Vol 28, No. 1, Spring 2026

University of Tehran Press

Journal of Animal Production

Online ISSN: 2382-994X

Homepage: https://jap.ut.ac.ir/

Studying the effect of using Lysophospholipids (Lipidol) and fat powder supplements on performance and health indicators in suckling Holstein calves

Alireza Alipour[1] | Taghi Ghoorchi[2]✉ | Abdolhakim Toghdory[3] | 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 14 September 2025
Received in revised form
22 February 2026
Accepted 9 March 2026
Published online 9 March 2026

Keywords:
Fatty acids
Fat supplement
Lipidol
Odds ratio
Suckling calf

ABSTRACT

Objective: High incidences of diarrhea and pneumonia, along with suboptimal growth, remain major challenges in the calf-rearing industry, leading to increased treatment costs, elevated mortality rates, and reduced profitability. Considering the crucial role of dietary energy in supporting immune function, promoting growth performance, and maintaining liver health during the pre-weaning period, this study aimed to evaluate the effects of supplementing dairy calf diets with varying levels of Lipidol and fat powder on growth performance, hematological and hepatic biochemical parameters, vital signs, and the incidence of diarrhea and pneumonia. The ultimate objective was to identify an effective nutritional strategy to enhance performance and reduce disease occurrence in pre-weaned calves.

Method: In this study, thirty-six Holstein suckling calves (5 ± 2 days of age) were randomly allocated to four experimental treatments in a 2 × 2 factorial arrangement within a completely randomized design. The treatments consisted of a basal diet supplemented with either 0.15% or 0.30% Lipidol in combination with either 0% or 3% added fat powder. Body weight was recorded at the beginning and end of the experimental period, and daily dry matter intake was measured throughout the study. Physiological parameters, including respiratory rate, heart rate, and rectal temperature, were assessed at 30 and 60 days of age. Blood samples were collected at 08:00 h to evaluate hematological parameters (white blood cell count, red blood cell count, hemoglobin concentration, and hematocrit), liver enzyme activities (aspartate aminotransferase and alanine aminotransferase), and serum urea concentration. The incidence of common diseases, including diarrhea and pneumonia, was monitored throughout the rearing period and analyzed statistically using odds ratio estimates.

Results: The results demonstrated that supplementation with 0.15% Lipidol, either alone or in combination with 3% fat powder, significantly increased final body weight compared with the other treatments. In contrast, supplementation with 0.30% Lipidol did not produce a comparable effect. Growth performance parameters, including total weight gain, dry matter intake, and feed conversion ratio, were not significantly affected by treatment. Hematological variables did not differ significantly among experimental groups. However, calves receiving 0.30% Lipidol combined with 3% fat powder exhibited significantly higher ($p < 0.05$) aspartate aminotransferase activity and serum urea concentrations, suggesting a greater metabolic burden on the liver under this treatment. Physiological parameters, including respiratory rate, heart rate, and rectal temperature, remained within normal physiological ranges at both 30 and 60 days of age, with no significant differences observed among treatments.

Conclusion: The findings of this study indicate that dietary supplementation with 0.15% Lipidol enhances growth performance in suckling calves without inducing adverse physiological effects or increasing disease incidence. In contrast, the higher supplementation level (0.30%), particularly when combined with fat powder, was associated with elevated liver enzyme activity and serum urea concentrations, suggesting an increased hepatic metabolic load, likely related to intensified lipid metabolism.Hematological parameters and physiological indicators remained within normal ranges across all treatments, indicating no evidence of systemic stress or clinical disorders. Overall, these results suggest that supplementation with 0.15% Lipidol represents an optimal inclusion level for improving growth performance in suckling calves while minimizing potential metabolic risks.

Cite this article: Alipour, A., Ghoorchi, T., Toghdory, A., & Sari, M. (2026). Studying the effect of using Lysophospholipids (Lipidol) and fat powder supplements on performance and health indicators in suckling Holstein calves. *Journal of Animal Production*, 28 (1), 41-54. DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2026.402099.623870

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2026.402099.623870

دوره بیست و هشتم، شماره اول، بهار ۱۴۰۵

انتشارات دانشگاه تهران

تولیدات دامی

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۲-۹۹۴x

Homepage: https://jap.ut.ac.ir/

بررسی اثر استفاده از مکمل لیزوفسفولیپید (لیپیدول) و پودر چربی بر عملکرد و شاخص‌های سلامت در 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: ۱۴۰۴/۰۶/۲۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۱۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۱۸

کلیدواژه‌ها:
اسیدهای چرب
گوساله شیرخوار
لیپیدول
مکمل چربی
نسبت بخت

چکیده

هدف: در صنعت پرورش گوساله‌های شیرخوار، نرخ بالای بروز بیماری‌های اسهال و پنومونی همراه با رشد ناکافی، از مهم‌ترین چالش‌ها به شمار می‌رود که منجر به افزایش هزینه‌های درمانی، تلفات و کاهش سودآوری می‌گردد؛ با توجه به نقش کلیدی انرژی جیره در تقویت سیستم ایمنی، عملکرد رشد و سلامت کبد در دوره شیرخوارگی، این مطالعه با هدف بررسی اثرات افزودن سطوح مختلف مکمل لیپیدول و پودر چربی به جیره گوساله‌های شیرخوار بر شاخص‌های رشد، پارامترهای هماتولوژیک و بیوشیمیایی کبد، علائم حیاتی و میزان بروز بیماری‌های اسهال و پنومونی انجام شد تا راهکاری مؤثر برای بهبود عملکرد و کاهش بیماری‌ها ارائه نماید.

روش پژوهش: در این مطالعه تعداد ۳۶ رأس گوساله شیرخوار هلشتاین با سن ۲ ±۵ روز به‌صورت تصادفی به چهار تیمار آزمایشی اختصاص داده شدند. تیمارهای آزمایشی شامل ۱- جیره پایه حاوی ۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول و بدون افزودن پودر چربی، ۲- جیره پایه حاوی ۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول به همراه سه درصد پودر چربی، ۳- جیره پایه حاوی ۰/۳ درصد مکمل لیپیدول و بدون افزودن درصد پودر چربی، ۴- جیره پایه حاوی ۰/۳ درصد مکمل لیپیدول به همراه سه درصد پودر چربی بود که به‌صورت آزمایش فاکتوریل ۲×۲ در قالب طرح کاملاً تصادفی موردبررسی قرار گرفت. وزن گوساله‌ها در ابتدا و پایان دوره، مصرف ماده خشک روزانه ثبت گردید. هم‌چنین در دو زمان ۳۰ و ۶۰ روزگی، شاخص‌های فیزیولوژیکی شامل نرخ تنفس، ضربان قلب و دمای رکتوم اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خون برای تعیین فراسنجه‌های هماتولوژی (شمارش گلبول‌های سفید و قرمز، هموگلوبین و هماتوکریت) و آنزیم‌های کبدی (آسپارتات ترانس‌آمیناز و آلانین ترانس‌آمیناز) به‌همراه غلظت اوره سرمی در ساعت هشت صبح جمع‌آوری شدند. میزان بروز بیماری‌های شایع اسهال و پنومونی در طول دوره پرورش نیز به‌دقت پایش و تحلیل آماری نسبت احتمال ابتلا (Odds Ratio) انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزودن ۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول به جیره، چه به تنهایی و چه همراه با سه درصد پودر چربی، به شکل معنی‌داری وزن نهایی گوساله‌ها را بهبود بخشید، درحالی‌که سطح بالاتر مکمل لیپیدول (۰/۳ درصد) چنین اثری نداشت. شاخص‌های عملکرد شامل افزایش وزن پایانی، مصرف ماده خشک و ضریب تبدیل غذایی در تیمارهای مختلف تفاوت آماری معنی‌داری نشان ندادند. از نظر فراسنجه‌های هماتولوژیک، بین گروه‌ها اختلاف مشاهده نشد، اما فعالیت آنزیم آسپارتات ترانس‌آمیناز و میزان اوره سرمی در گروهی که ۰/۳ درصد مکمل لیپیدول به‌همراه سه درصد پودر چربی دریافت کرد، به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. که نشان‌دهنده افزایش بار متابولیک کبد در این گروه است. علائم حیاتی شامل نرخ تنفس، ضربان قلب و دمای رکتوم نیز در سنین ۳۰ و ۶۰ روزگی در تمامی تیمارها در محدوده فیزیولوژیک طبیعی باقی ماند و تغییر معنی‌داری نداشت. بررسی شیوع بیماری‌های اسهال و پنومونی نیز نشان داد که استفاده از سطوح مختلف مکمل لیپیدول و پودر چربی تأثیر معنی‌داری بر کاهش یا افزایش ریسک ابتلا به این بیماری‌ها ندارد. دامنه اطمینان وسیع نسبت احتمال ابتلا و همپوشانی آن با عدد یک، بیانگر عدم تأثیر بیولوژیکی معنی‌دار این مکمل‌ها بر وضعیت ایمنی و حساسیت به بیماری در شرایط آزمایش است.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش نشان داد که افزودن ۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول به جیره گوساله‌های شیرخوار می‌تواند به بهبود رشد بدون ایجاد اثرات منفی فیزیولوژیکی یا افزایش ریسک بیماری کمک کند. سطح بالاتر لیپیدول به همراه پودر چربی ممکن است باعث افزایش بار متابولیکی کبد و تغییراتی در شاخص‌های بیوشیمیایی شود که به احتمال زیاد ناشی از افزایش فعالیت متابولیک و پردازش چربی است. از سوی دیگر، تغییرات فراسنجه‌های هماتولوژیک و علائم حیاتی در محدوده طبیعی باقی‌مانده و نشانه‌ای از بروز استرس فیزیولوژیک یا اختلالات قابل‌توجه در حیوانات نبود. با توجه به نتایج حاصل توصیه می‌شود سطح ۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول به‌عنوان میزان بهینه در جیره گوساله‌های شیرخوار برای ارتقای عملکرد رشد بدون مخاطره فیزیولوژیک استفاده گردد.

استناد: علیپور، علیرضا؛ قورچی، تقی؛ توغدری، عبدالحکیم و ساری، محسن (۱۴۰۵). بررسی اثر استفاده از مکمل لیزوفسفولیپید (لیپیدول) و پودر چربی بر عملکرد و شاخص‌های سلامت در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین. *نشریه تولیدات دامی*، ۲۸ (۱)، ۴۱-۵۴.
DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2026.402099.623870

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

پرورش موفق گوساله‌های شیرخوار نقش بنیادیی 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 (احمدی خطیر و همکاران، ۱۴۰۴). در این راستا، تغذیه علمی و هدفمند به‌ویژه از طریق به‌کارگیری ترکیبات لیپیدی کارآمد، می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد و سلامت گوساله‌ها ایفا کند. فسفولیپیدها به‌عنوان اجزای اصلی غشای سلولی، علاوه بر نقش ساختاری، در فرایندهای گوارشی نظیر هضم، جذب و انتقال مواد مغذی نقش فعالی دارند (Tocher *et al*., 2008). هضم چربی در گوساله از حفره دهانی و تحت تأثیر آنزیم لیپاز بزاقی آغاز می‌شود، اما در هفته‌های نخست زندگی، به‌دلیل محدودیت ترشح نمک‌های صفراوی و آنزیم‌های گوارشی، توانایی هضم کامل چربی‌ها کاهش می‌یابد (Hill *et al*., 2009; Bach *et al*., 2005). در چنین شرایطی، استفاده از امولسیفایرها و لیزوفسفولیپیدها می‌تواند فرایند امولسیون‌سازی و جذب روده‌ای را بهبود بخشیده و بهره‌وری تغذیه‌ای را به‌ویژه هنگام استفاده از جایگزین شیرهای حاوی چربی افزایش دهد (Zhao *et al*., 2015; Wang *et al*., 2022).

لیزوفسفولیپیدها که از هیدرولیز فسفولیپیدها توسط آنزیم فسفولیپاز حاصل می‌شوند، به‌دلیل خاصیت آمفی‌پاتیک، قادرند سیالیت و نفوذپذیری غشای سلولی را افزایش داده و انتقال درشت‌مولکول‌ها و مواد مغذی را تسهیل کنند (Lu *et al*., 2022). مطالعات نشان داده‌اند که افزودن این ترکیبات به جیره غذایی، باعث بهبود شاخص‌های مورفولوژیک روده، افزایش ابقای انرژی و ارتقای کارایی دستگاه گوارش می‌شود (Boontiam *et al*., 2021; Zhang *et al*., 2022). این اثرات می‌تواند به بهبود رشد، کاهش وقوع اسهال و بهبود وضعیت ایمنی گوساله‌های شیرخوار منجر شود (Reis *et al*., 2021).

از سوی دیگر، پودرهای چربی و منابع غنی از اسیدهای چرب ضروری نیز در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای در تغذیه گوساله‌های شیرخوار به‌خود جلب کرده‌اند. چربی‌ها علاوه بر تأمین انرژی خالص بالاتر نسبت به کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها، موجب بهبود خوش‌خوراکی جیره، افزایش جذب ویتامین‌های محلول در چربی و بهبود شرایط بهداشتی خوراک می‌شوند (Baee *et al*., 2023). افزودن چربی به جیره می‌تواند حرارت افزایشی را کاهش داده و با افزایش زمان تماس مواد مغذی با آنزیم‌ها، کارایی هضم را ارتقا دهد (Ghoorchi *et al*., 2006)، ویژگی‌هایی نظیر طول زنجیره، درجه اشباع و موقعیت اسیدهای چرب در تری‌گلیسیرید، تعیین‌کننده میزان هضم و جذب آن‌ها هستند. در گوساله‌های جوان با دستگاه گوارش نابالغ، به‌دلیل محدودیت در ترشح فسفولیپیدها و نمک‌های صفراوی، استفاده از امولسیفایرها و لیپوفسفولیپیدها ضروری به‌نظر می‌رسد (Tocher *et al*., 2008; Lu *et al*., 2022).

تحقیقات اخیر اهمیت اسیدهای چرب ضروری را در رشد و سلامت گوساله‌ها تأیید کرده‌اند. Hill *et al*. (2011) نشان دادند که افزودن مکمل حاوی روغن نارگیل، روغن بذر کتان و اسید استیک به جایگزین شیر، موجب بهبود ضریب تبدیل خوراک، افزایش مصرف و میانگین وزن‌گیری روزانه و کاهش شاخص‌های التهابی شد. Garcia *et al*. (2015) گزارش کردند که افزودن اسیدهای چرب ضروری به جیره آغازین، موجب افزایش غلظت اسیدهای چرب غیراشباع لینولئیک و آلفا–لینولنیک در کبد و کاهش اسیدهای چرب اشباع گردید، هرچند این تغییرات اثر معنی‌داری بر رشد یا ایمنی نداشت. هم‌چنین، Karcher *et al*. (2014) گزارش کردند که استفاده از روغن بذر کتان موجب بهبود بازده غذایی، افزایش نرخ رشد و کاهش بیان ژن‌های اینترلوکینی می‌شود که بیانگر نقش تعدیل‌کننده امگا ۳ بر پاسخ‌های ایمنی است. با توجه به محدودیت اطلاعات موجود درباره کاربرد منابع لیپیدول و پودر چربی در پرورش گوساله، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر افزودن این ترکیبات بر عملکرد و برخی شاخص‌های سلامت در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین انجام شد.

۲. روش پژوهش

۲. ۱. تیمارهای آزمایشی

این پژوهش در استان یزد شهرستان تفت در فصل زمستان با استفاده از تعداد ۳۶ رأس گوساله شیرخوار نژاد هلشتاین با میانگین وزن اولیه ۰/۶±۳۸/۳ کیلوگرم و سن ۲±۵ روز انجام شد. گوساله‌ها پس از جداسازی و به‌طور تصادفی در گروه‌های آزمایشی قرار گرفتند و با توجه به تعداد زایش ها در این فصل به یک‌باره وارد طرح شدند. در روز سوم پس از تولد، به‌منظور اطمینان از کفایت مصرف آغوز، از ورید وداج هر گوساله نمونه خون گرفته و در لوله‌های خلأ جمع‌آوری گردید. نمونه‌ها پس از سانتریفیوژ به‌مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه، از سرم جدا شدند. غلظت پروتئین تام سرم با رفرکتومتر تعیین شد و تنها گوساله‌هایی با غلظت بالاتر از ۵/۵ میلی‌گرم در دسی‌لیتر به‌عنوان سالم تلقی و وارد طرح گردیدند. گوساله‌هایی که دارای علائم بیماری تنفسی، سابقه سخت‌زایی، درمان آنتی‌بیوتیکی یا دوقلوزایی بودند، از مطالعه کنار گذاشته شدند. از روز هفتم تولد، گوساله‌های واجد شرایط به‌طور تصادفی در تیمارهای آزمایشی تخصیص یافتند. هر تیمار شامل نه رأس گوساله بود که تا سن ۶۷ روزگی در جایگاه‌های انفرادی با ابعاد ۱۲۵×۱۰۰×۱۰۰ سانتی‌متر (طول× عرض× ارتفاع) نگهداری شدند. کف جایگاه‌ها با کاه پوشانده شده و امکان ایجاد حالت آشیانه‌ای برای حیوان فراهم بود. بستر به‌صورت روزانه تعویض می‌شد تا کیفیت آن حفظ و از تجمع رطوبت جلوگیری گردد. برای هر گوساله، ظروف فلزی مجزا جهت تأمین آب آشامیدنی و خوراک آغازین در جلوی جایگاه نصب شد. شیر در دو وعده روزانه (ساعت ۹:۰۰ و ۱۸:۰۰) توزیع می‌گردید. میزان شیر مصرفی در دو هفته نخست روزانه چهار کیلوگرم بود که در دو هفته دوم به ۵ کیلوگرم افزایش یافت و از هفته پنجم تا یک هفته پیش از قطع شیر به شش کیلوگرم رسید. در هفته پایانی، وعده شیر به یک‌بار در روز و به میزان سه کیلوگرم کاهش یافته و فرایند قطع شیر در روز ۶۰ اجرا شد.

آزمایش به‌مدت ۶۰ روز به‌صورت فاکتوریل ۲×۲ در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. فاکتورهای موردبررسی شامل دو سطح پودر چربی (صفر و ۳ درصد) و دو سطح مکمل لیپیدول ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد) بودند. مکمل لیپیدول از شرکت ایزی‌بایو (کره جنوبی) و پودر چربی با نام تجاری پرشیافت از شرکت کیمیا دانش الوند تهیه شد. چهار گروه آزمایشی شامل ۱- جیره پایه حاوی ۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول و بدون افزودن پودر چربی، ۲- جیره پایه حاوی ۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول به‌همراه سه درصد پودر چربی، ۳- جیره پایه حاوی ۰/۳ درصد مکمل لیپیدول و بدون افزودن درصد پودر چربی، ۴- جیره پایه حاوی ۰/۳ درصد مکمل لیپیدول به‌همراه ۳ درصد پودر چربی بودند که به صورت آزمایش فاکتوریل ۲×۲ در قالب طرح کاملاً تصادفی موردبررسی قرار گرفتند. خوراک‌های آغازین براساس نیازمندی‌های تغذیه‌ای گوساله‌های هلشتاین طبق توصیه NRC و با استفاده از نرم‌افزار CNCPS (۲۰۱۶) تنظیم گردید. تمامی گوساله‌ها دسترسی آزاد به خوراک آغازین و آب تازه داشتند. برای پایش دقیق مصرف، برای هر حیوان دو سطل جداگانه در نظر گرفته شد؛ یکی برای خوراک تازه و دیگری برای باقیمانده خوراک. در صورت اتمام خوراک پیش از زمان برداشت نمونه، بلافاصله سطل خوراک تازه پر می‌شد. ترکیب مواد خوراکی و آنالیز شیمیایی جیره‌ها در جدول (۱) آورده شده است.

۲. ۲. صفات اندازه‌گیری‌شده

۲. ۲. ۱. عملکرد رشد

گوساله‌ها در هنگام ورود به طرح وزن‌کشی‌شده و پس از آن هر ۳۰ روز یک‌بار در ساعت مشخص و قبل از توزیع شیر وعده صبح، وزن‌کشی تکرار 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 روز قبل هر گوساله جمع‌آوری و وزن‌کشی شده و از خوراک در اختیار گرفته کسر و میزان مصرف خوراک واقعی لحاظ گردید.

جدول ۱. مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره آغازین

متغیرها	تیمارهای آزمایشی			
	۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول و بدون افزودن پودر چربی	۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول به‌همراه ۳ درصد پودر چربی	۰/۳ درصد مکمل لیپیدول و بدون افزودن درصد پودر چربی	۰/۳ درصد مکمل لیپیدول به‌همراه ۳ درصد پودر چربی
اجزای خوراک (درصد)				
دانه جو آسیاب‌شده	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰
دانه ذرت آسیاب‌شده	۴۷/۸۵	۴۳/۵۵	۴۷/۴	۴۳/۴
کنجاله سویا	۳۸/۰۰	۳۹/۰۰	۳۸/۰۰	۳۹/۰۰
سبوس گندم	۲/۴۰	۲/۴۰	۲/۴۰	۲/۴۰
کلسیم‌کربنات	۱/۲۰	۱/۵۰	۱/۵۰	۱/۵۰
نمک	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰
جوش شیرین	۱/۵۰	۱/۵۰	۱/۵۰	۱/۵۰
کلسیم دی فسفات	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۴۰
مکمل ویتامینه[1]	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰
چربی خالص	۰/۰۰	۳/۰۰	۰/۰۰	۳/۰۰
مکمل لیپیدول	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۳۰	۰/۳۰
انرژی و ترکیب شیمیایی (براساس درصد ماده خشک)				
پروتیئن خام	۲۱/۸۰	۲۱/۹۰	۲۱/۸۰	۲۱/۹۰
انرژی قابل متابولیسم (مگاکالری/ کیلوگرم ماده خشک)	۳/۳۵	۳/۴۵	۳/۳۴	۳/۴۵
ADF	۵/۵۰	۵/۴۰	۵/۵۰	۵/۴۰
ANF	۱۱/۶۰	۱۱/۳۰	۱۱/۶۰	۱۱/۳۰
ADF/NDF	۰/۴۷	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۸
نشاسته	۳۸/۲۰	۳۵/۲۰	۳۸/۱۰	۳۵/۱۰
WSC	۷/۰۰	۷/۰۰	۷/۰۰	۷/۰۰
خاکستر خام	۷/۹۰	۸/۰۰	۸/۰	۸/۰
چربی خام	۲/۶	۵/۴۳	۲/۶۰	۵/۴۳
کلسیم	۰/۷۶	۰/۸۸	۰/۷۶	۰/۸۸
فسفر	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۷

۱. مکمل ویتامینه حاوی: ویتامین A: ۵٬۰۰۰–۱۰٬۰۰۰ IU ویتامین D: ۱٬۰۰۰–۲٬۰۰۰ IU ویتامین E: ۱۰۰–۳۰۰IU

۲. ۲. ۲. فراسنجه‌های خونی

به‌منظور تعیین فراسنجه‌های هماتولوژی، خون گیری در روز شروع طرح و روز ازشیرگیری دوره آزمایشی (پایان دوره شیرخوارگی) و در ساعت هشت صبح (قبل از تغذیه صبحگاهی) از وداج انجام شد. حدود ۲ تا ۳ میلی‌لیتر خون در لوله‌های حاوی ضدانعقاد EDTA ریخته شد و برای انجام آزمایش‌های بیوشیمیایی شامل اندازه‌گیری مقدار اوره سرم و آنزیم آسپارتات ترانس‌آمیناز، آلانین ترانس‌آمیناز، سه تا پنج میلی‌لیتر خون در لوله‌های بدون ضدانعقاد جمع‌آوری گردید. لوله‌های بدون ضدانعقاد پس از نمونه‌گیری به‌مدت ۲۰ تا ۳۰ دقیقه در دمای اتاق قرار داده شدند تا لخته تشکیل شود و سپس نمونه‌ها با استفاده از سانتریفیوژ (مدل Hettich Rotina 380 ساخت شرکت Hettich GmbH کشور آلمان)، با سرعت ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ g× به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. سرم جدا شده بلافاصله مورد آزمایش قرار گرفت. در ابتدا نمونه‌ها در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. پارامترهای هماتولوژی شامل تعداد گلبول‌های سفید، تعداد گلبول‌های قرمز، غلظت هموگلوبین و هماتوکریت با استفاده از آنالیزور هماتولوژی (مدل Mindray BC-2800Vet ساخت

شرکت Mindray Bio-Medical Electronics Co. کشور چین)، تعیین گردید. اوره و آنزیم‌های آسپارتات ترانس‌آمیناز، آلانین ترانس‌آمیناز با استفاده از دستگاه آنالیزور شیمیایی کلینیکی (مدل Hitachi 902 ساخت شرکت Hitachi High-Tech Corporation کشور ژاپن) و با بهره‌گیری از کیت‌های تجاری ساخت شرکت پارس‌آزمون، طبق دستورالعمل‌های استاندارد کیت انجام گردید.

۲. ۲. ۳. شاخص‌های فیزیولوژیکی

اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیولوژیکی شامل نرخ تنفس، ضربان قلب و دمای رکتوم در دو نوبت، یکی در سن ۳۰ روزگی و دیگری در سن ۶۰ روزگی گوساله‌ها انجام شد. تمامی اندازه‌گیری‌ها در ساعات اولیه صبح، پیش از تغذیه و در شرایط محیطی یکسان به‌منظور کاهش اثر استرس و فعالیت بدنی بر نتایج صورت گرفت. نرخ تنفس از طریق شمارش تعداد حرکات قفسه سینه در مدت یک دقیقه و با استفاده از مشاهده مستقیم و در حالت ایستاده حیوان ثبت گردید (Lowe *et al*., 2019). ضربان قلب با استفاده از گوشی پزشکی (استتوسکوپ) و شمارش ضربات در ناحیه فضای بین‌دنده‌ای چهارم در سمت چپ قفسه سینه به‌مدت یک دقیقه اندازه‌گیری شد. دمای رکتوم با استفاده از دماسنج دیجیتال دامپزشکی از طریق ورود به راست‌روده به عمق تقریبی پنج سانتی‌متر و پس از اطمینان از تماس کامل با دیواره رکتوم ثبت گردید. تمامی اندازه‌گیری‌ها توسط یک فرد ثابت و با رعایت اصول بهداشت و ایمنی حیوان انجام شد تا خطای فردی و استرس ناشی از تغییر ارزیاب به حداقل برسد (Piccione *et al*., 2003).

۲. ۲. ۴. وضعیت سلامتی

پایش وضعیت سلامتی گوساله‌ها در طول دوره آزمایش به‌صورت روزانه انجام شد. علائم بالینی مرتبط با بیماری‌های اسهال و پنومونی براساس شاخص‌های استاندارد دامپزشکی ارزیابی گردید. تشخیص اسهال بر پایه قوام مدفوع با استفاده از مقیاس چهار نمره‌ای انجام شد، به‌طوری‌که نمره یک مدفوع سفت و نمره چهار مدفوع کاملاً آبکی را نشان می‌داد. گوساله‌هایی که نمره سه یا چهار دریافت می‌کردند، به‌عنوان مبتلا به اسهال در نظر گرفته شدند. تشخیص پنومونی براساس مشاهده علائم بالینی شامل سرفه، ترشحات بینی، تندنفسی، بی‌اشتهایی، تب و کاهش فعالیت صورت گرفت (Lowe *et al*., 2019). برای اطمینان بیش‌تر، در صورت مشاهده علائم مشکوک، معاینه کامل قفسه سینه با گوشی پزشکی انجام شد. داده‌های مربوط به وقوع هر بیماری شامل تاریخ شروع، مدت‌زمان و شدت علائم ثبت گردید.

۲. ۳. تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های مربوط به عملکرد و فراسنجه‌های خونی با رویه مختلط نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) تحلیل شدند. برای صفات مربوط به سلامت، با توجه به ماهیت ناپیوسته‌بودن و دودویی‌بودن از رویه GLIMMIX با توزیع باینری و لینک لجیت و براساس رگرسیون لجستیک موردارزیابی قرار گرفتند و در نهایت شانس ابتلا به بیماری‌ها در گروه‌های مختلف موردبررسی قرار گرفتند و عملکرد و فراسنجه‌های خونی از مدل ذیل استفاده 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؛ Lipi اثر ثابت سطح لیپیدول استفاده‌شده؛ FPj اثر ثابت سطح پودر چربی استفاده‌شده؛ Lipi×FPj اثر متقابل سطوح لیپیدول و پودر چربی؛ Covk متغیر کمکی (برای عملکرد رشد و مصرف خوراک)، Calfl اثر تصادفی گوساله و e_{ijkl} اثر باقیمانده‌ها.

۳. یافته‌های پژوهش

۳. ۱. عملکرد

نتایج مربوط به عملکرد گوساله در تیمارهای بررسی شده در جدول (۲) آورده شده است. بررسی تأثیر سطوح مختلف مکمل لیپیدول و پودر چربی بر عملکرد گوساله‌های شیرخوار نشان داد که وزن انتهایی تحت تأثیر تیمار قرار گرفت. گوساله‌های تیمار دو (لیپیدول ۰/۱۵ درصد+ پودر چربی سه درصد) و تیمار چهار (لیپیدول ۰/۳ درصد+ پودر چربی سه درصد) بیش‌ترین وزن نهایی را داشتند که این موضوع بیانگر اثر مثبت و هم افزایی، استفاده از پودر چربی و مکمل لیپیدول بر رشد گوساله‌هاست. مصرف ماده خشک، میانگین افزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت. این امر نشان داد که حضور پودر چربی یا سطح لیپیدول تغییری در میزان خوراک دریافتی گوساله‌ها ایجاد نکرده است، اما موجب بهبود نسبی کارایی مصرف خوراک در گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل لیپیدول به همراه پودر چربی شده است.

جدول ۲. اثر استفاده از مکمل لیپیدول و پودر چربی بر عملکرد گوساله‌های شیرخوار

عملکرد	تیمارهای آزمایشی				انحراف معیار استاندارد	سطح احتمال
	۰/۳ درصد مکمل لیپیدول به‌همراه ۳ درصد پودر چربی	۰/۳ درصد مکمل لیپیدول و بدون افزودن درصد پودر چربی	۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول به‌همراه ۳ درصد پودر چربی	۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول و بدون افزودن پودر چربی		
وزن ابتدایی (کیلوگرم)	۳۹/۴	۳۷/۷	۳۷/۰	۳۹/۳	۲/۶۷	۰/۱۵
وزن از شیرگیری (کیلوگرم)	۶۳/۷[b]	۶۷/۱[a]	۶۳/۸[b]	۶۹/۷[a]	۰/۷۵	۰/۰۳
میانگین افزایش وزن روزانه (گرم در روز)	۰/۴۰۷	۰/۴۹۰	۰/۴۴۲	۰/۵۲۰	۰/۲۱۴	۰/۶۰
مصرف ماده خشک (کیلوگرم)	۱/۳۶	۱/۳۹	۱/۳۷	۱/۳۳	۰/۴۷	۰/۳۸
ضریب تبدیل خوراک	۴/۸۱	۳/۰۵	۳/۱۶	۲/۹۳	۰/۸۰	۰/۱۵

a-b: تفاوت میانگین‌ها در هر ردیف با حروف نامشابه معنی‌دار است (p<۰/۰۵).

۳. ۲. فراسنجه‌های خونی

نتایج مربوط به مقدار فراسنجه‌های خونی اندازه‌گیری‌شده در جدول (۳) آورده شده است. بررسی تأثیر سطوح مختلف مکمل لیپیدول و پودر چربی بر برخی آنزیم‌های کبدی و شاخص‌های سیستم ایمنی گوساله‌های شیرخوار نشان داد که فعالیت آنزیم آسپارتات ترانسفراز بین تیمارهااختلاف داشت. بالاترین میانگین این آنزیم در تیمار ۴ (۳/۷۷±۶۱/۹۱ واحد در لیتر) مشاهده شد، درحالی‌که تیمارهای یک، دو و سه دارای مقادیر کم‌تر و مشابه بودند. برای آنزیم آلانین‌ترانسفراز اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد و مقادیر آن در دامنه ۲۴/۸۰ تا ۲۹/۶۲ واحد در لیتر قرار داشت. غلظت اوره خون نیز تحت تأثیر تیمارها قرار گرفت، به‌طوری‌که تیمار چهار با میانگین ۳۲/۹۰ میلی‌گرم در دسی‌لیتر بالاترین مقدار را داشت و بیش از مقادیر تیمارهای یک، دو و سه بود (P<۰/۰۵).

پارامترهای هماتولوژی شامل تعداد گلبول‌های سفید، گلبول‌های قرمز، هموگلوبین و هماتوکریت اختلاف معنی‌داری بین تیمارها نشان ندادند. اما برخی شاخص‌های بیوشیمیایی کبدی مثل اوره و آنزیم‌های آسپارتات ترانس‌آمیناز تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند. افزایش آنزیم آسپارتات ترانس‌آمیناز و غلظت اوره خون در تیمار چهار می‌تواند نشانه‌ای از بار متابولیکی بیش‌تر بر کبد یا تغییر در متابولیسم پروتئین و نیتروژن در اثر سطح بالاتر مکمل لیپیدول همراه با پودر چربی باشد.

جدول ۳. اثر استفاده از مکمل لیپیدول و پودر چربی بر غلظت اوره خون، برخی آنزیم‌های کبدی و شاخص‌های هماتولوژی (گوساله‌های شیرخوار)

متغیرها	تیمارهای آزمایشی				سطح احتمال
	۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول و بدون افزودن پودر چربی	۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول به‌همراه ۳ درصد پودر چربی	۰/۳ درصد مکمل لیپیدول و بدون افزودن درصد پودر چربی	۰/۳ درصد مکمل لیپیدول به‌همراه ۳ درصد پودر چربی	
آسپارتات ترانسفراز (واحد در لیتر)	۴۴/۳۵ ± ۳/۹۲[b]	۵۱/۵۰ ± ۳/۷۰[b]	۴۸/۸۰ ± ۳/۷۰[b]	۶۱/۹۱ ± ۳/۷۷[a]	۰/۰۱
آلانین ترانسفراز (واحد در لیتر)	۲۴/۸۰ ± ۲/۲۹	۲۶/۸۰ ± ۲/۱۶	۲۹/۶۰ ± ۲/۱۶	۲۹/۶۲ ± ۲/۲۰	۰/۳۶
اوره (میلی‌مول در لیتر)	۲۳/۰۶ ± ۲/۰۴[b]	۲۷/۱۴ ± ۱/۹۲[b]	۲۶/۰۹ ± ۱/۹۲[b]	۳۲/۹۰ ± ۱/۹۶[a]	۰/۰۱
گلبول‌های سفید (سلول در میکرولیتر)	۹/۲۸ ± ۰/۶۷	۹/۱۲ ± ۰/۶۴	۱۰/۱۹ ± ۰/۶۴	۸/۴۵ ± ۰/۶۵	۰/۳۱
گلبول‌های قرمز (سلول در میکرولیتر)	۷/۳۰ ± ۰/۵۲	۶/۸۲ ± ۰/۵۰	۷/۰۸ ± ۰/۵۰	۷/۴۴ ± ۰/۵۰	۰/۸۳
هموگلوبین (گرم در دسی‌لیتر)	۹/۶۵ ± ۰/۵۵	۹/۱۴ ± ۰/۵۲	۹/۶۰ ± ۰/۵۲	۹/۳۵ ± ۰/۵۳	۰/۸۹
هماتوکریت (درصد)	۳۲/۸۵ ± ۱/۶۷	۳۲/۹۴ ± ۱/۵۷	۲۹/۳۶ ± ۱/۵۷	۳۱/۷۸ ± ۱/۶۰	۰/۳۶

a-b: تفاوت میانگین‌ها در هر ردیف با حروف نامشابه معنی‌دار است ($p<0/05$).

۳. ۳. شاخص‌های فیزیولوژیکی

بررسی علائم حیاتی گوساله‌های شیرخوار در سنین ۳۰ و ۶۰ روزگی نشان داد که استفاده از سطوح مختلف مکمل لیپیدول و پودر چربی تأثیر معنی‌داری بر نرخ تنفس، ضربان قلب و دمای رکتوم نداشت (جدول ۴). میانگین نرخ تنفس در ۳۰ روزگی بین ۴۹/۰ تا ۵۰/۹ مرتبه در دقیقه متغیر بود و در ۶۰ روزگی این دامنه بین ۵۲/۰ تا ۵۳/۳ مرتبه در دقیقه قرار گرفت. تغییرات مشاهده‌شده در هر دو زمان از نظر آماری معنی‌دار نبود. ضربان قلب نیز در ۳۰ روزگی در دامنه ۱۲۴/۹ تا ۱۲۷/۲ ضربه در دقیقه قرار داشت و در ۶۰ روزگی بین ۱۱۱/۴ تا ۱۱۳/۱ ضربه در دقیقه ثبت شد که این تغییرات معنی‌دار نبودند. دمای رکتوم گوساله‌ها در ۳۰ روزگی بین ۳۸/۸ تا ۳۹/۰ درجه سانتی‌گراد و در ۶۰ روزگی بین ۳۸/۹ تا ۳۹/۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت که اختلاف بین تیمارها در هر دو سن معنی‌دار نبود. به‌طورکلی، نتایج این بخش نشان داد که افزودن مکمل لیپیدول و پودر چربی به جیره، در سطوح مورداستفاده در این مطالعه، اثر قابل‌توجهی بر علائم حیاتی گوساله‌های شیرخوار نداشته و این شاخص‌ها در محدوده فیزیولوژیک طبیعی باقی مانده‌اند. این موضوع بیانگر آن است که جیره‌های آزمایشی تأثیر منفی یا استرس فیزیولوژیک آشکاری بر وضعیت عمومی دام‌ها ایجاد نکرده‌اند. اضافه نمودن دانه و روغن گلرنگ به‌عنوان منبع اسیدچرب غیر اشباع سبب کاهش غلظت کورتیزول، مالون‌دی‌آلدهید، اسیدهای چرب غیر استریفه و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل شد.

جدول ٤. اثر استفاده از مکمل لیپیدول و پودر چربی بر علایم حیاتی گوساله‌های شیرخوار

متغیرها	تیمارهای آزمایشی				سطح معنی‌داری
	۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول و بدون افزودن پودر چربی	۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول به‌همراه ۳ درصد پودر چربی	۰/۳ درصد مکمل لیپیدول و بدون افزودن درصد پودر چربی	۰/۳ درصد مکمل لیپیدول به‌همراه ۳ درصد پودر چربی	
تنفس (مرتبه در دقیقه)					
۳۰ روزگی	۴۸/۰۶ ± ۲/۳۲	۴۸/۹۹ ± ۲/۲۱	۵۰/۰۰ ± ۲/۲۶	۵۰/۷۸ ± ۲/۲۶	۰/۲۶
۶۰ روزگی	۵۲/۸۲ ± ۲/۴۳	۵۲/۰۰ ± ۲/۲۸	۵۲/۱۸ ± ۲/۳۱	۵۳/۲۹ ± ۲/۳۲	۰/۴۴
ضربان (ضربه در دقیقه)					
۳۰ روزگی	۱۲۷/۱۱ ± ۳/۸۰	۱۲۴/۹۲ ± ۳/۶۲	۱۲۶/۹۵ ± ۳/۸۰	۱۲۷/۱۵ ± ۳/۶۰	۰/۵۵
۶۰ روزگی	۱۱۲/۲۹ ± ۳/۵۷	۱۱۱/۳۷ ± ۳/۴۰	۱۱۲/۸۶ ± ۳/۳۵	۱۱۳/۱۲ ± ۳/۳۹	۰/۵۸
دمای رکتوم (سانتی‌گراد)					
۳۰ روزگی	۳۸/۸۴ ± ۲/۰۷	۳۹/۰۰ ± ۱/۹۷	۳۹/۰۲ ± ۱/۹۷	۳۹/۰۲ ± ۱/۹۷	۰/۸۸
۶۰ روزگی	۳۸/۹۴ ± ۲/۰۸	۳۸/۹۸ ± ۱/۹۷	۳۸/۹۳ ± ۱/۹۷	۳۸/۹۶ ± ۱/۹۷	۰/۹۱

۳. ۴. وضعیت سلامتی

بررسی شانس ابتلا به بیماری اسهال در گوساله‌های شیرخوار نشان داد که نسبت بخت در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری با گروه مرجع (تیمار یک) نداشت (جدول ۵). در تیمار تغذیه‌شده با ۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول و ۳ درصد پودر چربی، شانس ابتلا به اسهال به صفرکاهش یافت (OR=۰/۸۵). درحالی‌که در گروه‌های تغذیه‌شده با سطوح بالاتر مکمل لیپیدول با و بدون پودر چربی شانس ابتلا به اسهال افزایش یافت. به‌طورکلی، درصد وقوع اسهال بین تیمارها تفاوت قابل‌توجهی نداشت و عدم معنی‌داری آماری بیانگر آن است که استفاده از سطوح مختلف مکمل لیپیدول و پودر چربی در جیره تأثیر مشخصی بر کاهش یا افزایش خطر بروز اسهال در طول دوره پرورش نداشت. البته به‌دلیل ماهیت ناپیوسته‌بودن صفت بررسی‌شده تعمیم نتایج حاصل نیازمند تکرار در سطح گسترده‌تری است.

جدول ۵. اثر استفاده از مکمل لیپیدول و پودر چربی بر شانس ابتلا (odds ratio) به بیماری اسهال گوساله‌های شیرخوار

تیمار	نسبت شانس (± دامنه اطمینان)	درصد وقوع	سطح معنی‌داری
۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول و بدون افزودن پودر چربی	مرجع		
۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول به همراه ۳ درصد پودر چربی	۰/۸۵ (۰/۰۸ –۸/۵۰)		۰/۸۸
۰/۳ درصد مکمل لیپیدول و بدون افزودن درصد پودر چربی	۱/۴۷ (۰/۱۷ –۱۲/۶۴)		۰/۷۲
۰/۳ درصد مکمل لیپیدول به همراه ۳ درصد پودر چربی	۱/۴۰ (۰/۱۶ –۱۲/۶۴)		۰/۷۵

بررسی شانس ابتلا به بیماری پنومونی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی در جدول (۶) آورده شده است. نتایج نشان داد که هیچ‌یک از تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری با گروه مرجع (تیمار ۱) نداشتند. در تیمار تغذیه‌شده با ۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول و سه درصد پودر چربی نسبت بخت ابتلا به پنومونی به ۰/۱۳ کاهش یافت (OR=۰/۸۷). سطوح بالاتر مصرف مکمل لیپیدول با و بدون پودر چربی شانس ابتلا به پنومونی را نزدیک به سه برابر کاهش دادند. درصد وقوع پنومونی بین تیمارها تفاوت قابل‌توجهی نداشت و دامنه اطمینان گسترده و هم‌پوشانی آن با عدد ۱ بیانگر آن است که تغییرات مشاهده‌شده احتمالاً ناشی از عوامل تصادفی بوده و مکمل‌سازی جیره با سطوح مختلف مکمل لیپیدول و پودر چربی به‌طور مشخصی بر کاهش یا افزایش خطر بروز پنومونی در طول دوره پرورش گوساله‌ها اثری نداشته است. البته تعمیم این نتایج نیازمند بررسی در سطوح گله‌های بزرگ با تعداد تکرارهای بیش‌تر است.

جدول ٦. اثر استفاده از مکمل لیپیدول و پودر چربی بر شانس ابتلا به بیماری پنومونی در گوساله‌های شیرخوار

۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول و بدون افزودن پودر چربی	نسبت شانس (± دامنه اطمینان)	درصد وقوع	سطح معنی‌داری
۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول به همراه ۳ درصد پودر چربی	مرجع		
۰/۳ درصد مکمل لیپیدول و بدون افزودن درصد پودر چربی	۰/۸۷ (۰/۰۸ –۸/۶۴)		۰/۹۰
۰/۳ درصد مکمل لیپیدول به همراه ۳ درصد پودر چربی	۰/۳۹ (۰/۰۲ –۵/۷۴)		۰/۴۸
۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول و بدون افزودن پودر چربی	۰/۳۹ (۰/۰۳ –۵/۸۱)		۰/۴۸

۴. بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از مکمل لیپیدول در سطوح ۰/۱۵ و ۰/۳درصد، همراه با سه درصد پودر چربی، باعث بهبود معنی‌دار وزن نهایی گوساله‌های شیرخوار شدند. این نتایج با مطالعات مشابه همسو است که نشان داده‌اند سطوح متوسط چربی افزوده به جیره می‌تواند رشد را بهبود بخشد (Palmquist, 2004). از نظر فیزیولوژیکی، افزودن چربی به جیره باعث افزایش تراکم انرژی می‌شود و در حد بهینه می‌تواند انرژی بیش‌تری بدون افزایش حجم خوراک در اختیار حیوان قرار دهد. این

موضوع به‌ویژه در گوساله‌های شیرخوار که ظرفیت دستگاه گوارش آن‌ها محدود است، اهمیت دارد (Processi *et al*., 2016). بااین‌حال، مصرف بیش از حد چربی ممکن است باعث کاهش تخمیر فیبر در شکمبه و مهار رشد میکروارگانیسم‌های فیبرخوار شود که این امر هضم مواد مغذی را کاهش می‌دهد (Behan *et al*., 2019).

اسیدهای چرب غیراشباع بلندزنجیر، به‌ویژه زمانی‌که غیرمحافظت‌شده به شکمبه برسند، می‌توانند ساختار غشاهای میکروبی را مختل و فعالیت آنزیم‌های تخمیری را مهار کنند (Wang *et al*., 2004). این مکانیسم می‌تواند دلیل کاهش نسبی کارایی رشد در سطح بالاتر مکمل لیپیدول باشد. علاوه بر تأثیرات شکمبه‌ای، مصرف بیش از حد چربی ممکن است متابولیسم کبدی را نیز تحت تأثیر قرار دهد. افزایش اسیدهای چرب آزاد در خون می‌تواند فشار متابولیکی کبد را بالا ببرد و در صورت عدم تعادل بین اکسیداسیون و ترشح لیپوپروتئین‌ها، موجب تجمع چربی در کبد و کاهش کارایی متابولیسم انرژی شود (Drackley *et al*., 2001). این پدیده در برخی مطالعات با افزایش شاخص‌های بیوشیمیایی کبد و تغییرات عملکردی همراه بوده است (Drackley *et al*., 2005). بنابراین، به‌نظر می‌رسد سطح ۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول تعادل مناسبی بین تأمین انرژی اضافی و جلوگیری از اثرات منفی گوارشی یا متابولیکی ایجاد کرده است.

یافته‌ها نشان دادند که شاخص‌های هماتولوژی مانند تعداد گلبول های سفید و قرمز، مقدار هموگلوبین و درصد هماتوکریت بین تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشتند، اما فعالیت آنزیم آسپارتات ترانس‌آمیناز و غلظت اوره سرمی در تیمار تغذیه‌شده با ۰/۳ درصد مکمل لیپیدول همراه با سه درصد پودر چربی به‌طور قابل‌توجهی بالاتر بود. این نشان می‌دهد که افزایش پودر چربی ممکن است بار متابولیکی کبد را افزایش دهد و یا متابولیسم نیتروژن را تغییر دهد، درحالی‌که پاسخ ایمنی سلولی و پارامترهای خونی پایه نسبتاً پایدار باقی مانده‌اند. از دیدگاه زیست‌فیزیولوژیک، افزایش ورود لیپید به گردش خون و کبد باعث بالارفتن غلظت اسیدهای چرب آزاد و افزایش نیاز به اکسیداسیون در سلول‌های کبدی می‌شود. اگر این ظرفیت محدود شود، تجمع چربی و اختلال عملکردی کبد ممکن است رخ دهد که معمولاً با افزایش غلظت آنزیم آسپارتات ترانس آمیناز در خون همراه است (Jolalzadeh *et al*., 2019). این سازوکار با افزایش غلظت آنزیم آسپارتات ترانس آمیناز خون مشاهده‌شده در تیمار چهار سازگار است. عدم مشاهده تغییرات معنی‌دار در غلظت آنزیم آلانین ترانس‌آمیناز (ALT) که معمولاً نشانگر آسیب ساختاری به سلول‌های کبدی است حاکی از آن است که تغییرات مشاهده‌شده در تیمار چهار، به احتمال زیاد ناشی از فشار متابولیکی یا تغییرات عملکردی خفیف بوده و نه آسیب سلولی واضح یا تخریب ساختاری کبد. از منظر میکروبی و گوارشی، مصرف سطوح بالاتر چربی می‌توانند تخمیر شکمبه را تغییر دهند و نسبت و میزان تولید اسیدهای چرب فرّار را دگرگون کنند که این موضوع می‌تواند متابولیسم کبدی و پروتئین را تحت تأثیر قرار دهد. هم‌چنین نوع چربی، مثلاً منابع حاوی اسیدهای چرب n-3 مانند روغن ماهی در برابر منابع با اسیدهای چرب n-6 غالب، می‌تواند پاسخ‌های التهابی و ایمنی را تغییر دهد. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که افزودن منابع مختلف چربی می‌تواند پروفایل التهابی را تعدیل کند، البته این اثرات وابسته به دوز، فرم چربی و شرایط محیطی است (Beckett *et al*., 2024). مهرانی و همکاران (۱۴۰۴) اضافه‌نمودن دانه و روغن گلرنگ به‌عنوان منبع اسیدچرب غیر اشباع سبب کاهش غلظت کورتیزول، مالون‌دی‌آلدهید، اسیدهای چرب غیر استریفه و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل شد.

افزایش اوره سرمی نیز می‌تواند ناشی از دو عامل اصلی باشد؛ افزایش کاتابولیسم پروتئین و تولید اوره در کبد یا کاهش دفع اوره توسط کلیه (که در حیوانات سالم کم‌تر محتمل است). درصورتی‌که انرژی جیره افزایش یابد ولی تعادل بین انرژی و پروتئین رعایت نشود، ممکن است اوره سرمی افزایش یابد. مطالعات نشان داده‌اند نوع منبع چربی و نسبت اسیدهای چرب n-3 نسبت به n-6 می‌تواند هم رشد و هم پروفایل متابولیت‌های خون و نشانگرهای التهابی را تغییر دهد. بنابراین، تغییرات غلظت اوره خون ممکن است منعکس‌کننده تغییر در متابولیسم نیتروژن و پیام‌رسانی کبدی باشد (Chumpawadee *et al*., 2006).

نتایج اندازه‌گیری علائم حیاتی (نرخ تنفس، ضربان قلب و دمای رکتوم) در سنین ۳۰ و ۶۰ روزگی نشان داد که سطوح مختلف مکمل لیپیدول و پودر چربی در جیره، هیچ تغییر معنی‌داری در این شاخص‌ها ایجاد نکردند. مقادیر به‌دست‌آمده در همه تیمارها در محدوده طبیعی فیزیولوژیک برای گوساله‌های سالم بود که نشان می‌دهد هیچ‌گونه استرس حرارتی، قلبی یا تنفسی و فشار متابولیکی حادی رخ نداده است. علائم حیاتی شاخص‌هایی غیرتهاجمی برای ارزیابی سلامت عمومی و پاسخ به استرس‌های محیطی یا تغذیه‌ای هستند. ثابت‌ماندن آن‌ها بیانگر این است که استفاده از سطوح ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد مکمل لیپیدول و پودر چربی نه‌تنها باعث اختلال در دمای بدن یا متابولیسم پایه نشده، بلکه احتمالاً با تطابق متابولیکی بدن همخوانی دارد. مطالعات قبلی نیز گزارش کرده‌اند که افزودن چربی‌های محافظت‌شده یا اسیدهای چرب خاص به جیره گوساله‌ها، در محدوده مصرف معین، تغییر معنی‌داری در ضربان قلب، نرخ تنفس و دمای بدن ایجاد نمی‌کند و بیش‌تر بر شاخص‌های رشد، متابولیسم انرژی یا پاسخ‌های ایمنی تأثیر دارد (Duan *et al*., 2025). یکی از دلایل احتمالی این عدم تغییر، توان بالای گوساله‌های شیرخوار در تنظیم متابولیسم لیپید و حفظ تعادل حرارتی و قلبی– تنفسی است. وقتی منابع چربی به‌گونه‌ای انتخاب و فرآوری شوند که به تدریج هضم و جذب شوند (مانند پودر چربی یا چربی‌های محافظت‌شده)، احتمال بروز تغییرات ناگهانی در تولید حرارت و پاسخ‌های قلبی کاهش می‌یابد. هم‌چنین نبود تغییر معنی‌دار در دمای رکتوم نشان می‌دهد مصرف چربی در مقادیر آزمایشی باعث ایجاد گرمای متابولیک اضافی یا استرس حرارتی نشده است، موضوعی که با یافته‌های مشابه در گاوهای شیرده و گوساله‌های جوان نیز مطابقت دارد (Manriquez *et al*., 2019).

بررسی شانس ابتلا به بیماری‌های اسهال و پنومونی نشان داد که افزودن مکمل‌های لیپیدول و پودر چربی تأثیر معنی‌داری بر احتمال بروز این بیماری‌ها نداشت. نسبت شانس ابتلا در تمامی تیمارهای آزمایشی در مقایسه با گروه کنترل اختلاف معنی‌داری نداشت و دامنه اطمینان وسیع شامل عدد یک بود که نشان می‌دهد تغییرات مشاهده‌شده احتمالاً ناشی از عوامل تصادفی بوده و اهمیت بیولوژیکی قابل‌توجهی ندارند. این نتایج با یافته‌های پژوهش‌های پیشین همخوانی دارد که نشان می‌دهد افزودن منابع چربی به جیره در محدوده‌های معقول تأثیر چشم‌گیری بر بروز بیماری‌های عفونی گوارشی و تنفسی ندارد. احتمالاً سیستم ایمنی گوساله‌ها تحت تأثیر عوامل متعددی مانند شرایط بهداشتی، مدیریت و محیط است و تنها تغییر چربی جیره به تنهایی، به ویژه در دوزهای مورداستفاده، نمی‌تواند حساسیت به بیماری را به شکل معنی‌داری تغییر دهد (Hill *et al*., 2011).

از نظر فیزیولوژیکی، استفاده از مکمل لیپیدول و پودر چربی ممکن است بهبود متابولیسم انرژی و تأمین اسیدهای چرب ضروری را تسهیل کنند، اما این بهبودها به تنهایی نمی‌تواند مقاومت ایمنی را به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد مگر آن‌که با سایر مداخلات تغذیه‌ای و مدیریتی همراه باشد. مطالعات نشان داده‌اند که اثر مکمل‌های چربی بر پارامترهای ایمنی مانند تعداد گلبول‌های سفید و پاسخ‌های التهابی بسیار متغیر بوده و به نوع چربی، میزان مصرف و سن حیوان وابسته است (Śpitalniak-Bajerska *et al*., 2020). با توجه به دامنه اطمینان گسترده نسبت شانس ابتلا در این مطالعه، احتمالاً حجم نمونه محدود بوده و برای تشخیص تفاوت‌های جزئی در شیوع بیماری‌ها کافی نبوده است. بنابراین، برای بررسی دقیق‌تر تأثیر این مکمل‌ها بر سلامت ایمنی گوساله‌ها، مطالعات با حجم نمونه بیش‌تر و طراحی طولی توصیه می‌شود.

۵. نتیجه‌گیری

این یافته‌ها حاکی از آن است که مصرف سطوح متوسط لیپیدول و پودر چربی می‌تواند بدون ایجاد اختلالات فیزیولوژیکی یا افزایش ریسک بیماری رشد را بهبود بخشد. در نهایت، پیشنهاد می‌شود استفاده از ۰/۱۵ درصد مکمل لیپیدول به‌عنوان سطح بهینه در جیره گوساله‌های شیرخوار مدنظر قرار گیرد.

۶. ملاحظات اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع موردتأیید همه آن‌هاست.

۷. مشارکت نویسندگان

علیرضا علیپور: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تهیه پیش‌نویس مقاله؛

تقی قورچی: استاد راهنمای رساله، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله؛

عبدالحکیم توغدری: استاد مشاور رساله، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، آنالیز آماری داده‌ها.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹.حامی مالی

مقاله حاضر در قالب رساله دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان می‌باشد.

۱۰. تشکر و قدردانی

از مدیریت مجتمع گاوداری شرکت دام‌گستران کویر یزد و شرکت کیمیا رشد صنعت البرز جهت تهیه پودر چربی، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۱۱. منابع

احمدی خطیر، امیر؛ قورچی، تقی؛ توغدری، عبدالحکیم و اسدی، محمد (۱۴۰۴). تأثیر تغذیه شیر غنی‌شده با مکمل‌های معدنی، آلی و نانوذرات کروم بر عملکرد، قابلیت‌هضم مواد مغذی، رفتارهای تغذیه‌ای و ساخت پروتئین میکروبی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین در شرایط تنش گرمایی. *تولیدات دامی*، ۲۷ (۲)، ۱۴۶-۱۳۳. 10.22059/jap.2025.385179.623815

مهرانی، کتایون؛ قورچی، تقی و توغدری، عبدالحکیم (۱۴۰۴). تأثیر منابع مختلف چربی بر علائم حیاتی، فراسنجه‌های خونی و هماتولوژی میش‌های آبستن و غیرآبستن در شرایط تنش گرمایی. *نشریه علوم دامی ایران*، ۵۶(۴)، ۷۹۱-۷۶۷. 10.22059/ijas.2025.387547.654051

References

Ahmadikhatir, A., Ghoorchi,T., Toghdory, T., & Asadi, M. (2025). The effect of feeding milk enriched with inorganic, organic and chromium nanoparticles supplements on performance, digestibility of nutrients, feeding behaviors and microbial protein synthesis of Holstein suckling calves under heat stress conditions. *Journal of Animal Production*, 27(2), 133-146. https://doi.org/10.22059/jap.2025.385179.623815

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.

Baee, H., Ghoorchi, T., Toghdory, T., & Mokhtarpour, A. (2023). Growth performance, ruminal fermentation characteristics and microbial protein synthesis of lambs fed palmitic and stearic acid. *Animal Feed Science and Technology*, 302. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115674

Beckett, L. M., Malacco, V. M., Gouveia, K. M., Mann, A., Andolino, C. J., Harlow, K., & Donkin, S. S. (2024). Long-chain fatty acids mediate hepatic metabolic flux in preruminating dairy calves fed flaxseed oil, high oleic soybean oil, or milk fat. *Journal of Dairy Science*, *107*(10), 7932-7950. https://doi.org/10.3168/jds.2023-24500.

Behan, A.A., Loh, T.C., Fakurazi, S., Kaka, U., Kaka, A., & Samsudin, A.A. (2019). Effects of supplementation of rumen protected fats on rumen ecology and digestibility of nutrients in sheep. *Animals*, 9(7), 400. https://doi:10.3390/ani9070400

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. https://doi.org/10.3382/ps/pew269

Chumpawadee, S., Sommart, K., Vongpralub, T., & Pattarajinda, V. (2005). Effects of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release on ruminal fermentation, microbial protein synthesis, blood urea nitrogen and nutrient digestibility in beef cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *19*(2), 181-188. https://doi.org/10.5713/ajas.2006.181

Drackley, J.K., Dann, H.M., Douglas, N., Guretzky, N.A.J., Litherland, N.B., Underwood, J.P., & Loor, J.J. (2005). Physiological and pathological adaptations in dairy cows that may increase susceptibility to periparturient diseases and disorders. *Italian Journal of Animal Science*, 4(4), 323-344. https://doi.org/10.4081/ijas.2005.323

Drackley, J.K., Overton, T.R., & Douglas, G.N. (2001). Adaptations of glucose and long-chain fatty acid metabolism in liver of dairy cows during the periparturient period. *Journal of Dairy Science*, 84, 100-112. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70204-4

Duan, H., Zhang, J., Li, N., Chen, L., Chen, D., Yang, H., & Mao, S. (2025). Anti-heat stress lick block supplementation alleviated the detrimental effects of heat stress on dairy cows. *Frontiers in Veterinary Science*, *12*, 1562964. https://doi.org/doi.org/10.3389/fvets.2025.1562964

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. https://doi.org/doi.org/10.3168/jds.2014-8384

Ghoorchi,T., Gharabash, A.M., & Torbatinejad, N.M., (2006).Effect of calcium salt of long chain fatty acid on performance and blood metabolites of Atabay lambs. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, (1), 70-75. https://doi.org/10.3923/ajava.2006.70.75

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. https://doi.org/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. https://doi.org/10.3168/jds.2010-3935

Jolazadeh, A.R., Mohammadabadi, T., Dehghan-Banadaky, M., Chaji, M., & Garcia, M. (2019). Effect of supplementation fat during the last 3 weeks of uterine life and the preweaning period on performance, ruminal fermentation, blood metabolites, passive immunity and health of the newborn calf. *British Journal of Nutrition*, 122(12), 1346-1358.

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. https://doi.org/10.3168/jds.2013-7160

Lowe, G. L., Sutherland, M. A., Waas, J. R., Schaefer, A. L., Cox, N. R., & Stewart, M. (2019). Infrared thermography—A non-invasive method of measuring respiration rate in calves. *Animals*, 9(8), Article 535. https://doi.org/10.3390/ani9080535

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. https://doi:10.1093/jas/skad293

Manriquez, D., Chen, L., Melendez, P., & Pinedo, P. (2019). The effect of an organic rumen-protected fat supplement on performance, metabolic status, and health of dairy cows. *BMC Veterinary Research*, *15*(1), 450.

Mehrani, K., Ghoorchi, T., & Toghdory, A. (2025). The effect of different fat sources on vital signs, blood parameters and hematology of pregnant and non-pregnant ewes under heat stress conditions. *Iranian Journal of Animal Science*, 56 (4), 767-790. DOI: https://doi.org/10.22059/ijas.2025.387547.654051

Palmquist, D.L. (2004). Palm fats for livestock feeding. *Palm Oil Dev*, 40, 10-16.

Piccione, G., Caola, G., & Refinetti, R. (2003). Daily rhythms of blood pressure, heart rate, and body temperature in fed and fasted male calves. *Biological Rhythm Research*, 34(4), 363-371. https://doi.org/10.1076/brhm.34.4.363.26222

Processi, E.F., Fontes, C.A.D.A., Vieira, R.A.M., Bendia, L.C.R., Rocha, T.C., Fernandes, A.M., & Cunha, J.M. (2016). Degradability and kinetics of fibrous particles in cattle fed diets based on corn silage and concentrates with or without addition of lipids. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45(12), 773-780. https://doi.org/10.1590/S1806-92902016001200007

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. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19406

Śpitalniak-Bajerska, K., Szumny, A., Pogoda-Sewerniak, K., & Kupczyński, R. (2020). Effects of n-3 fatty acids on growth, antioxidant status, and immunity of preweaned dairy calves. *Journal of Dairy Science*, *103*(3), 2864-2876. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17001

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. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.04.034

Wang, A.S., Jan, D.F., Chen, K.J., Yang, D.W., & Fan, Y.K. (2004). Dietary supplementation of fat increased milk fat percentage without affecting ruminal characteristics in Holstein cows in a warm tropical environment. *Asian-australasian Journal of Animal Sciences*, 17(2), 213-220. https://doi.org/10.5713/ajas.2004.213

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. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.07.020

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. https://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. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.06.007