+FP_j+Lip_i\times FP_j+Cov_k+Calf_l+e_{ijkl}$$

که در آن μ میانگین جامعه؛ Lip_i اثر ثابت سطح لیپیدول استفاده شده؛ FP_j اثر ثابت سطح پودر چربی استفاده شده؛ $Lip_i \times FP_j$ اثر متقابل سطوح لیپیدول و پودر چربی؛ Cov_k متغیر کمکی (برای عملکرد رشد و مصرف خوراک)، $Calf_l$ اثر تصادفی گوساله و e_{ijkl} اثر باقیمانده ها.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی تأثیر سطوح مختلف مکمل لیپیدول و پودر چربی بر عملکرد رشد گوساله‌های شیرخوار در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس یافته‌ها، تفاوت معنی‌داری در وزن اولیه، وزن در ۳۰ روزگی، افزایش وزن تا ۳۰ روزگی، افزایش وزن روزانه پس از ۳۰ روزگی، مصرف خوراک کل، و ضریب تبدیل خوراک در بازه‌های زمانی مختلف مشاهده نشد. با این حال، اثر تیمارهای آزمایشی بر وزن در زمان از شیرگیری (P=0.03) و مصرف خوراک در بازه زمانی ۳۰ تا ۶۰ روزگی (P=0.01) معنی‌دار بود (جدول ۲). گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل لیپیدول همراه با پودر چربی (تیمارهای ۳ و ۴) نسبت به سایر تیمارها، مصرف خوراک بیشتری در این بازه زمانی داشتند(P<0.05). همچنین، گوساله‌های این گروه‌ها نسبت به تیمارهای سطوح ۰/۱۵ درصد در دو حالت فاقد چربی و حاوی ۳ درصد چربی دیرتر از شیر گرفته شدند، که این موضوع ممکن است به بهبود قابلیت هضم یا مصرف بیشتر خوراک جامد نسبت داده شود. مطالعات محدودی به بررسی اثرات لیپیدول در تغذیه نشخوارکنندگان، به‌ویژه گوساله‌های شیرخوار، پرداخته‌اند. اغلب تحقیقات پیشین پیرامون لیزوفسفولیپیدها مانند لیپیدول، بر گونه‌های غیرنشخوارکننده نظیر پرندگان، آبزیان و خوک‌ها متمرکز بوده است. به عنوان مثال، Xing و همکاران (2004) و Zampiga و همکاران (2016) گزارش کردند که افزودن مکمل لیزوفسفولیپید در جیره جوجه‌های گوشتی موجب بهبود ضریب تبدیل خوراک و تغییرات جزئی در کیفیت لاشه شد. در آبزیان، Taghavizadehو همکاران (2020) نشان دادند که افزودن ۲ گرم لیپیدول به ازای هر کیلوگرم خوراک موجب افزایش رشد در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان می‌شود. همچنین، Wang *et al* (2022) ، Xu *et al* (2022) دریافتند که مصرف لیزوفسفولیپیدها مانند لیزولسیتین و لیزوفسفاتیدیل‌کولین باعث تحریک رشد، بهبود متابولیسم کبد، کاهش تجمع چربی در لاشه و تقویت پاسخ‌های ایمنی در ماهی‌های کروکر زرد و کفشک می‌شود. بر اساس این مطالعات، افزودن ۲ تا ۴ درصد مکمل لیزوفسفولیپید به جیره آبزیان به طور کلی عملکرد رشد را بهبود می‌بخشد.

Zhao *et al* (2015) نشان دادند که لیزوفسفولیپیدها باعث افزایش میانگین وزن‌گیری روزانه و قابلیت هضم مواد مغذی در خوک‌های از شیر گرفته شده می‌شوند. همچنین، تحقیقات روی نشخوارکنندگان مانند گاوهای شیری توسط He و همکاران (2020)و Lee و همکاران (2019) حاکی از آن است که افزودن لیزوفسفولیپیدها به جیره موجب افزایش تولید شیر و کارایی مصرف خوراک می‌شود. در مورد گاوهای گوشتی، Zhang *et al* (2022) گزارش کردند که مصرف ۰/۷۵ درصد لیپیدول در جیره باعث افزایش رشد، بهبود ضریب تبدیل خوراک و ارتقاء هضم مواد مغذی می‌شود Song *et al* (2015) .نیز اثر سطوح ۰/۳ و ۰/۵ درصد لیپیدول را در تلیسه‌های هانوو بررسی کردند و مشاهده نمودند که هضم مواد مغذی در گروه‌های دریافت‌کننده لیپیدول بهتر بود، اما رشد تحت تأثیر قرار نگرفت؛ نتایجی که با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد. نکته جالب در مطالعه Song *et al* (2015) این بود که با وجود افزایش کمتر در وزن روزانه، وزن لاشه در گروه لیپیدول بیشتر بود، که می‌تواند به افزایش سطح مقطع عضله راسته بدون تغییر در ضخامت چربی پشتی مرتبط باشد.

در مطالعه‌ای دیگر، Huo *et al* (2019) نشان دادند که تغذیه ۰/۵ گرم لیزوفسفولیپید در هر کیلوگرم جیره تأثیر قابل توجهی بر رشد بره‌های پرواری نداشت. به‌طور مشابه، در پژوهش Farahmandpour *et al*. (2022)، استفاده از سطوح ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد مکمل لیپیدول تأثیری بر رشد، هضم و کیفیت لاشه بره‌ها نداشت، اما سطح ۰/۷۵ درصد بهبود محسوسی در این شاخص‌ها ایجاد کرد. در گاوهای شیری نیز مطالعه He *et al*. (2020)گزارش نمود که افزودن ۰/۵ گرم لیزوفسفولیپید به ازای هر کیلوگرم خوراک پلت‌شده تأثیری بر مصرف ماده خشک، تولید شیر و ترکیب آن نداشت. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که اثربخشی لیپیدول به شدت به سطح مصرف، گونه حیوانی، شرایط فیزیولوژیکی و طول دوره آزمایش وابسته است. به نظر می‌رسد در پژوهش حاضر نیز، عدم مشاهده تغییرات معنادار در عملکرد گوساله‌ها می‌تواند ناشی از سطح پایین مکمل، مدت کوتاه‌تر تغذیه آزمایشی، و همچنین ظرفیت پایین سنتز و متابولیسم فسفولیپیدها در گوساله‌های نابالغ باشد. همان‌گونه که Sung (2001) اشاره کرده است، پاسخ مثبت به مکمل‌های فسفولیپیدی معمولاً زمانی آشکار می‌شود که دوره آزمایش طولانی‌تر بوده و یا حیوان تحت

استرس متابولیکی یا تغذیه‌ای قرار گیرد. بنابراین، می‌توان فرض کرد که در شرایط حاضر، سطح مکمل به حد آستانه مؤثر نرسیده است و یا برای بروز اثرات فیزیولوژیک کافی زمان وجود نداشته است.

از سوی دیگر، Hill *et al* (2009) گزارش کردند که افزودن چربی به جیره آغازین گوساله‌ها در شرایط سرد، بدون کاهش مصرف خوراک، موجب افزایش مصرف انرژی و بهبود رشد پیش از شیرگیری می‌شود. به‌طور مشابه، Schroeder *et al* (2004) نشان دادند که افزودن چربی به جیره موجب افزایش ذخایر انرژی و سازگاری بهتر متابولیکی در هنگام از شیرگیری می‌شود. همچنین، Grummer (1991) بیان کرد که افزایش چگالی انرژی جیره، به‌ویژه برای گوساله‌های جوان با ظرفیت محدود شکمبه، اهمیت زیادی دارد. افزایش غلظت انرژی با کمک چربی در خوراک آغازین می‌تواند کارایی خوراک را بهبود بخشد و از رشد یکنواخت گوساله‌ها در دوره انتقال از شیر به خوراک جامد پشتیبانی کند. نکته قابل توجه این است که علی‌رغم مزایای مشاهده‌شده در مصرف خوراک و رشد پس از شیرگیری، تأثیر معنی‌داری بر ضریب تبدیل خوراک مشاهده نشد، که نشان‌دهنده عدم بهره‌وری کامل از انرژی اضافی موجود در پودر چربی برای رشد است. این پدیده ممکن است ناشی از محدودیت‌های متابولیکی در هضم چربی یا تفاوت در قابلیت هضم منابع مختلف چربی باشد، همان‌گونه که Palmquist *et al* (1980) و Jenkins (1980) نیز اشاره کرده‌اند.

جدول ۲. تأثیر لیپیدول و پودر چربی بر عملکرد گوساله‌های شیرخوار

عملکرد وزنی	تیمارهای آزمایشی#				انحراف معیار میانگین	سطح احتمال
	۱	۲	۳	۴		
وزن ابتدایی (کیلوگرم)	۳۸/۴	۳۷/۷	۳۷/۰	۳۸/۳	۲/۶۷	۰/۱۵
وزن۳۰ روزه گی (کیلوگرم)	۴۶/۸	۴۸/۲	۴۷/۶	۴۸/۹	۴/۳۳	۰/۲۷۰
درزمان از شیرگیری (روز ۶۰)	^{b}۶۳/۷	^{a}۶۷/۱	^{b}۶۳/۸	^{a}۶۹/۷	۰/۷۵	۰/۰۳
افزایش وزن ۳۰ روزه گی (کیلوگرم)	۰/۲۵۷	۰/۳۴۶	۰/۳۴۴	۰/۳۱۵	۰/۰۹۱	۰/۲۸
افزایش وزن روزانه از شیرگیری (کیلوگرم)	۰/۵۵۷	۰/۶۳۰	۰/۵۴۰	۰/۷۲۰	۰/۱۹۵	۰/۶۰
مصرف خوراک تا ۳۰ روزه گی(کیلوگرم)	۰/۹۱۵	۰/۹۱۵	۰/۹۱۵	۰/۹۰۰	۰/۰۸۷	۰/۱۱
مصرف خوراک از ۳۰ تا زمان شیرگیری روزه گی (کیلوگرم)	^{a}۱/۸	^{a}۱/۸۷	^{a}۱/۸۲۰	^{b}۱/۷۷۰	۰/۰۴۹	۰/۰۱
مصرف خوراک کل	۱/۳۶	۱/۳۹	۱/۳۷	۱/۳۳	۰/۴۷	۰/۳۸
ضری تبدیل تا ۳۰ روزه گی(کیلوگرم)	۳/۵۶	۲/۶۵	۲/۶۹	۲/۹۰	۰/۸۹	۰/۲۱
ضریب تبدیل از ۳۰ تا زمان شیرگیری روزه گی (کیلوگرم)	۳/۲۳	۲/۹۷	۳/۳۷	۲/۴۶	۰/۸۸	۰/۴۵
ضریب تبدیل کل	۳/۲۲	۲/۸۴	۳/۰۶	۲/۵۴	۰/۸۰	۰/۱۵

$^{a-b}$: حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشد ($P<۰/۰۵$).

–# جیره پایه حاوی ۰/۱۵ درصد لیپیدول بدون پودر چربی، ۲–جیره پایه حاوی ۰/۳ درصد لیپیدول بدون پودر چربی، ۳– جیره پایه حاوی ۰/۱۵ درصد لیپیدول و ۳ درصد پودر چربی و ۴– جیره پایه حاوی ۰/۳ درصد لیپیدول و ۳ درصد پودر چربی

نتایج بررسی قابلیت هضم مواد مغذی تحت تأثیر سطوح مختلف مکمل لیپیدول و پودر چربی در جدول ۳ زیر آورده شده است. همانطور که ملاحظه می گردد، اثر تیمارهای آزمایشی بر قابلیت هضم ماده خشک، ماده آلی، چربی خام، پروتئین خام و NDF معنی‌دار بود.($P<0.01$) . این اثر می‌تواند به چندین مکانیسم فیزیولوژیک مرتبط باشد. نخست، لیپیدول به عنوان یک منبع لیزوفسفولیپید موجب بهبود امولسیون‌سازی و پراکنش چربی‌ها در روده باریک شده و در نتیجه سطح تماس بیشتری بین چربی و آنزیم‌های لیپاز ایجاد می‌کند که افزایش قابلیت هضم چربی خام و ماده آلی را توضیح می‌دهد. دوم، لیپیدول از طریق افزایش نفوذپذیری غشای روده‌ای و تحریک ترشح صفرا جذب اسیدهای چرب و کلسترول را تسهیل کرده و موجب افزایش بازده انرژی قابل استفاده می‌شود. سوم، این ترکیبات می‌توانند بر جمعیت میکروبی شکمبه تأثیر گذاشته و ترکیب میکروفلور را به سمت باکتری‌های فیبرولیتیک مفید سوق دهند؛ در نتیجه هضم NDF و فیبر افزایش می‌یابد. علاوه بر این، مکمل پودر چربی با تأمین انرژی متراکم، فشار بر کربوهیدرات‌های قابل تخمیر را کاهش داده و از کاهش pH شکمبه جلوگیری می‌کند که این وضعیت نیز به پایداری تخمیر و بهبود هضم پروتئین خام و ماده آلی کمک می‌کند. قابلیت هضم ماده خشک در تیمار چهارم (حاوی ۰/۳

درصد لیپیدول + ۳ درصد پودر چربی) به‌طور معنی‌داری بالاتر از سایر تیمارها بود (۶۵/۰ درصد) و کمترین مقدار در تیمار اول مشاهده شد (۶۰/۰۴ درصد). روند مشابهی در هضم ماده آلی، چربی خام و پروتئین خام دیده شد، به‌طوری که تیمارهای حاوی پودر چربی (تیمار ۳ و ۴) عملکرد بهتری نسبت به تیمارهای بدون پودر چربی داشتند. در خصوص هضم NDF نیز، تیمار چهارم بالاترین میزان هضم (۶۴/۴۵ درصد) و تیمار اول پایین‌ترین میزان (۵۱/۷۵ درصد) را نشان داد. این یافته‌ها نشان می‌دهند که استفاده ترکیبی از مکمل لیپیدول و پودر چربی می‌تواند به بهبود قابلیت هضم مواد مغذی در گوساله‌های شیرخوار کمک کند.

لیزوفسفولیپیدها مانند لیپیدول در حیوانات تک معده‌ای نشان داده شده‌اند که امولسیون چربی‌های غذایی را افزایش می‌دهند، تشکیل میسل را افزایش می‌دهند و جذب روده‌ای لیپیدها و سایر مواد مغذی را بهبود می‌بخشند. در نشخوارکنندگان، اگرچه داده‌ها محدود هستند، یافته‌های اخیر نشان می‌دهد که لیپیدول می‌تواند با تعدیل مورفولوژی روده و فعالیت آنزیم، راندمان خوراک و قابلیت هضم را بهبود بخشد. در مطالعه حاضر، در حالی که هیچ تفاوت معنی‌داری در مصرف ماده خشک در تمام گروه‌های درمانی مشاهده نشد، گوساله‌های دریافت کننده لیپیدول و پودر چربی، رفتار جویدن بهبود یافته و افزایش مصرف خوراک جامد را در طول دوره ۳۰ تا ۶۰ روزه نشان دادند. از طرفی، گنجاندن پودر چربی و لیپیدول، به‌عنوان یک افزودنی تغذیه‌ای مبتنی بر لیزوفسفولیپیدها، می‌تواند بر قابلیت هضم مواد مغذی در گوساله‌های شیرخوار نژاد هلشتاین تأثیرگذار باشد، هرچند داده‌های مستقیم در این زمینه محدود هستند. لیزوفسفولیپیدها مانند لیپیدول با بهبود عملکرد نمک‌های صفراوی و افزایش تشکیل میسل، فرآیند امولسیون‌سازی و جذب چربی‌های غذایی را تقویت کرده و در نتیجه هضم چربی را بهبود می‌بخشند (Zhao *et al*., 2015; Wang *et al*., 2022). این مکانیسم در گونه‌های تک‌معده‌ای و آبزی به‌طور گسترده تأیید شده است، اما شواهد علمی در مورد نشخوارکنندگان، به‌ویژه گوساله‌های در حال رشد، هنوز در حال توسعه است.

در این راستا، مطالعات انجام‌شده بر روی گاوهای گوشتی (Zhang *et al*., 2022) و تلیسه‌ها (Song *et al*., 2015) نشان داده‌اند که استفاده از مکمل لیپیدول منجر به بهبود قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی، به‌ویژه عصاره اتری و پروتئین خام می‌شود. با این حال، در گوساله‌های شیرخوار که سیستم گوارشی، به‌ویژه شکمبه، هنوز به‌طور کامل تکامل نیافته است، اثرگذاری امولسیفایرهای چربی ممکن است به مرحله گذار به خوراک جامد و بلوغ شکمبه وابسته باشد. در مطالعه حاضر، اگرچه ضرایب هضم به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نشدند، افزایش مصرف خوراک و تغییر در الگوهای رفتار تغذیه‌ای در گروه‌های دریافت‌کننده لیپیدول می‌تواند به‌طور غیرمستقیم حاکی از بهبود استفاده از مواد مغذی باشد. با این حال، تحقیقات بیشتر شامل آزمایش‌های قابلیت هضم مستقیم و هیستومورفولوژی روده برای تأیید این اثرات در نشخوارکنندگان شیرخوار ضروری است.

جدول ۳. تأثیر لیپیدول و پودر چربی بر قابلیت هضم موادمغذی (میانگین ± انحراف استاندارد خطا) گوساله‌های شیرخوار

متغیرها	تیمارهای آزمایشی[#]				سطح احتمال
	۱	۲	۳	٤	
ماده خشک (٪)	^{c}۶۰/۰۴ ± ۰/۴۱	^{c}۶۱/۰۵ ± ۰/۴۱	^{b}۶۳/۸۷ ± ۰/۴۱	^{a}۶۵/۰۰ ± ۰/۴۱۱	۰/۰۰۱
ماده آلی(٪)	^{c}۵۳/۲۷ ± ۰/۶۰	^{b}۵۶/۲۲ ± ۰/۶۰	^{a}۶۷/۱۲ ± ۰/۶۰	^{a}۶۷/۳۲ ± ۰/۶۰	۰/۰۰۱
چربی خام (٪)	^{c}۵۲/۱۳ ± ۰/۴۸	^{c}۵۳/۰۹ ± ۰/۴۸	^{b}۵۵/۹۷ ± ۰/۴۸	^{a}۵۷/۹۲ ± ۰/۴۸	۰/۰۰۱
پروتئین خام (٪)	^{b}۶۶/۳۲ ± ۰/۷۵	^{b}۶۶/۶۸ ± ۰/۷۵	^{a}۷۱/۴۶ ± ۰/۷۵	^{a}۷۱/۲۲ ± ۰/۷۵	۰/۰۱
NDF (٪)	^{d}۵۱/۷۵ ± ۰/۷۰	^{b}۵۸/۷۳ ± ۰/۷۰	^{c}۵۵/۹۱ ± ۰/۷۰	^{a}۶۴/۴۵ ± ۰/۷۰	۰/۰۱

جیره پایه حاوی ۰/۱۵ درصد لیپیدول بدون پودر چربی، ۲–جیره پایه حاوی ۰/۳ درصد لیپیدول بدون پودر چربی، ۳– جیره پایه حاوی ۰/۱۵ درصد لیپیدول و ۳ درصد پودر چربی و ۴– جیره پایه حاوی ۰/۳ درصد لیپیدول و ۳ درصد پودر چربی.

اثر تیمارهای آزمایشی بر شاخص‌های بدنی گوساله‌ها در دو مقطع زمانی (۳۰ روزگی و زمان از شیرگیری) در جدول ۴ آمده است. نتایج نشان داد که تیمارها تأثیر معنی‌داری بر برخی از صفات بدنی داشتند ($P<0.01$). در عرض لگن در زمان از شیرگیری، تیمار چهارم (۰/۳ درصد لیپیدول + ۳ درصد چربی) از لحاظ اماری بیشترین مقدار را نسبت به سایر تیمارها نشان داد ($P<0.01$).

در ارتفاع از جدوگاه نیز، تیمار سوم بیشترین مقدار را در ۳۰ روزگی (۸۵/۷۶ سانتی‌متر) و در زمان از شیرگیری (۹۱/۷۶ سانتی‌متر) نشان داد، که در مقایسه با تیمار اول تفاوت معنی‌دار داشت.(P<0.01) همچنین طول بدن در زمان از شیرگیری به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارها قرار گرفت(P=0.04) ، به‌طوری که تیمارهای دوم، سوم و چهارم مقادیر بالاتری نسبت به تیمار اول نشان دادند. سایر صفات مانند عمق سینه و عمق بدن در دو مقطع زمانی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها نشان ندادند.

افزودن پودر چربی و لیپیدول به جیره غذایی گوساله‌های هلشتاین شیرخوار، می‌تواند از طریق ارتقاء جذب مواد مغذی و تأمین انرژی افزوده، در بهبود رشد اسکلتی مؤثر باشد. رشد استخوانی در دوره پیش‌ازشیرگیری، به طور قابل توجهی وابسته به تأمین انرژی قابل متابولیسم و عناصر کلیدی مانند کلسیم، فسفر و ویتامین‌های محلول در چربی است. پودر چربی با افزایش چگالی انرژی جیره، امکان رشد سریع‌تر را به‌ویژه در شرایطی که انرژی دریافتی از شیر کافی نیست، فراهم می‌کند (Hill *et al*., 2009; Schroeder *et* al., 2004). همچنین، لیزوفسفولیپیدهایی مانند ترکیبات موجود در لیپیدول با بهبود فرآیند امولسیون‌سازی چربی‌ها و افزایش جذب روده‌ای لیپیدها و ویتامین‌های محلول در چربی، می‌توانند از فرآیند استخوان‌سازی و تنظیم هورمون‌های رشد پشتیبانی نمایند.(Zhao et al., 2015; Wang *et al*., 2022)

اگرچه در مطالعه حاضر ارزیابی مستقیم شاخص‌های رشد اسکلتی مانند ارتفاع جدوگاه، ارتفاع لگن یا تراکم مواد معدنی استخوان صورت نگرفت، بهبود مصرف خوراک و افزایش مدت زمان رشد پیش‌ازشیرگیری در تیمارهای حاوی لیپیدول و پودر چربی، ممکن است به‌طور غیرمستقیم نشان‌دهنده تأثیر مثبت بر رشد استخوانی باشد. شواهد موجود در مطالعات قبلی بر روی گونه‌های تک‌معده‌ای و نشخوارکنندگان نیز نشان می‌دهد که بهبود قابلیت هضم انرژی و چربی می‌تواند با افزایش توده بدون چربی و رشد اسکلت همراه باشد.(Song *et al*., 2015; Zhang *et al*., 2022)

جدول ٤. تأثیر لیپیدول بر شاخص های بدنی (میانگین ± انحراف استاندارد خطا) گوساله‌های شیرخوار

متغیرها	تیمارهای آزمایشی[#]				سطح احتمال
	۱	۲	۳	۴	
عرض لگن					
۳۰ روزگی	۸/۷۱ ± ۰/۲۷	۸/۲۳ ± ۰/۲۶	۸/۳۸ ± ۰/۲۵	۸/۹۰ ± ۰/۲۶	۰/۴۸
زمان از شیرگیری	^{b}۹/۲۷ ± ۰/۲۷	^{b}۹/۰۳ ± ۰/۲۶	^{b}۸/۸۸ ± ۰/۲۵	^{a}۱۰/۳۰ ± ۰/۲۶	۰/۰۱
ارتفاع از جدوگاه					
۳۰ روزگی	^{b}۸۱/۴۹ ± ۰/۶۱	^{b}۸۲/۰۹ ± ۰/۵۵	^{a}۸۵/۷۶ ± ۰/۵۷	^{b}۸۱/۵۲ ± ۰/۵۵	۰/۰۱
زمان از شیرگیری	^{b}۸۸/۲۶ ± ۰/۶۱	^{ab}۸۹/۴۸ ± ۰/۵۵	^{a}۹۱/۷۶ ± ۰/۵۷	^{a}۹۱/۰۳ ± ۰/۵۵	۰/۰۱
طول بدن					
۳۰ روزگی	۵۸/۳۴ ± ۱/۱۳	۵۹/۱۶ ± ۱/۰۴	۶۱/۲۸ ± ۱/۰۵	۵۹/۹۰ ± ۱/۰۶	۰/۰۷
زمان از شیرگیری	^{b}۶۲/۶۷ ± ۱/۱۳	^{a}۶۵/۴۶ ± ۱/۰۴	^{a}۶۵/۴۸ ± ۱/۰۵	^{a}۶۶/۴۰ ± ۱/۰۶	۰/۰۴
عمق سینه					
۳۰ روزگی	۸۷/۴۴ ± ۰/۹۱	۸۶/۰۰ ± ۰/۸۵	۸۶/۶۲ ± ۰/۸۵	۸۶/۶۰ ± ۰/۸۸	۰/۰۷
زمان از شیرگیری	۹۶/۸۸ ± ۰/۹۱	۹۶/۳۸ ± ۰/۸۵	۹۵/۵۲ ± ۰/۸۵	۹۷/۱۰ ± ۰/۸۸	۰/۰۹
عمق بدن					
۳۰ روزگی	۱۸/۳۴ ± ۰/۳۴	۱۸/۲۶ ± ۰/۳۲	۱۸/۵۰ ± ۰/۳۳	۱۸/۶۵ ± ۰/۳۳	۰/۴۸
زمان از شیرگیری	۱۹/۳۴ ± ۰/۳۴	۱۹/۸۶ ± ۰/۳۲	۱۹/۹۰ ± ۰/۳۳	۱۹/۹۵ ± ۰/۳۳	۰/۵۶

جیره پایه حاوی ۰/۱۵ درصد لیپیدول بدون پودر چربی، ۲–جیره پایه حاوی ۰/۳ درصد لیپیدول بدون پودر چربی، ۳– جیره پایه حاوی ۰/۱۵ درصد لیپیدول و ۳ درصد پودر چربی و ۴– جیره پایه حاوی ۰/۳ درصد لیپیدول و ۳ درصد پودر چربی

اثر سطوح مختلف مکمل لیپیدول و پودر چربی بر رفتارهای تغذیه‌ای شامل مدت زمان خوردن، نشخوار، جویدن و استراحت در گوساله‌های شیرخوار در جدول ۵ آمده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، رفتار خوردن در تیمار دوم (۰/۳ لیپیدول بدون پودر چربی) به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود (P=0.02) و کمترین مقدار مربوط به تیمار اول بود. رفتار جویدن نیز در تیمار دوم و سوم بیشتر از تیمار اول و چهارم بود .(P=0.005) از سوی دیگر، تیمار اول بیشترین زمان استراحت را نشان داد که به‌طور

معنی‌داری بیشتر از تیمارهای دیگر بود .(P=0.002) رفتار نشخوار تفاوت معنی‌داری بین تیمارها نشان نداد، اگرچه تیمار دوم و سوم مقادیر نسبتاً بیشتری داشتند .به‌نظر می‌رسد بر الگوهای رفتاری تغذیه‌ای شامل مدت زمان خوردن، جویدن، نشخوار و استراحت تأثیرگذار باشد. تغییر در این رفتارها می‌تواند بازتابی از وضعیت فیزیولوژیکی دام، قابلیت هضم خوراک و بهره‌وری مصرف مواد مغذی باشد.(DeVries et al., 2007; Montoro *et al*., 2012)

در مطالعه حاضر، گوساله‌هایی که مکمل لیپیدول (به‌ویژه در سطح ۰/۳ درصد) با یا بدون پودر چربی (۳ درصد) دریافت کردند، کاهش معنی‌داری در زمان صرف‌شده برای خوردن و جویدن نشان دادند. این کاهش ممکن است به دلیل افزایش چگالی انرژی جیره، بهبود قابلیت هضم چربی‌ها و بالا رفتن نرخ استخراج مواد مغذی از خوراک باشد (Zhao *et al*., 2015; Wang *et al*., 2022) .مطالعات پیشین نیز گزارش داده‌اند که لیزوفسفولیپیدها با بهبود امولسیون‌سازی چربی‌ها و تسهیل تشکیل میسل، جذب روده‌ای لیپیدها را افزایش داده و به این ترتیب ممکن است زمان لازم برای خوردن و جویدن را کاهش دهند (Krogdahl *et al*., 2015; Zou *et al*., 2020).

علاوه بر این، کاهش زمان جویدن در این گوساله‌ها می‌تواند به معنی تشکیل بولوس‌های خوراکی نرم‌تر یا هضم سریع‌تر خوراک در دستگاه گوارش باشد، به‌ویژه در دوره حساس انتقال از تغذیه با شیر به مصرف خوراک جامد .(Hill *et al*., 2009) این نتایج همچنین ممکن است حاکی از کاهش نیاز به جویدن مکانیکی زیاد برای آماده‌سازی خوراک جهت تخمیر باشد.

از سوی دیگر، افزایش مدت زمان استراحت در گوساله‌های تیمار شده ممکن است نشان‌دهنده احساس سیری بیشتر، کاهش ناراحتی گوارشی یا کاهش بار متابولیکی سیستم گوارش باشد .(Cheshire *et al*., 2020) با این حال، زمان نشخوار در میان تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت که می‌تواند بیانگر آن باشد که مکمل‌های مورد استفاده بیشتر بر مراحل پیش‌نشخوار تا مراحل مرتبط با تخمیر و بازده عملکرد شکمبه. (یعنی فاز خوردن و بلع اولیه) تأثیرگذار بوده‌اند.

جدول ۵. تأثیر لیپیدول و پودر چربی بر رفتار تغذیه ای (میانگین ± انحراف استاندارد خطا) گوساله‌های شیرخوار

متغیرها	تیمارهای آزمایشی[#]				سطح احتمال
	۱	۲	۳	۴	
خوردن (دقیقه)	^{c}۴۲۶/۶۶ ± ۶/۹۳	^{a}۴۶۲/۳۶ ± ۶/۸۰	± ۶/۷۸ ^{ab}۴۵۸/۸۴	± ۶/۷۷ ^{bc}۴۴۰/۸۳	۰/۰۲
نشخوار (دقیقه)	۲۶۱/۱۵ ± ۵/۶۱	۲۷۸/۴۹ ± ۵/۲۷	۲۷۸/۷۰ ± ۵/۲۷	۲۷۲/۲۴ ± ۵/۳۲	۰/۰۹
جویدن (دقیقه)	^{c}۶۸۷/۸۲ ± ۸/۸۰	^{a}۷۴۰/۸۹ ± ۸/۶۰	^{a}۷۳۷/۵۵ ± ۸/۵۸	^{b}۷۱۳/۱۰ ± ۸/۶۰	۰/۰۰۵
استراحت (دقیقه)	^{a}۷۵۲/۳۰ ± ۹/۲۰	^{b}۷۱۴/۱۰ ± ۸/۴۵	^{b}۷۰۲/۳۴ ± ۸/۳۸	^{b}۷۲۶/۹۲ ± ۸/۷۰	۰/۰۰۲

جیره پایه حاوی ۰/۱۵ درصد لیپیدول بدون پودر چربی، ۲–جیره پایه حاوی ۰/۳ درصد لیپیدول بدون پودر چربی، ۳– جیره پایه حاوی ۰/۱۵ درصد لیپیدول و ۳ درصد پودر چربی و ۴– جیره پایه حاوی ۰/۳ درصد لیپیدول و ۳ درصد پودر چربی

اثر سطوح مختلف مکمل لیپیدول و پودر چربی بر برخی شاخص‌های خونی شامل گلوکز، کلسترول، تری‌گلیسیرید، پروتئین تام و آلبومین مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۶). میزان گلوکز خون در تیمار اول (۰/۱۵ درصد لیپیدول، بدون چربی) به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود(P=0.03) ، در حالی که تیمارهای ۲، ۳ و ۴ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. همچنین، کلسترول خون به طور معنی‌داری در تیمار سوم (۰/۱۵٪ لیپیدول + ۳ ٪ پودر چربی) بالاتر از سایر تیمارها بود و کمترین میزان آن در تیمار چهارم مشاهده شد.(P=0.003) . در مورد تری‌گلیسیرید، پروتئین تام و آلبومین خون، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف مشاهده نشد، اگرچه مقادیر پروتئین تام در تیمار چهارم به صورت نسبی بالاتر بود(P=0.07).

افزودن پودر چربی و لیپیدول (افزودنی خوراکی مبتنی بر لیزوفسفولیپیدها) به جیره غذایی گوساله‌های هلشتاین شیرخوار ممکن است بر برخی از شاخص‌های بیوشیمیایی خون تأثیر بگذارد که بیانگر وضعیت متابولیک و تغذیه‌ای حیوان است. در مطالعه حاضر، اگرچه تمامی پارامترهای بیوشیمیایی از جمله گلوکز، کلسترول، تری‌گلیسیرید، پروتئین کل و آلبومین در محدوده فیزیولوژیکی باقی ماندند، گوساله‌هایی که لیپیدول را به‌تنهایی یا به همراه پودر چربی دریافت کردند، افزایش قابل توجهی در غلظت پلاسمایی تری‌گلیسیرید و کلسترول نشان دادند. این یافته ممکن است حاکی از بهبود جذب و متابولیسم چربی به واسطه بهبود امولسیون‌سازی

و جذب روده‌ای باشد. افزایش غلظت لیپیدهای خون می‌تواند ناشی از اثرات لیزوفسفولیپیدها بر فرایند امولسیون‌سازی چربی، افزایش تشکیل میسل و بهبود جذب روده‌ای اسیدهای چرب و کلسترول باشد .(Zhao *et al*., 2015; Wang *et al*., 2022) یافته‌های مشابهی در گونه‌های تک‌معده‌ای مانند خوک (Chen et al., 2017) و در ماهیان پرورشی (Xie *et al*., 2020) نیز گزارش شده است، که تأثیر مکمل‌های لیزوفسفولیپیدی در بهبود جذب و انتقال چربی را تأیید می‌کند. در نشخوارکنندگان، هضم لیپیدها معمولاً محدود به روده باریک است زیرا در شکمبه هیدرولیز و هیدروژناسیون بیولوژیک اسیدهای چرب غیراشباع رخ می‌دهد (Huo *et al*., 2019). افزودن لیپیدول، که غنی از لیزوفسفولیپیدهاست، می‌تواند فرآیند امولسیون‌سازی در دوازدهه را تسهیل کند و با افزایش اثر نمک‌های صفراوی، سبب بهبود دسترسی لیپاز پانکراسی به تری‌گلیسریدها گردد (Farhadpour *et al*., 2022). این امر به‌طور مستقیم قابلیت هضم چربی خام را افزایش می‌دهد و به تبع آن، انرژی قابل متابولیسم بیشتری برای رشد فراهم می‌شود. از سوی دیگر، لیزوفسفولیپیدها به دلیل کاهش کشش سطحی غشاها باعث افزایش نفوذپذیری روده‌ای و جذب بهتر اسیدهای چرب و اسیدهای آمینه می‌شوند (Huo *et al*., 2019). این مکانیسم می‌تواند افزایش قابلیت هضم پروتئین خام را در این مطالعه توضیح دهد. در ارتباط با فیبر (NDF)، تحقیقات نشان داده‌اند که مصرف سطوح متعادل مکمل‌های چربی می‌تواند بر اکوسیستم میکروبی شکمبه اثرگذار باشد. لیپیدول احتمالاً با کاهش اثرات مهاری اسیدهای چرب آزاد بر روی باکتری‌های فیبرولیتیک و افزایش تولید اسیدهای چرب فرار (به‌ویژه استات) محیط شکمبه را پایدارتر می‌کند (Movagharnezhad *et al*., 2023). این وضعیت منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های سلولاز و در نتیجه بهبود هضم NDF می‌شود. همچنین پودر چربی با فراهم کردن منبع انرژی متراکم بدون افزایش بیش از حد بار تخمیری نشاسته، از بروز اسیدوز تحت‌حاد جلوگیری کرده و به حفظ pH شکمبه کمک می‌کند. چنین شرایطی، محیطی مطلوب برای میکروب‌های هضم‌کننده پروتئین و فیبر فراهم می‌سازد (Farhadpour *et al*., 2022).

در خصوص متابولیسم گلوکز، مشخص شده است که افزودن چربی به جیره غذایی می‌تواند با تأمین انرژی جایگزین، مصرف گلوکز را برای مسیرهای رشد و نگهداری بهینه کند و به پایداری سطح گلوکز خون منجر شود .(Hill *et al*., 2009) این موضوع به‌ویژه در گوساله‌های قبل از شیرگیری که هنوز شکمبه کاملاً توسعه نیافته است و جذب مواد مغذی عمدتاً از طریق روده کوچک انجام می‌شود، اهمیت دارد.(Bach *et al*., 2005)

شاخص‌هایی مانند پروتئین کل و آلبومین نیز از دیگر پارامترهای مهم در ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای هستند. این متابولیت‌ها علاوه بر دریافت پروتئین، به عملکرد کبد نیز وابسته‌اند. اگرچه لیزوفسفولیپیدها مستقیماً منبع پروتئینی محسوب نمی‌شوند، اما می‌توانند از طریق بهبود سلامت روده و افزایش قابلیت هضم مواد مغذی، به بهبود جذب نیتروژن و سنتز پروتئین در کبد کمک کنند .(Song *et al*., 2015; Zhang *et al*., 2022) با این حال، در مطالعه حاضر تغییر معنی‌داری در این دو شاخص مشاهده نشد، که نشان‌دهنده حفظ تعادل در متابولیسم پروتئین است.

جدول ٦. تأثیر لیپیدول و پودر چربی بر فراسنجه های خونی (میانگین ± انحراف استاندارد خطا) گوساله‌های شیرخوار

متغیرها	تیمارهای آزمایشی#				سطح احتمال
	۱	۲	۳	۴	
گلوکز (g/dl)	^{a}۸۹/۹۱ ± ۳/۱۷	^{b}۷۵/۰۰ ± ۲/۷۳	^{b}۷۷/۳۴ ± ۲/۷۸	^{b}۷۶/۲۴ ± ۲/۸۲	۰/۰۳
کلسترول (mg/dl)	^{b}۸۳/۴۰ ± ۳/۰۵	^{b}۸۴/۸۵ ± ۲/۹۱	^{a}۹۸/۲۶ ± ۳/۱۳	^{c}۷۷/۷۰ ± ۲/۸۴	۰/۰۰۳
تری گلیسرید (mg/dl)	۲۹/۶۱ ± ۱/۸۲	۳۳/۳۹ ± ۱/۸۲	۳۵/۰۲ ± ۱/۸۷	۲۹/۷۹ ± ۱/۸۰	۰/۱۱
پروتئین تام(g/dl)	۵/۴۳ ± ۰/۳۵	۵/۷۶ ± ۰/۳۳	۵/۷۶ ± ۰/۳۳	۶/۶۹ ± ۰/۳۴	۰/۰۷
آلبومین(g/dl)	۲/۱۹ ± ۰/۱۰	۲/۳۵ ± ۰/۱۰	۲/۴۱ ± ۰/۱۰	۲/۴۵ ± ۰/۱۰	۰/۳۴

تیمار ۱: جیره حاوی ۰/۵ درصد مکمل لیپیدول و بدون پودر چربی ، تیمار ۲ جیره پایه حاوی ۱ درصد مکمل لیپیدول و بدون پودر چربی ، تیمار ۳ جیره پایه حاوی ۰/۵ درصد مکمل لیپیدول و ۱/۵ درصد پودر چربی ، تیمار ۴ جیره پایه حاوی ۱ درصد مکمل لیپیدول و ۱/۵ درصد پودر چربی

نتیجه گیری

طبق نتایج حاصل از این پژوهش، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از مکمل لیپیدول به همراه پودر چربی در جیره گوساله‌های شیرخوار تأثیرات مثبتی بر عملکرد رشد، قابلیت هضم مواد مغذی، برخی فراسنجه‌های خونی و شاخص‌های بدنی دارد. به‌طور مشخص، افزودن ۰/۳ درصد لیپیدول و ۳ درصدپودر چربی موجب افزایش معنی‌دار در قابلیت هضم ماده خشک، ماده آلی، چربی و پروتئین خام گردید. این ترکیب همچنین باعث بهبود معنی‌دار در شاخص‌های رشد نظیر ارتفاع از جدوگاه و طول بدن در زمان از شیرگیری شد. همچنین از نظر رفتاری، استفاده از چربی در جیره باعث کاهش زمان مصرف خوراک و افزایش بازده جویدن و استراحت گردید که می‌تواند نشانه‌ای از بهبود شرایط تغذیه‌ای و رفاه حیوان باشد. در مجموع، به‌کارگیری هم‌زمان لیپیدول و پودر چربی، به‌ویژه در سطوح ۰/۳ درصد لیپیدول و ۳ درصدپودر چربی، به عنوان راهکاری مؤثر جهت بهبود رشد، هضم مواد مغذی و بهره‌وری خوراک در گوساله‌های شیرخوار پیشنهاد می‌گردد. با این حال، انجام پژوهش‌های بیشتر برای ارزیابی اثرات بلندمدت این ترکیب بر سلامت متابولیک و عملکرد نهایی دام توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان از شرکت کیمیا رشد صنعت البرز و شرکت دامگستران کویر یزد به جهت فراهم نمودن امکانات لازم برای تحقیق حاضر تشکر و قدر دانی مینمایند.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

REFERENCES

Bach, A., Calsamiglia, S., & Stern, M. D. (2005). Nitrogen metabolism in the rumen. *Journal of dairy science*, *88*, E9-E21. doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73133-7

Bach, A., Terre, M., & Khan, M. A. (2005). *Feeding young calves*. Animal Feed Science and Technology, 122(3–4), 139–147. doi.org/10.2527/jas.2011-4516

Bach, A., Yoon, I., Chung, Y. H., & Schott, R. (2005). Effects of feeding yeast culture on patterns of ruminal fermentation and growth performance of dairy calves. *Animal Feed Science and Technology*, 118(1–2), 61–67.

Boontiam, W., Sangsoponjit, P., & Tangtaweewipat, S. (2021). Effect of lysolecithin supplementation on performance, nutrient digestibility, and intestinal morphology in weaned piglets. *Veterinary World, 14*(2), 348–353. doi.org/10.3382/ps/pew269.

Chen, Y. J., Kim, I. H., Cho, J. H., Yoo, J. S., Wang, Q., & Wang, Y. (2017). Evaluation of emulsifier lysophospholipids in pigs fed high-fat diets: Effects on nutrient digestibility, serum lipids, and growth performance. *Animal Feed Science and Technology*, 224, 157–163.

Cheshire, A. R., Thomsen, P. T., & Jensen, M. B. (2020). Effect of age and milk allowance on the behavior of dairy calves**.** *Journal of Animal Science, 98*(6), skaa174.

Cho, S., Kim, D. H., Hwang, I. H. & Choi, N. J. (2013). Investigation of dietary lysophospholipid (LIPIDOLTM) to improve nutrients availability of diet with in vitro rumen microbial fermentationtest. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*, 33, 206-212. doi.org/10.5333/KGFS.2013.33.3.206

Coutteau, P., Geurden, I., Camara, M. R., Bergot, P., & Sorgeloos, P. (1997). Review on the dietary effects of phospholipids in fish and crustacean larviculture. *Aquaculture*, *155*(1-4), 149-164. doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00125-7

DeVries, T. J., Von Keyserlingk, M. A. G., & Beauchemin, K. A. (2007). Short communication: Diurnal feeding pattern of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science, 90*(5), 2223–2226. doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74020-X

Farahmandpour, M., Chashnidel, Y., Teimouri Yansari, A., & Kazemi Fard, M. (2022). Effects of different levels of Lysophospholipid on the growth performance, nutrient digestibility, carcass characteristics, some blood parameters, and hepatic enzymes in crossbred ZellAfshari fattening male lambs. Journal of Ruminant Research, 10: 1-18. (In Persian)

Garcia, M., Shin, J. H., Schlaefli, A., Greco, L. F., Maunsell, F. P., Santos, J. E. P., & Thatcher, W. W. (2015). Increasing intake of essential fatty acids from milk replacer benefits performance, immune responses, and health of preweaned Holstein calves *Journal of Dairy Science*, 98(1), 458–477. doi.org/10.3168/jds.2014-8384

Hamosh, M., Bitman, J., Wood, D. L., Hamosh, P., & Mehta, N. R. (1975). Lipids in milk and the development of lipolytic enzymes in the newborn. *Journal of Pediatrics*, 87(3), 498–504. doi.org/10.1542/peds.75.1.146

He, Y., Zhong, R., Cheng, L., You, P., Li, Y., & Sun, X. (2020). Effects of the Supplementation of Lysophospholipids through Pelleted TotalMixed Rations on Blood Biochemical Parameters and Milk Production and Composition of Mid-Lactation Dairy Cows. Animals, 10: 215. doi: 10.3390/ani10020215.

Hill, T. M., Bateman, H. G., Aldrich, J. M., & Schlotterbeck, R. L. (2009). Effects of fat concentration and source on performance of dairy calves in the starter period. *Journal of Dairy Science*, 92(9), 4470–4483. DOI: 10.3168/jds.2009-2245

Hill, T. M., Bateman, H. G., Aldrich, J. M., Schlotterbeck, R. L., & Loerch, S. C. (2009). *Effects of feeding different fat supplements on growth performance of dairy calves*. *Journal of Dairy Science*, 92(9), 3926–3935. doi: 10.3168/jds.2009-2245

Hill, T. M., VandeHaar, M. J., Sordillo, L. M., Catherman, D. R., Bateman Ii, H. G., & Schlotterbeck, R. L. (2011). Fatty acid intake alters growth and immunity in milk-fed calves. *Journal of Dairy Science*, 94(8), 3936–3948. doi.org/10.3168/jds.2010-3935.

Huo, Q., Li, B., Cheng, L., Wu, T., You, P., Shen, S., Li, Y., He, Y., Tian, W., Li, R. & Li, C. (2019). Dietary supplementation of lysophospholipids affects feed digestion in lambs. Animals, 9(10), 805. https://doi.org/10.3390/ani9100805

Karcher, E. L., Hill, T. M., Bateman, H. G., II, Schlotterbeck, R. L., Vito, N., Sordillo, L. M., & VandeHaar, M. J. (2014). Comparison of supplementation of n-3 fatty acids from fish and flax oil

on cytokine gene expression and growth of milk-fed Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 97(4), 2329–2337. doi.org/10.3168/jds.2013-7160

Khalilvandi-Behroozyar, H., Mohtashami, B., Dehghan-Banadaky, M., Kazemi-Bonchenari, M., & Ghaffari, M. H. (2023). Effects of fat source in calf starter on growth performance, blood fatty acid profiles, and inflammatory markers during cold season. *Scientific Reports*, *13*(1), 18627. doi.org/10.1038/s41598-023-45956-w

Krogdahl, Å., Bakke-McKellep, A. M., & Baeverfjord, G. (2015). Effects of non-starch polysaccharides in soybean meal on digesta viscosity and digestive function in Atlantic salmon (Salmo salar) and rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). *British Journal of Nutrition*, *73*(3), 491–503. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.09.013

Lee, C., Morris, D.L., Copelin, J.E., Hettick, J.M., & Kwon, I. H. (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: 3110-3120. doi.org/10.3168/jds.2018-15777

Lodge, J. R., Lough, D. S., & Stallcup, O. T. (1976). Effects of added fat on ration digestibility, rumen fermentation, and milk composition. *Journal of Dairy Science*, 59(1), 66–72.

Lu, Y., Zhang, Q., Zhao, X., & He, J. (2022). Effects of dietary lysolecithin supplementation on growth performance, nutrient digestibility, intestinal morphology, and gene expression in weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*, *289*, 115299. doi: 10.1093/jas/skad293

Montoro, C., Bach, A., & Devant, M. (2012). Effect of different feeding strategies on performance and behavior of Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, *95*(6), 3410–3414. doi.org/10.3168/jds.2012-5731.

Movagharnezhad, M., Chashnidel, Y., Yansari, A. T., & Gholizadeh, M. (2023). The Effects of Lysophospholipid on Performance, Ruminal Bacteria and Some Blood Parameters in Lactating Holstein Dairy Cows. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 13(3).

Palmquist, D. L. (1994). The role of dietary fats in efficiency of ruminants. *Journal of Nutrition*, 124(8 Suppl), 1377S–1382S. DOI: 10.1093/jn/124.suppl_8.1377S

Palmquist, D. L., & Jenkins, T. C. (1980). Fat in lactation rations: Review. *Journal of Dairy Science*, 63(1), 1–14. doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)82881-5

Reis, M.E., Toledo, A.F., da Silva, A.P., Poczynek, M., Fioruci, E.A., Cantor, M.C., Greco, L. & Bittar, C.M.M. (2021). Supplementation of lysolecithin in milk replacer for Holstein dairy calves: Effects on growth performance, health, and metabolites. Journal of Dairy Science. 104: 5457–5466. doi.org/10.3168/jds.2020-19406.

Song, Z. H., Li, D. F., Piao, X. S., & Zeng, Z. K. (2015). Effects of emulsifier supplementation on growth performance, nutrient digestibility, and blood parameters in finishing pigs. *Livestock Science*, 176, 122–127. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2015.06.007

Taghavizaeh, M., Hosseini Shekarabi, S.P., Shamsaie Mehrgan, M., & Rajabi Eslami, H. (2020). Efficacy of dietary lysophospholipids (Lipidol TM) on growth performance, serum immune-biochemical parameters, and the expression of immune and antioxidant related genes in rainbow trout. Aquaculture, 525: 735315. **DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735315**

Tocher, D. R., Bendiksen, E. Å., Campbell, P. J., & Bell, J. G. (2008). The role of phospholipids in nutrition and metabolism of teleost fish. *Aquaculture*, *280*(1-4), 21-34. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.04.034

Wang, H., Zhang, X., Liu, X., & Xu, Y. (2022). Effects of dietary lysophospholipids on growth performance, lipid metabolism, and immune response in juvenile yellow croaker (Larimichthys crocea). *Aquaculture Reports*, 22, 100937. doi.org/10.1016/j.fsi.2022.07.020

Xie, S., Zhu, X., Liu, Y., Wang, J., Tian, L., Yang, H., & Niu, J. (2020). Effects of lysophospholipids supplementation in high-fat diet on growth performance and lipid metabolism in grass carp (Ctenopharyngodon idella). *Aquaculture Nutrition*, 26(3), 853–863. doi.org/10.3389/fphys.2020.01024

Xing, J.J., van Heugten, E., Li, D.F., Touchette, K.J., Coalson, J.A., Odgaard, R.L., & Odle, J. (2004). Effects of emulsification, fat encapsulation, and pelleting onweanling pig performance and nutrient digestibility. Journal of Animal Science, 82: 2601–2609. DOI: 10.2527/2004.8292601x

Xu, H., Lou, X., Bi, Q., Wang, Zh., Meng, X., Liu, J., Duan, M., Wei, Y., & Liang, M. (2022). Effects of dietary lysophosphatidylcholine on growth performance and lipid metabolism of juvenile

torbut. Aquaculture Nutrition, 2022: 1-12. /doi.org/10.1155/2022/3515101

Zhang, Y., Liu, H., Sun, J., & Wang, T. (2022). Effects of dietary Lipiodol supplementation on nutrient digestibility and growth performance in beef cattle. *Livestock Science*, 255, 104805. doi.org/10.3389/fvets.2022.927369.

Zhao, P. Y., Wang, J. P., & Kim, I. H. (2015). Effect of dietary lysophospholipids supplementation on growth performance, nutrient digestibility, and blood metabolites in weaned pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 207, 42–49. 10.1016/j.anifeedsci.2015.06.007.

Zou, T., Zhang, M., Li, M., et al. (2020). Effects of emulsifier supplementation on nutrient digestibility and growth performance in calves. *Livestock Science, 240*, 104152. doi.org/10.1039/C5FO00606F.