



Research Article

Vol. 17, No.3, 2025, p. 307-322

The effect of different levels of protected sodium butyrate on feed intake, growth performance and some blood parameters in Holstein dairy calves

Hamidreza Khajavi^{1,3*}, Saeid Sobhani Rad^{2,3}, Mohammad Taghavi³, Hadi Ghorbani PharmD³, Masoud Ainechian³

1- Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Department of Agricultural Science, Ma.C., Islamic Azad University, Mashhad, Iran

3- Razavi Industrial Animal Husbandry and Dairy Company, Mashhad, Iran

*Corresponding Author's Email: khajavihamidreza@gmail.com

How to cite this article:

Received: 14-04-2025

Revised: 21-07-2025

Accepted: 21-07-2025

Available Online: 05-10-2025

Khajavi, H., Sobhani Rad, S., Taghavi, M., Ghorbani PharmD, H., & Ainechian, M. (2025). The effect of different levels of protected sodium butyrate on feed intake, growth performance and some blood parameters in Holstein dairy calves. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 17(3), 307-322. (in Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.92885.1245>

Introduction: Whole milk is a highly digestible food for calves. Calves receive 10 to 12 percent of their body weight in milk daily. Therefore, the lactation period is the foundation for the health and proper growth of calves. Adequate growth in proportion to the genetic potential of the animal can reduce the age of puberty of calves and the slaughter age of male calves. The high price of milk, long-term feeding of calves with milk or milk replacer is not economically viable for the farmer, and the cost of a growing replacement heifer is still high. Advanced management allows for earlier weaning, as it reduces the cost of raising replacement animals. Strong heifers with proper growth after weaning can be introduced into the herd earlier (Naserian, 2005). Therefore, the rumen should be activated as soon as possible and with appropriate feeding programs to allow for early weaning of calves. The development of the digestive tract of suckling calves affects feed intake, digestion efficiency and resistance to digestive disorders and consequently their growth and health, any method that enhances these processes is highly desirable. In newborn calves in the first weeks of life, it is expected that most of the supplemented butyrate in a protected form will pass through the rumen and abomasum and be delivered to the small intestine, where it has a local effect on the intestinal epithelium. In general, the recommended level of butyrate supplementation in calf feed is low or very low. The use of protected butyrate in starter at a level of 0.3% of dry matter is recommended because it is sufficient to have a stimulating effect on the growth of the digestive tract and improve growth performance. Therefore, the present study was conducted to investigate the effect of different levels of preserved sodium butyrate on feed intake, growth performance, blood parameters, oxidative stress parameters, and skeletal traits in suckling Holstein calves.

Materials and Methods: This experiment was conducted using 42 male calves with an average weight of 44 kg in a completely randomized design with three treatments (including levels of 0, 0.25, and 0.5% preserved sodium butyrate) and 14 replications in each treatment. Health and breeding management were applied according to common standards. The duration of the experimental period was 70 days and was considered until weaning. The performance of the calves was measured by weighing their body weight at the beginning of the period and weekly. Feed and water were provided to the animals ad libitum, and the amount of feed and the remaining feed were collected and weighed the next day. Finally, the dry matter intake was measured based on the amount of feed consumed and the body weight gain obtained in different treatments. The measured traits included dry matter intake,



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.92885.1245>

average body weight gain, feed conversion ratio, blood parameters, oxidative stress parameters, and skeletal traits.

Result and Discussion: The effects of experimental treatments on dry matter intake, average body weight gain, and average feed conversion ratio on body weight of suckling calves as performance indicators were not significant. At 25 days of rearing, different levels of protected sodium butyrate supplementation had no significant effect on total protein and cholesterol. However, significant effects were observed on albumin, glucose, triglycerides, urea, and beta-hydroxybutyrate. The effect of different levels of protected sodium butyrate supplementation on serum alanine aminotransferase enzyme was not significant on day 25 of the rearing period. The effect of different levels of protected sodium butyrate supplementation on liver enzymes including aspartate aminotransferase, antioxidant capacity and malondialdehyde was significant on day 25 of the rearing period. The effect of different levels of protected sodium butyrate supplementation on aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase and serum antioxidant capacity was not significant on day 50 of the rearing period. The effect of different levels of protected sodium butyrate supplementation on malondialdehyde, total protein, triglyceride and urea was significant on day 50 of the rearing period. The effect of different levels of protected sodium butyrate supplementation on body length and hip height in suckling calves was significant at the end of the weaning period. Also, the effect of different levels of protected sodium butyrate supplementation on chest circumference, withers height, pin width, and hip width in suckling calves at the end of the weaning period was not significant.

Conclusion: In general, these findings indicate that protected sodium butyrate not only affects energy metabolism (through increased beta-hydroxybutyrate), but also plays a protective role in liver health by improving blood parameters such as total protein and reducing oxidative stress (decreased MDA and increased TAC). The use of protected sodium butyrate supplementation, particularly at the 0.5% level, can be recommended as an effective strategy to enhance metabolic health and reduce oxidative damage in suckling calves.

Keywords: Beta-hydroxybutyrate, Calves, Oxidative stress, Total antioxidant capacity

تأثیر سطوح متفاوت سدیم بوتیرات محافظت شده بر مصرف خوراک، عملکرد رشد و برخی از فراسنجه‌های خونی در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

حمیدرضا خواجه‌جوی^{۱*}، سعید سبحانی راد^۲، محمد تقوی^۳، هادی قربانی فارمد^۳، مسعود آئینه چیان^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۳۰

چکیده

مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر سطوح متفاوت سدیم بوتیرات محافظت شده بر مصرف خوراک، عملکرد رشد و برخی از فراسنجه‌های خونی در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین انجام شد. تعداد ۴۲ راس گوساله شیرخوار به سه تیمار (شامل سطوح صفر، ۰/۲۵، و ۰/۵ درصد سدیم بوتیرات محافظت شده) و ۱۴ تکرار در در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. صفات اندازه‌گیری شده شامل ماده خشک مصرفی، میانگین افزایش وزن بدن، ضریب تبدیل غذایی و برخی از فراسنجه‌های خونی و صفات اسکلتی بود. اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان ماده خشک مصرفی، میانگین افزایش وزن بدن و میانگین ضریب تبدیل خوراک مصرفی بر وزن بدن گوساله‌های شیرخوار به‌عنوان شاخص‌های عملکرد معنی‌دار نبود. اثر سطوح متفاوت سدیم بوتیرات محافظت شده بر مالون دی‌آلدئید، پروتئین تام، تری‌گلیسیرید و اوره در ۵۰ روزگی دوره پرورش معنی‌دار شد. اثر سطوح متفاوت سدیم بوتیرات محافظت شده بر طول بدن و ارتفاع هیپ در گوساله‌های شیرخوار در انتهای دوره از شیرگیری معنی‌دار شد. به‌طور کلی، این یافته‌ها حاکی از آن است که سدیم بوتیرات محافظت شده نه تنها بر متابولیسم انرژی (از طریق افزایش بتا-هیدروکسی بوتیرات) تأثیرگذار است، بلکه با بهبود شاخص‌های خونی مانند پروتئین تام و کاهش تنش اکسیداتیو (کاهش مالون دی‌آلدئید و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام) نقش محافظتی در سلامت کبد ایفا می‌کند. استفاده از سدیم بوتیرات محافظت شده به‌ویژه در سطح ۰/۵۰ درصد، به‌عنوان راهکاری مؤثر برای ارتقاء سلامت متابولیک و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو در گوساله‌های شیرخوار قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: استرس اکسیداتیو، بتا‌هیدروکسی بوتیرات، ظرفیت آنتی اکسیدانی کل، گوساله

مقدمه

شیر کامل، غذایی با قابلیت هضم بالا برای گوساله‌ها است و آن‌ها روزانه به‌میزان ۱۰ تا ۱۲ درصد وزن بدن خود، شیر دریافت می‌کنند. با این حال، تغذیه طولانی مدت گوساله‌ها با شیر یا جایگزین شیر، به دلیل قیمت بالای آن از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. دوره شیرخوارگی پایه و اساس سلامتی و رشد مناسب گوساله است و رشد کافی و متناسب با توان ژنتیکی حیوان می‌تواند سن بلوغ و سن کشتار گوساله‌ها را کاهش دهد. مدیریت پیشرفته در تغذیه گوساله‌ها امکان از شیرگیری زودتر را فراهم می‌کند که این امر به کاهش هزینه پرورش حیوانات جایگزین کمک می‌کند و تلیسه‌های قوی و با رشد مناسب بعد از شیرگیری را می‌توان زودتر در گله جایگزین کرد

(Naserian et al., 2005). بنابراین فعال کردن شکمبه با برنامه‌های

غذایی مناسب برای از شیرگیری زودتر گوساله‌ها ضروری است. توسعه مناسب شکمبه که برای عمل از شیرگیری ضروری است، به آغاز مصرف کنسانتره وابسته می‌باشد؛ بنابراین شروع تغذیه با کنسانتره در سنین پایین‌تر، امکان از شیرگیری زود هنگام را فراهم می‌کند، اما گوساله باید از نظر فیزیولوژیکی به قدر کافی رشد کرده باشد تا قادر به استفاده از غذای جامد باشد (Naserian et al., 2005). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر، به‌ویژه اسید بوتیریک و اسید پروپیونیک، نقش کلیدی در تحریک توسعه و بلوغ شکمبه دارند. ترکیب متفاوت کنسانتره و علوفه می‌تواند نسبت‌های مختلفی از این اسیدهای چرب را تولید کند و به این ترتیب، تأثیرات متفاوتی بر رشد و تکامل شکمبه در حیوانات شیرخوار بگذارد (Van Soest, 1994). بیشترین تغییرات فیزیکی و افزایش تولید اسیدهای چرب فرار در شکمبه از زمانی آغاز می‌شود که خوراک جامد مورد استفاده قرار می‌گیرد. برخی از مواد افزودنی نیز الگوی تخمیر شکمبه‌ای را تغییر می‌دهند که منجر به تغییر بازدهی مصرف

۱- گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- گروه علوم کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۳- شرکت دامپروری صنعتی و لبنی رضوی، مشهد، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: khajavihamidreza@ymail.com).

<https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.92885.1245>

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در واحد دامپروری کنه بیست شرکت صنایع دامپروری و لبنی آستان قدس رضوی در شهرستان مشهد استان خراسان رضوی انجام شد. در این آزمایش، ۴۲ راس گوساله تازه متولدشده نر با میانگین وزن $1/2 \pm 44$ کیلوگرم و سن ۱۴ روزگی انتخاب شدند. پس از آماده‌سازی بستر و جایگاه، گوساله‌ها به‌طور تصادفی به سه گروه آزمایشی تقسیم شدند، هر گروه شامل ۱۴ رأس گوساله بود. جیره‌های مورد آزمایش شامل شاهد (جیره آغازین بدون افزودنی)، جیره پایه حاوی ۰/۲۵ درصد سدیم بوتیرات محافظت‌شده (Innovad Company, Belgium)، و جیره پایه حاوی ۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات محافظت‌شده بودند (Górka et al., 2018). دوره آزمایش به مدت ۷۰ روز تا زمان از شیرگیری ادامه داشت. اجزاء و ترکیب مواد مغذی و انرژی جیره پایه تغذیه‌شده در جدول ۱ آورده شده است (Górka et al., 2018).

عملکرد گوساله‌ها از طریق اندازه‌گیری وزن بدن در آغاز دوره و به‌صورت هفتگی مورد ارزیابی قرار گرفت. خوراک مصرفی به‌صورت دسترسی آزاد در اختیار حیوانات قرار گرفت و مقدار آن هنگام تخصیص خوراک وزن شد. همچنین باقی‌مانده خوراک در روز بعد جمع‌آوری و توزین شد. در نهایت، بازده ماده خشک مصرفی براساس میزان خوراک مصرفی و افزایش وزن به‌دست‌آمده در تیمارهای مختلف محاسبه شد. مشخصه‌های رشد اسکلتی در تمام گوساله‌ها شامل محیط شکم، محیط قفسه سینه، عرض بین استخوان هیپ، طول بدن، ارتفاع کیل و ارتفاع جدوگاه در ابتدای آزمایش اندازه‌گیری و ثبت شد و سپس این اندازه‌گیری‌ها در انتهای دوره آزمایشی نیز تکرار گردید.

خون‌گیری از سیاهرگ وداج با استفاده از لوله‌های خلأ هفت میلی‌لیتری، صبح روز ۲۵ و ۵۰ دوره آزمایش قبل از تغذیه شیر وعده صبح انجام شد. بلافاصله نمونه‌های خون به آزمایشگاه شرکت صنایع لبنی و دامپروری رضوی منتقل و به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند تا سرم از آن جدا گردد. سپس سرم‌ها در میکروتیوب‌های دو میلی‌لیتری ریخته شده و تا زمان آنالیز فراستجه‌های خونی در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری گردید. آنالیز فراستجه‌های خونی شامل گلوکز، پروتئین تام، آلومین، گلوبولین، کلسترول، تری‌گلیسرید، نیتروژن اوره‌ای خون، آسپارات آمینو ترانسفراز، آلانین آمینو ترانسفراز با استفاده از کیت‌های آزمایشی شرکت پارس آزمون ایران و بتاهیدروکسی بوتیرات و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام (TAC^۱) با کیت Randax انگلستان و مالون‌دی‌آلدئید به‌روش شیمیایی TBR^۲ با استفاده از دستگاه اتوآنالایزر مدل Alcyon در آزمایشگاه مرکز تحقیقات کاربردی

خوراک و در نهایت رشد و افزایش وزن می‌شود.

اسید بوتیریک و نمک‌های آن (مانند سدیم بوتیرات و کلسیم) از طریق چندین سازوکار کلیدی به بهبود سلامت و عملکرد گوساله‌ها کمک می‌کنند. این ترکیبات به‌عنوان منبع انرژی برای سلول‌های پوششی روده (انتروسیت‌ها) عمل کرده و با حفظ یکپارچگی سد روده‌ای، از نفوذ بیمارگرها و مواد مضر جلوگیری می‌کنند. از سوی دیگر، با کاهش pH محیط روده، شرایط را برای رشد باکتری‌های مفید مطلوب‌تر کرده و همزمان از تکثیر باکتری‌های بیماری‌زا جلوگیری می‌کنند. این اثر ضد میکروبی به پیشگیری از اسهال و التهاب‌های گوارشی در گوساله‌های جوان منجر می‌شود. علاوه بر این، اسید بوتیریک با تحریک رشد پرزهای روده، سطح جذب را افزایش داده و بهینه‌سازی استفاده از مواد مغذی را در پی دارد. این امر نه تنها بهبود افزایش وزن روزانه و رشد هماهنگ گوساله‌ها را به دنبال دارد، بلکه در بلندمدت منجر به کاهش تلفات دوره شیرخوارگی، ارتقاء سلامت دستگاه گوارش و در نهایت بهبود شاخص‌های تولیدی می‌شود. بنابراین، استفاده از این ترکیبات در جیره آغازین گوساله‌ها می‌تواند نقش مهمی در مدیریت تغذیه‌ای و بهره‌وری گله ایفا کند (Guilloteau et al., 2010). برای پایداری و خوش‌خوراکی بیشتر، بوتیرات به‌صورت نمک (سدیم بوتیرات یا کلسیم بوتیرات) استفاده می‌شود. این نمک‌ها اثرات مستقیمی بر دستگاه گوارش و قسمت‌های خلفی آن دارند و اثرات غیرمستقیمی بر لوزالمعده و روده کوچک دارند (Mentschel et al., 2001). مطالعات بر روی گوساله (Kotunia et al., 2004) و بره‌های از شیر گرفته‌شده (Le Gall et al., 2009) نشان داده‌اند که مصرف سدیم بوتیرات منجر به بهبود عملکرد تغذیه‌ای و شیرگیری زودتر پس از تولد می‌شود. در گوساله‌های تازه متولدشده، انتظار می‌رود که در هفته‌های اول زندگی، بیشتر بوتیرات مکمل شده به‌شکل محافظت‌شده، از شکمبه و شیردان عبور کرده و به روده کوچک تحویل داده شود، جایی که اثر موضعی بر اپیتلیوم روده دارد. مزیت بالقوه استفاده از این شکل بوتیرات در خوراک جامد، انتشار کندتر و پایدارتر بوتیرات در شکمبه و در نتیجه تسریع رشد شکمبه می‌باشد (Górka et al., 2011a; Kowalski et al., 2015). با توجه به اینکه تاکنون از سدیم بوتیرات محافظت‌شده در تغذیه گوساله‌های تازه متولدشده کمتر استفاده شده است و تأثیر آن بر افزایش وزن بدن، سرعت رشد، سن و وزن در زمان شیرگیری در دوره شیرخوارگی به‌عنوان یک عامل مهم در افزایش عملکرد گوساله‌های شیرخوار مورد بررسی قرار نگرفته است، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر سطوح متفاوت سدیم بوتیرات محافظت‌شده بر مصرف خوراک، عملکرد رشد و برخی از فراسنجه‌های خونی در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین انجام شد.

1- Total Antioxidant Capacity

2- Thiobarbituric acid reactive substances

دارویی تبریز اندازه گیری شدند. کلیه داده های به دست آمده از آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار و ۱۴ تکرار توسط نرم افزار آماری SAS (نسخه ۹،۱) به شرح زیر مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

معادله (۱)

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

که در آن، Y_{ij} : مقدار هر مشاهده، μ : اثر میانگین جامعه، T_i : اثر ثابت تیمار و ε_{ij} : اثر خطای آزمایش می باشد. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون توکی در سطح پنج درصد خطا انجام شد.

جدول ۱- مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره پایه آزمایشی تغذیه شده به گوساله های شیرخوار هلشتاین

Table 1- Feed ingredients and chemical composition of the basal experimental diet fed to Holstein suckling calves

مواد تشکیل دهنده Feed ingredients	درصد ماده خشک % DM
یونجه خشک Legume hay, mature	7.30
دانه ذرت Corn grain dry, medium grind	24.90
ذرت فلیک شده Corn grain, steam-flaked	23.65
دانه جو Barley grain, dry, ground	2.12
کنجاله سویا Soybean meal, expellers	20.42
کنجاله کلزا Canola meal	2.78
فول فت سویا Soybeans, whole roasted	4.93
کنجاله گلوتن ذرت Corn gluten meal	2.83
سبوس گندم Wheat bran	4.22
تقاله خشک چغندر Beet pulp, dry	2.88
پرمیکس ویتامین E Vit E premix	0.31
سدیم بی کربنات Sodium bicarbonate	0.52
مکمل ویتامینه ^۱ Vitamin supplement	1.91
سدیم بنتونیت Sodium bentonite	0.41
دی کلسیم فسفات DCP	0.20
کلسیم کربنات Calcium carbonate	0.72
سدیم کلرید Sodium chloride (salt)	0.62
اکسید منیزیم Magnesium oxide	0.20
مکمل معدنی ^۲ Mineral supplement	0.64
مخمر Yeast	0.20

مواد مغذی و انرژی	
Nutrients and energy	
ماده خشک (درصد)	88.80
Dry matter (%)	
انرژی قابل متابولیسم (مگا کالری در کیلوگرم ماده خشک)	3.26
Metabolizable energy (Mcal/kg DM)	
فیبر نامحلول در شوینده خنثی	16.10
Neutral detergent fiber (%)	
فیبر نامحلول در شوینده اسیدی	8.70
Acid detergent fiber (%)	
پروتئین خام (درصد)	20.30
Crude protein (%)	
نشاسته (درصد)	37.30
Starch (%)	
خاکستر خام (درصد)	9.00
Ash (%)	
کلسیم (درصد)	0.68
Calcium (%)	
فسفر (درصد)	0.51
Phosphorus (%)	

^۱ ترکیب مکمل ویتامینه در هر کیلوگرم شامل: ۵۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A و ۱۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D₃

^۱ Complementary composition of vitamins: Premix composition per kg: vitamin A, 500000 IU; vitamin D₃, 100000 IU

^۲ ترکیب مکمل معدنی در هر کیلوگرم شامل: ۱۹۶۰۰۰ میلی‌گرم کلسیم، ۹۶۰۰۰ میلی‌گرم فسفر، ۱۹۰۰۰ میلی‌گرم منیزیم، ۷۱۰۰۰ میلی‌گرم سدیم، ۳۰۰ میلی‌گرم مس، ۳۰۰۰ میلی‌گرم آهن، ۲۰۰ میلی‌گرم منگنز، ۳۰۰ میلی‌گرم روی، ۱۰۰ میلی‌گرم ید، ۱۰۰ میلی‌گرم کبالت، ۱۰۰ میلی‌گرم سلنیوم

^۲ Complementary compositions of minerals: Ca, 196000 mg; P, 96000 mg; Mg, 19000 mg; Na, 71000 mg; Cu, 300 mg; Fe, 3000 mg; Mn, 200 mg; Zn, 300 mg; I, 100 mg; Co, 100 mg; Se, 100 mg
DCP: Dicalcium Phosphate

نتایج و بحث

مصرف خوراک و عملکرد رشد

نتایج موجود در جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر سطوح مختلف مکمل سدیم بوتیرات محافظت‌شده بر میانگین ماده خشک مصرفی روزانه، میانگین افزایش وزن هفتگی و میانگین ضریب تبدیل خوراک مصرفی گوساله‌های شیرخوار معنی‌دار نشد. نتایج حاصل از مطالعه انجام‌شده بر روی گوساله و گوسفند از شیر گرفته‌شده نشان داده است که مصرف سدیم بوتیرات باعث بهبود عملکرد تغذیه‌ای شده است و در نتیجه زمان از شیرگیری پس از تولد را بهبود می‌بخشد (Hill et al., 2009). سدیم بوتیرات از طریق چند سازوکار کلیدی، قابلیت هضم جیره را بهبود می‌بخشد. این ترکیب با تحریک رشد پره‌های روده و افزایش سطح جذب، توسعه دستگاه گوارش را تسریع می‌کند. همزمان با تنظیم میکروفلور روده و افزایش جمعیت باکتری‌های مفید تولیدکننده آنزیم، تجزیه مواد مغذی را بهبود می‌بخشد. بوتیرات همچنین با کاهش التهاب روده و افزایش ترشح آنزیم‌های گوارشی، بازده استفاده از خوراک را افزایش داده و در نهایت منجر به بهبود قابل توجه در هضم پروتئین‌ها، فیبر و کاهش ضریب تبدیل غذایی می‌شود که همگی در مجموع به افزایش عملکرد رشد گوساله‌ها منجر می‌گردد (Hill et al., 2009).

نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که استفاده از سدیم بوتیرات محافظت‌شده در جیره آغازین گوساله‌ها، تأثیرات متفاوتی بر عملکرد و توسعه دستگاه گوارش داشته است. براساس گزارش گورکا و همکاران (Górka et al., 2011a, 2014)، افزودن سدیم بوتیرات محافظت‌شده با دوز شش گرم بر کیلوگرم پلت استارتر (معادل سه گرم بر کیلوگرم کل جیره) در جیره حاوی مخلوط استارتر پلت‌شده با دانه کامل ذرت منجر به بهبود توسعه پیش‌معد و روده کوچک و همچنین افزایش مصرف خوراک جامد شد. این یافته‌ها حاکی از تأثیر مثبت این ترکیب در دوزهای مناسب بر توسعه دستگاه گوارش و عملکرد تغذیه‌ای گوساله‌ها می‌باشد.

با این حال، مطالعات دیگر نشان داده‌اند که دوزهای بالاتر این مکمل ممکن است اثرات منفی به همراه داشته باشد. وانات و همکاران (Wanat et al., 2015) گزارش کردند که استفاده از سدیم بوتیرات محافظت‌شده با دوزهای سه، شش یا نه گرم بر کیلوگرم ماده خشک در جیره استارتر پلت‌شده، در دوزهای بالاتر از سه گرم بر کیلوگرم ماده خشک اثر منفی بر مصرف خوراک جامد و افزایش وزن روزانه (ADG)^۱ داشته است. این نتایج نشان می‌دهد که دوز بهینه این مکمل باید به‌دقت مورد توجه قرار گیرد.

1- Average Daily Gain

آن تقریباً شش تا هفت می باشد و محیطی خنثی تا قلیایی است)، پوشش به دلیل حساسیت به این تغییر pH یا به خاطر فعالیت آنزیم های خاص روده، تجزیه می شود و بوتیرات آزاد می گردد (He et al., 2025). بنابراین، این طراحی هوشمندانه باعث می شود که بوتیرات بدون تجزیه شدن از محیط اسیدی شیردان عبور کند و به صورت هدفمند در روده باریک آزاد شود، جایی که بیشترین اثر را بر سلامت و رشد گوساله دارد. این فناوری در بسیاری از مکمل های دام و طیور برای عبور از بخش های اسیدی دستگاه گوارش و آزادسازی هدفمند مواد مغذی یا افزودنی ها به کار می رود و این ویژگی باعث می شود که بیش از ۷۰ درصد بوتیرات مصرفی به محل مورد نظر در دستگاه گوارش برسد.

استفاده از بوتیرات محافظت شده سبب بهبود سلول های اپیتلیال روده و سایر بافت ها، افزایش رشد پایلای شکمبه، مهار بیمارگرها و بهبود ضریب تبدیل غذایی می شود (Wanat et al., 2015). اگرچه بوتیرات پوشش دار عمدتاً برای رهایش در روده طراحی شده، اما به صورت غیرمستقیم رشد پایلای شکمبه را نیز تحریک می کند. بخشی از بوتیرات جذب شده از روده وارد گردش خون شده و به شکمبه می رسد، که به عنوان منبع انرژی برای سلول های پوششی شکمبه عمل می کند. همچنین بوتیرات با تحریک ترشح فاکتورهای رشد مانند IGF-1 و بهبود سلامت کلی دستگاه گوارش، توسعه پایلای شکمبه را تسهیل می نماید. این سازوکارها باعث می شوند که بوتیرات محافظت شده، علی رغم هدف گیری اصلی در روده، تأثیر مثبتی بر رشد و تکامل شکمبه نیز داشته باشد.

فراسنجه های خونی گوساله های شیرخوار (۲۵ و ۵۰ روزگی)

نتایج جدول ۳ نشان داد که در ۲۵ روزگی دوره پرورش، سطوح مختلف مکمل سدیم بوتیرات محافظت شده تأثیر معنی داری بر پروتئین تام و کلسترول نداشت ($P > 0.05$)، اما اثرات معنی داری بر آلبومین، گلوکز، تری گلیسیرید، اوره و بتا هیدروکسی بوتیرات مشاهده شد ($P < 0.05$) به طوری که بیشترین میزان آلبومین در شاهد و سطح ۵۰ درصد سدیم بوتیرات محافظت شده (۳/۴۴)، و کمترین آن در سطح ۲۵ درصد (۳/۳۴) ثبت شد. گلوکز نیز بالاترین سطح را در شاهد و سطح ۲۵ درصد (به ترتیب ۱۲۲/۴ و ۱۵۱/۱) و کمترین را در سطح ۵۰ درصد (۱۰۶/۲) نشان داد. بیشترین مقدار تری گلیسیرید در سطح ۵۰ درصد (۲۳.۲۹) و کمترین مقدار در شاهد و سطح ۲۵ درصد (به ترتیب ۱۸/۲۱ و ۱۷/۹۳) مشاهده شد. بیشترین مقدار اوره نیز در شاهد و سطح ۲۵ درصد (به ترتیب ۲۹/۰۰ و ۲۶/۵۷) و کمترین مقدار آن در سطح ۵۰ درصد (۲۰/۷۹) به دست آمد، در حالی که بتا هیدروکسی بوتیرات کمترین سطح را در سطح ۲۵ درصد و بیشترین سطح را در شاهد نشان داد.

همچنین در مورد تأثیر دوز سه گرم بر کیلوگرم ماده خشک سدیم بوتیرات محافظت شده در جیره استارتر پلت شده، نتایج متناقضی گزارش شده است. در حالی که در یک مطالعه، این دوز منجر به افزایش مصرف خوراک جامد در دوره پیش از شیرگیری شده بود، در مطالعه دیگر اثر معنی داری مشاهده نشد. این تفاوت ها ممکن است که ناشی از عوامل مختلفی از جمله تفاوت در شرایط مدیریتی، ترکیب جیره پایه یا تفاوت در ژنتیک گوساله ها باشد (Burakowska et al., 2017).

مکمل سدیم بوتیرات با سازوکارهای متعددی موجب افزایش مصرف کنسانتره و بهبود دسترسی به مواد مغذی می شود. این ترکیب از طریق تحریک رشد پایلای شکمبه و توسعه زودرس سیستم گوارشی، ظرفیت تخمیر و هضم خوراک را افزایش می دهد. همزمان با تنظیم میکروفلور شکمبه و روده، جمعیت باکتری های مفید تولیدکننده آنزیم های هضمی را تقویت کرده و جذب مواد مغذی را بهبود می بخشد. از طرفی، بوتیرات با تأثیر بر مراکز اشتها در مغز و تنظیم هورمون های گرسنگی، تمایل حیوان به مصرف خوراک را افزایش داده و در نهایت منجر به افزایش مصرف کنسانتره و بهبود قابلیت هضم مواد مغذی می گردد (Hill et al., 2009).

در دستگاه گوارش نشخوارکنندگان، قسمت های بالایی شامل دهان، مری، شکمبه، نگاری و هزارلا و شیردان است که محیطی اسیدی (pH 2-3) دارد و در این ناحیه بوتیرات آزاد به سرعت تجزیه می شود. در مقابل، قسمت های پایینی شامل روده باریک (محل اصلی جذب مواد مغذی) و روده بزرگ است که محیطی خنثی تا قلیایی (pH 6-7) دارد. بوتیرات پوشش دار با مقاومت در برابر اسید شیردان، به صورت هدفمند در روده باریک آزاد می شود و به این ترتیب اثرات مطلوب خود را بر رشد پرزهای روده، جذب مواد مغذی و مهار بیمارگرها اعمال می کند. لازم به ذکر است که علت اینکه بوتیرات پوشش دار در برابر اسیدیت شیردان مقاوم است ولی در روده باریک آزاد می شود به دلیل عواملی می باشد از جمله: ۱) فناوری پوشش دهی (Encapsulation Technology): بوتیرات پوشش دار با استفاده از لایه هایی از مواد مقاوم به اسید (مانند چربی های خاص، پلیمرهای زیست سازگار یا رزین ها) پوشش داده می شود، این مواد به گونه ای انتخاب می شوند که در محیط اسیدی (pH 2-3) شیردان پایدار باقی بمانند و تجزیه نشوند (Yang et al., 2023)، ۲) مقاومت در برابر اسید شیردان: مواد پوشش دهنده دارای ویژگی هایی هستند که در pH پایین (محیط اسیدی شیردان) حل نمی شوند یا تغییر ساختار نمی دهند. به همین دلیل، بوتیرات داخل این پوشش ها باقی می ماند و آزاد نمی شود (Bajpai et al., 2008)، ۳) آزادسازی هدفمند در روده باریک: زمانی که بوتیرات پوشش دار به روده باریک می رسد (که pH

جدول ۲- اثر سطوح متفاوت مکمل سدیم بوتیرات محافظت شده بر عملکرد رشد گوساله‌های شیرخوار

Table 2- Effect of different levels of protected sodium butyrate supplementation on growth performance of suckling calves

گروه‌های آزمایشی Treatment	شاهد ^۱ Control	۰/۲۵ درصد سدیم بوتیرات ^۲ 0.25 % sodium butyrate	۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات ^۳ 0.50 % sodium butyrate	خطای استاندارد میانگین SEM*	سطح معنی‌داری P-value**
میانگین افزایش وزن روزانه (گرم/روز) Average daily weight gain (g/d)	38.43	39.21	40.46	1.54	0.642
ماده خشک مصرفی روزانه (گرم/روز) Daily dry matter intake (g/d)	50.04	49.15	50.79	1.86	0.826
میانگین ضریب تبدیل غذایی روزانه (گرم/گرم) Average daily feed conversion ratio (g/g/d)	0.77	0.80	0.81	0.02	0.561

^۱ شاهد (جیره پایه): جیره استارتر بدون افزودنی، ^۲ جیره پایه حاوی ۰/۲۵ درصد سدیم بوتیرات محافظت شده، ^۳ جیره پایه حاوی ۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات محافظت شده، * : خطای معیار میانگین، **: سطح معنی‌داری

¹. Control treatment (basal diet): Starter diet without additives, ² Basal diets containing 0.25% of protected sodium butyrate, ³ Basal diets containing 0.5% of feed protected sodium butyrate, *: Standard error of the mean, **: Significance level

می‌دهد. بتا هیدروکسی بوتیرات نشان‌دهنده توسعه شکمبه و آغاز متابولیسم محصولات نهایی تخمیر است و با رشد شکمبه افزایش می‌یابد. کوئیگلی و همکاران (Quigley et al., 1992) نیز بتا هیدروکسی بوتیرات را نماد توسعه شکمبه دانسته و ارتباط معنی‌داری بین آن و توسعه شکمبه یافتند. آن‌ها تأکید داشتند که گوساله‌ها قبل از توسعه شکمبه از گلوکز به عنوان منبع انرژی استفاده می‌کنند، اما با توسعه شکمبه و نقش بتا هیدروکسی بوتیرات، با تغذیه جدید سازگار می‌شوند؛ در غیر این صورت، رشد کاهش می‌یابد. باین‌حال، برگمن (Bergman, 1990) افزایش بتا هیدروکسی بوتیرات خون را با افزودن سدیم بوتیرات محافظت شده گزارش کرد، درحالی‌که فریرا و بیتار (Ferreira & Bittar, 2011) تأثیری مشاهده نکردند.

از طرفی، به نظر می‌رسد که در نشخوارکنندگان، با رشد شکمبه، غلظت گلوکز کاهش و غلظت بتا هیدروکسی بوتیرات افزایش می‌یابد. تحقیقات نشان داده‌اند که در گوساله‌های تغذیه شده با مکمل بوتیرات، بتا هیدروکسی بوتیرات بلافاصله پس از مصرف غذا در پلاسما یافت نشده، که نشان‌دهنده متابولیسم سریع آن در شکمبه است (Quigley, 1996). اگرچه مطالعات دیگر افزایش بتا هیدروکسی بوتیرات با افزایش سن را نشان داده‌اند (Greenwood et al., 1992; Quigley et al., 1997)، اما این نتیجه در تحقیق حاضر مشاهده نشد. احتمالاً دلیل عدم افزایش بتا هیدروکسی بوتیرات در سنین بالاتر این است که بوتیرات باعث توسعه شکمبه شده و عمدتاً در قسمت‌های فوقانی دستگاه گوارش متابولیزه می‌شود (Manzanilla et al., 2006)، در نتیجه در خون کمتر یافت می‌شود. همچنین در سنین پایین‌تر، تأمین گلوکز وابسته به مسیر گلوکونئوز، لاکتوز موجود در شیر به عنوان پیش‌ساز تولید گلوکز و جذب مستقیم گلوکز از روده و استفاده به عنوان منبع تأمین انرژی بدن است، اما با توسعه شکمبه و پایدارتر شدن ریزجانداران، تولید گلوکز از گلوکونئوز

در ۵۰ روزگی، تأثیر مکمل بر آلومین، گلوکز، کلسترول و بتا هیدروکسی بوتیرات معنی‌دار نبود ($P < 0.05$)، اما پروتئین تام، تری‌گلیسیرید و اوره به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفتند ($P < 0.05$) پروتئین تام در سطوح ۰/۲۵ درصد و ۰/۵۰ درصد بالاترین (به ترتیب ۷/۴۰ و ۷/۳۴) و در شاهد کمترین مقدار (۷/۱۴) را داشت. تری‌گلیسیرید نیز در سطوح ۰/۲۵ درصد و ۰/۵۰ درصد بیشترین مقدار (به ترتیب ۳۵/۰۰ و ۳۰/۹۳) و در شاهد کمترین مقدار (۲۵/۸۶) را نشان داد. از نظر اوره نیز بیشترین مقدار در شاهد و سطح ۰/۲۵ درصد (به ترتیب ۳۳/۲۹ و ۲۳/۹۳) و کمترین مقدار در سطح ۰/۵۰ درصد (۲۰/۷۹) مشاهده شد، درحالی‌که بتا هیدروکسی بوتیرات (با وجود عدم معنی‌داری آماری) کمترین مقدار را در سطح ۰/۵۰ درصد به خود اختصاص داد. این نتایج حاکی از آن است که اثرات سدیم بوتیرات محافظت شده به دوز مصرفی و مدت زمان استفاده وابسته است و سطوح بالاتر (۰/۰۵ درصد) در بهبود شاخص‌های متابولیک مانند پروتئین تام در تحقیق حاضر مؤثرتر عمل کرده است.

تغذیه گوساله‌ها با سدیم بوتیرات باعث افزایش بوتیریک اسید در شکمبه و فعال شدن مسیر کتوژنز می‌شود. رایس و همکاران (Rice et al., 2019) گزارش کردند که این امر منجر به افزایش بتا هیدروکسی بوتیرات خون و کاهش غلظت گلوکز خون می‌گردد. کاتو و همکاران (Kato et al., 2011) نیز کاهش گلوکز خون را با مکمل بوتیرات تأیید کردند. با این وجود، گزارش شده است که اثر متقابل مصرف علوفه و سدیم بوتیرات بر گلوکز معنی‌دار نشده است و گزارش کردند که گوساله‌های دریافت‌کننده سدیم بوتیرات، بیشترین غلظت گلوکز پلاسما را داشتند (Ślusarczyk et al., 2010) که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی ندارد.

تغذیه با سدیم بوتیرات، نسبت اسیدهای چرب فرار شکمبه را تغییر داده و به‌ویژه پروپیونات (پیش‌ساز اصلی گلوکز) را کاهش

پارامترهای تنش اکسیداتیو گوساله‌های شیرخوار (۲۵ و ۵۰ روزگی)

نتایج موجود در **جدول ۴** نشان می‌دهد که اثر سطوح متفاوت مکمل سدیم بوتیرات محافظت شده بر آنزیم آسپارات آمینوترانسفراز، آلانین آمینوترانسفراز و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی سرم خون در روز ۵۰ دوره پرورش معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). همچنین نتایج موجود در جدول ۳ نشان می‌دهد که اثر سطوح متفاوت مکمل سدیم بوتیرات محافظت شده بر مالون‌دی‌آلدئید در روز ۵۰ دوره معنی‌دار شد ($P < 0.05$). همان گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین سطح مالون‌دی‌آلدئید سرم خون در شاهد و سطح ۰/۲۵ درصد (به ترتیب ۲/۰۷ و ۲/۲۶) و کمترین سطح مالون‌دی‌آلدئید سرم خون در سطح ۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات محافظت شده (۱/۹۱) در روز ۵۰ دوره پرورش مشاهده شد.

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که اثر سطوح متفاوت مکمل سدیم بوتیرات محافظت شده بر آنزیم آسپارات آمینوترانسفراز، آلانین آمینوترانسفراز و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی سرم خون در روز ۵۰ دوره پرورش معنی‌دار نبود. همچنین نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که اثر سطوح متفاوت مکمل سدیم بوتیرات محافظت شده بر مالون‌دی‌آلدئید در روز ۵۰ دوره معنی‌دار بود. همان گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، بیشترین سطح مالون‌دی‌آلدئید سرم خون در شاهد و سطح ۰/۲۵ درصد و کمترین سطح مالون‌دی‌آلدئید سرم خون نیز در سطح ۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات محافظت شده در روز ۵۰ دوره پرورش به دست آمد.

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که در روز ۲۵ دوره آزمایش، سطوح مختلف مکمل سدیم بوتیرات محافظت شده، اثر معنی‌داری بر آنزیم آلانین آمینوترانسفراز سرم خون نداشت، اما اثر معنی‌داری بر آنزیم آسپارات آمینوترانسفراز، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و مالون‌دی‌آلدئید سرم خون داشت. بیشترین میزان آنزیم آسپارات آمینوترانسفراز در سطح ۰/۲۵ درصد و ۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات و کمترین میزان آن در شاهد مشاهده شد. بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در شاهد و سطح ۰/۵۰ درصد و کمترین میزان آن در سطح ۰/۲۵ درصد سدیم بوتیرات مشاهده شد. بیشترین سطح مالون‌دی‌آلدئید در شاهد و سطح ۰/۲۵ درصد و کمترین سطح آن در سطح ۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات مشاهده گردید.

افزایش سطح آسپارات آمینوترانسفراز در گوساله‌های تغذیه شده با سدیم بوتیرات در ۲۵ روزگی احتمالاً ناشی از تأثیر این ترکیب بر متابولیسم کبدی یا یکپارچگی غشاء سلولی هپاتوسیت‌ها است. سدیم بوتیرات ممکن است که با تحریک فعالیت متابولیک یا ایجاد تنش اکسیداتیو خفیف موجب نشد آسپارات آمینوترانسفراز از سلول‌های کبدی یا عضلانی به گردش خون شود. همچنین تغییرات میکروبیوم روده و جذب احتمالی متابولیت‌های باکتریایی نیز می‌تواند در این افزایش نقش داشته باشد (Bilgeçli & Yılmaz, 2024).

کاهش می‌یابد که باعث کاهش گلوکز در سن ۲۵ روزگی می‌گردد. با کاهش گلوکز خون، آلبومین نیز کاهش می‌یابد و گوساله‌ها برای تأمین گلوکز، اسیدهای آمینه را در مسیر گلوکونئوژنز می‌شکنند (Rice et al., 2019) در همین راستا، ساواری و گولیوتین (Guilloteau et al., 2010) گزارش کردند که اسید بوتیریک در جیره آغازین گوساله‌ها، پروتئین کل و آلبومین خون را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد که با نتایج این آزمایش در رابطه با آلبومین همخوانی نداشت. نیتروژن اوره‌ای خون (BUN^1) حاصل سم‌زدایی آمونیاک در کبد است. به‌ازای هر مولکول آمونیاک سم‌زدایی شده، یک سوم از طریق ادرار دفع و دو سوم دیگر از طریق مسیر بزاق-خون-شکمبه به گردش درمی‌آید. شکمبه به‌عنوان یک مخزن تخمیر، نقش مهمی در تغییر غلظت اوره خون دارد، زیرا محل اصلی تولید آمونیاک در بدن حیوان است. این آمونیاک می‌تواند به‌عنوان منبع نیتروژن توسط باکتری‌های شکمبه مورد استفاده قرار گیرد. در مطالعه حاضر، با افزایش سن و تکمیل فلور میکروبی شکمبه، توانایی استفاده از آمونیاک به‌عنوان منبع نیتروژن توسعه یافته و باعث کاهش انتشار آمونیاک به خون و متعاقباً آن کاهش اوره خون گردید. این اثر، به‌ویژه با افزایش سطح مکمل سدیم بوتیرات محافظت شده مشاهده شده است. دلیل این امر آن است که سدیم بوتیرات باعث افزایش و تحریک رشد پایلای شکمبه شده و توسعه فلور میکروبی حیوان را سرعت می‌بخشد، در نتیجه آمونیاک کمتری وارد خون شده و نیتروژن اوره‌ای خون کاهش می‌یابد. اگرچه بوتیرات پوشش‌دار عمدتاً برای رهایش در روده طراحی شده، اما به‌صورت غیرمستقیم رشد پایلای شکمبه را نیز تحریک می‌کند. بخشی از بوتیرات جذب شده از روده وارد گردش خون شده و به شکمبه می‌رسد، که به‌عنوان منبع انرژی برای سلول‌های پوششی شکمبه عمل می‌کند. همچنین بوتیرات با تحریک ترشح فاکتورهای رشد مانند IGF-1 و بهبود سلامت کلی دستگاه گوارش، توسعه پایلای شکمبه را تسهیل می‌نماید. این سازوکارها باعث می‌شوند که بوتیرات محافظت شده، علی‌رغم هدف‌گیری اصلی در روده، تأثیر مثبتی بر رشد و تکامل شکمبه نیز داشته باشد.

کاهش BHBA علی‌رغم مصرف ۰/۲۵ درصد بوتیرات محافظت شده، احتمالاً نشان‌دهنده آن است که سلول‌های کبدی گوساله‌های جوان به‌جای کتوژنز، بوتیرات را به‌طور کامل برای تولید انرژی اکسید می‌کنند. همچنین، چون دیواره شکمبه گوساله‌های جوان هنوز کامل رشد نکرده، مواد مغذی مثل بوتیرات به‌خوبی از آن جذب نمی‌شوند.

جدول ۳- اثر سطوح متفاوت مکمل سدیم بوتیرات محافظت شده بر متابولیت های خونی گوساله های شیرخوار در سن ۲۵ و ۵۰ روزگی

Table 3- Effect of different levels of protected sodium butyrate supplementation on blood metabolites of dairy calves at 25 and 50 d

گروه های آزمایشی Treatment	شاهد ^۱ Control	۰/۲۵ درصد سدیم بوتیرات ^۲ 0.25 % sodium butyrate	۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات ^۲ 0.50 % sodium butyrate	خطای استاندارد میانگین SEM*	سطح معنی داری P-value**
پروتئین تام (گرم/دسی لیتر) Total protein (g/dL)					
۲۵ روزگی	25 days	7.01	6.76	6.94	0.133
۵۰ روزگی	50 days	7.14 ^b	7.40 ^a	7.34 ^{ab}	0.112
آلبومین (گرم/دسی لیتر) Albumin (g/dL)					
۲۵ روزگی	25 days	3.44 ^a	3.34 ^b	3.44 ^a	0.043
۵۰ روزگی	50 days	3.44	3.35	3.43	0.061
گلوکز (میلی گرم/دسی لیتر) Glucose (mg/dL)					
۲۵ روزگی	25 days	122.4 ^a	151.1 ^a	106.2 ^b	6.271
۵۰ روزگی	50 days	85.07	86.71	86.79	3.200
کلسترول (میلی گرم/دسی لیتر) Cholesterol (mg/dL)					
۲۵ روزگی	25 days	101.93	99.711	97.14	4.472
۵۰ روزگی	50 days	103.57	102.29	99.57	5.830
تری گلیسیرید (میلی گرم/دسی لیتر) Triglycerides (mg/dL)					
۲۵ روزگی	25 days	18.21 ^b	17.93 ^b	23.29 ^a	1.745
۵۰ روزگی	50 days	25.86 ^b	35.00 ^a	30.93 ^{ab}	3.146
بتا هیدروکسی بوتیرات (Mmol/L) BHBA (Mmol/L)					
۲۵ روزگی	25 days	0.111 ^a	0.097 ^b	0.114 ^a	0.006
۵۰ روزگی	50 days	0.11	0.12	0.13	0.011
نیتروژن اوردهای خون (میلی گرم/دسی لیتر) BUN (mg/dL)					
۲۵ روزگی	25 days	13.55	12.42	11.32	0.811
۵۰ روزگی	50 days	15.55	11.18	9.71	2.472

^۱ شاهد (جیره پایه): جیره استارتر بدون افزودنی، ^۲ جیره پایه حاوی ۰/۲۵ درصد سدیم بوتیرات محافظت شده، ^۳ جیره پایه حاوی ۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات محافظت شده، *:

خطای معیار میانگین، **: سطح معنی داری

^۱ Control treatment (basal diet): Starter diet without additives, ^۲ Basal diets containing 0.25% of protected sodium butyrate, ^۳ Basal diets containing 0.5% of feed protected sodium butyrate, *: Standard error of the mean, **: Significance level

تفاوت در غلظت تری گلیسرید در خون گوساله ها است (Stewart et al., 1978). چنانچه مشاهده می شود، سطح تری گلیسرید خون در تیمار ۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات محافظت شده بالاترین مقدار است که این خود می تواند نشان دهنده التهاب باشد. مقالات تحقیقاتی رابطه بین چربی رژیم غذایی، لیپیدهای خون و عملکرد کبد در گوساله ها را مورد بررسی قرار داده اند. استوارت و همکاران (Stewart et al., 1978) دریافتند که منابع مختلف تری گلیسرید موجود در شیر بر

در انتهای دوره آزمایشی (روز ۵۰)، سطوح مختلف سدیم بوتیرات محافظت شده، اثر معنی داری بر آنزیم های آسپارات آمینوترانسفراز و آلانین آمینوترانسفراز و همچنین ظرفیت آنتی اکسیدانی سرم خون نداشت، اما اثر معنی داری بر مالون دی آلدئید داشت. مشابه روز ۲۵، بیشترین سطح مالون دی آلدئید در شاهد و سطح ۰/۲۵ درصد و کمترین سطح آن در سطح ۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات مشاهده شد. احتمالاً دلیل تغییر غلظت آنزیم های کبدی در روز ۲۵ دوره آزمایش

داشته باشد. همچنین این وضعیت می تواند ناشی از تغییرات در تولید گونه های فعال اکسیژن یا اختلال در عملکردهای سلولی باشد که بر تعادل اکسیدانی-آنتی اکسیدانی تأثیر می گذارد (Soleimani et al., 2008).

صفات اسکلتی گوساله های شیرخوار در ۵۰ روزگی

نتایج جدول ۵ نشان می دهد که اثر سطوح متفاوت مکمل سدیم بوتیرات محافظت شده بر طول بدن و ارتفاع هیپ در گوساله های شیرخوار در انتهای دوره از شیرگیری معنی دار شد. همچنین اثر سطوح متفاوت مکمل سدیم بوتیرات محافظت شده بر دور سینه، ارتفاع جدوگاه و عرض پین و عرض هیپ در گوساله های شیرخوار در انتهای دوره از شیرگیری معنی دار نشد.

بهبود فاکتورهای اسکلتی مانند طول بدن و ارتفاع هیپ در گوساله های شیرخوار می تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی باشد که به تغذیه، ژنتیک، مدیریت پرورش و شرایط محیطی مرتبط هستند. تغذیه مناسب و متوازن سبب افزایش مصرف مواد مغذی می شود همچنین جیره غذایی سرشار از پروتئین، انرژی، مواد معدنی (کلسیم، فسفر و منیزیم) و ویتامین ها (A، D و E) می تواند به رشد اسکلتی بهتر کمک کند (Agakhani et al., 2022).

یکی از دلایل احتمالی دیگر می تواند مصرف کافی شیر و جایگزین های شیری باشد، که وجود مقدار کافی لاکتوز و چربی در شیر باعث رشد مطلوب و افزایش طول بدن می شود. استفاده از مکمل های سدیم بوتیرات، پروبیوتیک ها، پری بیوتیک ها و اسیدهای آمینه ضروری مانند لیزین و متیونین می توانند رشد استخوانی را تحریک کنند.

سطح کلسترول خون تأثیر می گذارد (Mentschel et al., 2001). اگرچه افزایش تری گلیسرید معمولاً با بروز التهاب و افزایش شاخص های پراکسیداسیون لیپیدی مانند مالون دی آلدئید همراه است، اما مقدار این ترکیب می تواند تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله نوع اسیدهای چرب مصرفی، سطح آنتی اکسیدان ها (به ویژه در تیمار ۰/۵۰ درصد که بیشترین میزان آنتی اکسیدان مشاهده شد)، زمان نمونه گیری و شرایط متابولیکی قرار گیرد. بنابراین، پایین بودن سطح مالون دی آلدئید در تیمار با تری گلیسرید بالا الزاماً نشانه تناقض نیست و ممکن است که به دلیل حضور مقادیر بالای آنتی اکسیدان یا نوع چربی مصرفی باشد. برای تفسیر دقیق تر این نتایج، باید ترکیب جیره و شرایط آزمایش به طور جامع تر بررسی شود تا ارتباط میان این شاخص ها به درستی مشخص گردد.

اندازه گیری مالون دی آلدئید (MDA^1)، گلو تاتیون احیا (GSH^2) و ظرفیت آنتی اکسیدانی تام از مهم ترین ابزارهای بررسی شرایط تنش اکسیداتیو می باشد (Castillo et al., 2005).

کاهش مالون دی آلدئید در سطح ۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات در مقابل سطح ۰/۲۵ و شاهد ممکن است که به دلیل افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی کبدی (گلو تاتیون پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دسموتاز) و مهار التهاب توسط سدیم بوتیرات در غلظت ۰/۵۰ درصد باشد. در غلظت پایین تر، این فعال سازی ممکن است ناکافی باشد و تنش اکسیداتیو بدون دفاع کافی باقی بماند.

در پاسخ به کاهش سطح گلوکز خون گوساله ها در سن ۲۵ روزگی می توان گفت که اسیدهای چرب غیر اشباع از ذخایر چربی بدن آزاد شده در نتیجه این ترکیبات به وسیله کبد گرفته شده، یا به طور کامل اکسید شده و تولید انرژی می کنند و یا دچار اکسیداسیون نسبی شده که در اثر آن اجسام کتون تولید می شوند و در این شرایط، بدن حیوان جهت برون رفت از حالت تنش ایجاد شده واکنش نشان داده و آنزیم های آنتی اکسیدانی کبد فعال شده و سبب حفظ شرایط طبیعی بدن گردد، کاهش سطح مالون دی آلدئید سرم خون گوساله ها در سطح ۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات محافظت شده در آزمایش حاضر بیانگر حفظ حالت طبیعی بدن، کاهش سطح پراکسیداسیون های لیپیدی و کاهش التهاب در بدن گوساله ها می باشد.

افزایش همزمان فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی و سطح مالون دی آلدئید در روز ۲۵ می تواند نشان دهنده یک وضعیت پیچیده متابولیکی باشد. این پدیده احتمالاً بازتابی از یک پاسخ تطابقی سیستم آنتی اکسیدانی بدن به تنش اکسیداتیو قبلی است که منجر به تجمع مالون دی آلدئید شده است. ممکن است که یک تأخیر زمانی بین شروع تنش اکسیداتیو و فعال شدن کامل سیستم دفاعی وجود

جدول ۴- اثر سطوح متفاوت مکمل سدیم بوتیرات محافظت شده بر فراسنجه‌های تنش اکسیداتیو گوساله‌های شیرخوار در سن ۲۵ و ۵۰ روزگی

Table 4- Effect of different levels of protected sodium butyrate supplementation on oxidative stress parameters of newborn calves at 25 and 50 d

گروه‌های آزمایشی Treatment	شاهد Control	۰/۲۵ درصد سدیم بوتیرات 0.25 % sodium butyrate	۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات 0.50 % sodium butyrate	خطای استاندارد میانگین SEM*	سطح معنی داری P-value**
آسپاراتات آمینوترانسفراز AST(U/L)					
۲۵ روزگی	25 days	51.14 ^b	59.50 ^a	3.53	0.021
۵۰ روزگی	50 days	68.79	69.86	5.85	0.535
آلانین آمینوترانسفراز ALT (U/L)					
۲۵ روزگی	25 days	13.29	13.79	1.19	0.884
۵۰ روزگی	50 days	18.14	19.00	1.75	0.163
آنتی‌اکسیدان Antioxidant (mmol/L)					
۲۵ روزگی	25 days	0.50 ^{ab}	0.49 ^b	0.23	0.032
۵۰ روزگی	50 days	0.50	0.51	0.39	0.716
مالون‌دی‌آلدئید MDA(Nmol/L)					
۲۵ روزگی	25 days	2.49 ^a	2.21 ^{ab}	0.20	0.040
۵۰ روزگی	50 days	2.07 ^{ab}	2.26 ^a	0.16	0.043

^۱ شاهد (جیره پایه): جیره استارتر بدون افزودنی، ^۲ جیره پایه حاوی ۰/۲۵ درصد سدیم بوتیرات محافظت شده، ^۳ جیره پایه حاوی ۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات محافظت شده، *؛

خطای معیار میانگین، **: سطح معنی داری

¹ Control treatment (basal diet): Starter diet without additives, ² Basal diets containing 0.25% of protected sodium butyrate, ³ Basal diets containing 0.5% of feed protected sodium butyrate, *: Standard error of the mean, **: Significance level

درصد سدیم بوتیرات محافظت شده منجر به افزایش معنی دار غلظت بتا-هیدروکسی بوتیرات سرم خون در سن ۲۵ روزگی شد. در سن ۵۰ روزگی، این تیمار باعث افزایش معنی دار پروتئین تام و تری گلیسیرید سرم خون همراه با کاهش قابل توجه اوره سرم گردید. فعالیت آنزیم آسپاراتات آمینوترانسفراز در سن ۲۵ روزگی در سطح ۰/۲۵ درصد سدیم بوتیرات محافظت شده به طور معنی داری افزایش یافت. همچنین در همین سن، ظرفیت آنتی اکسیدانی تام در گروه دریافت کننده ۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات نسبت به گروه ۰/۲۵ درصد به شکل چشمگیری بیشتر بود، درحالی که سطح مالون‌دی‌آلدئید به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدی، در بالاترین سطح بوتیرات (۰/۵ درصد) کمترین مقدار را نشان داد. این یافته‌ها حاکی از آن است که سدیم بوتیرات محافظت شده نه تنها بر متابولیسم انرژی (از طریق افزایش بتا-هیدروکسی بوتیرات) تأثیرگذار است، بلکه با بهبود شاخص‌های خونی مانند پروتئین تام و کاهش تنش اکسیداتیو کاهش مالون‌دی‌آلدئید و افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی تام نقش محافظتی در سلامت کبد ایفا می‌کند. با توجه به کاهش اوره خون که نشان‌دهنده بهینه‌سازی استفاده از نیتروژن است و بهبود پروفایل آنتی اکسیدانی، استفاده از مکمل سدیم بوتیرات محافظت شده به ویژه در سطح ۰/۵

عملکرد هورمونی و متابولیسمی مانند هورمون رشد (GH) و IGF-1 نقش مهمی در رشد استخوانی دارند که مقدار آن‌ها تحت تأثیر تغذیه، سلامت گوساله و میزان دریافت انرژی است. تأثیر اسیدهای چرب فرار (VFA) مانند بوتیرات و پروپیونات می‌توانند رشد پرزهای روده‌ای را بهبود داده و جذب مواد مغذی را افزایش دهند که منجر به افزایش رشد طولی بدن می‌شود. در نهایت، احتمالاً افزودن سدیم بوتیرات محافظت شده به جیره گوساله‌های شیرخوار باعث افزایش رشد استخوانی و در نتیجه افزایش طول بدن شود. این اثر می‌تواند به دلیل بهبود قابلیت هضم مواد مغذی، کاهش التهاب‌های روده‌ای و افزایش ترشح هورمون‌های رشد باشد (Seifdavati et al., 2019).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که تغذیه گوساله‌ها با سطح ۰/۵۰

- 1- Growth Hormone
- 2- Insulin-like Growth Factor 1
- 3- Short-chain fatty acids

درصد، به عنوان راهکاری مؤثر برای ارتقاء سلامت متابولیک و کاهش آسیب های اکسیداتیو در گوساله ها قابل توصیه است.

جدول ۵- اثر سطوح متفاوت مکمل سدیم بوتیرات محافظت شده بر صفات اسکلتی گوساله های شیرخوار تازه متولد شده در انتهای دوره (۵۰ روزگی)

Table 5- The effect of different levels of protected sodium butyrate supplementation on the skeletal characteristics of dairy calves at the end of the period (50 d)

گروه های آزمایشی Treatment	شاهد ۱ Control	۰/۲۵ درصد سدیم بوتیرات ۲ 0.25 % sodium butyrate	۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات ۳ 0.50 % sodium butyrate	خطای استاندارد میانگین SEM*	سطح معنی داری P-value**
طول بدن (سانتی متر) Body length (cm)	70.64 ^b	76.57 ^a	70.00 ^b	0.95	0.0001
دور سینه (سانتی متر) Chest girth (cm)	102.14	104.21	102.86	0.97	0.323
ارتفاع هیپ (سانتی متر) Hip height (cm)	99.79 ^b	102.14 ^a	100.71 ^{ab}	0.76	0.050
ارتفاع جدوگاه (سانتی متر) Wither height (cm)	96.86	97.86	96.50	0.74	0.415
عرض هیپ (سانتی متر) Hip width (cm)	24.54	25.39	24.39	0.38	0.157
عرض پین (سانتی متر) Pin width (cm)	29.25	30.07	29.61	0.29	0.158

^۱ شاهد (جیره پایه): جیره استارتر بدون افزودنی، ^۲ جیره پایه حاوی ۰/۲۵ درصد سدیم بوتیرات محافظت شده، ^۳ جیره پایه حاوی ۰/۵۰ درصد سدیم بوتیرات محافظت شده، *:

خطای معیار میانگین، **: سطح معنی داری

¹. Control treatment (basal diet): Starter diet without additives, ² Basal diets containing 0.25% of protected sodium butyrate, ³ Basal diets containing 0.5% of feed protected sodium butyrate, *: Standard error of the mean, **: Significance level

تشکر و قدردانی خود را از شرکت صنایع دامپروری و لبنی آستان قدس رضوی که در انجام هرچه بهتر این طرح ما را یاری رساندند به عمل آورند.

سپاسگزاری

بدینوسیله نویسندگان این طرح بر خود لازم می دانند که مراتب

References

- Agakhani, M., Shahraki, F., Davar, A., Tabatabaei, S. N., Toghiani, M., & Rafiei, H. (2022). The effect of maternal factors on growth, skeletal growth indices and total serum protein of suckling Holstein calves. *Journal of Research in Ruminants*, 9(4), 49-64. <https://doi.org/10.22069/ejrr.2021.19466.1807> (In Persian).
- Bajpai, A. K., Shukla, S. K., Bhanu, S., & Kankane, S. (2008). Responsive polymers in controlled drug delivery. *Progress in Polymer Science*, 33(11), 1088-1118. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2008.07.005>
- Bergman, E. N. (1990). Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiological Reviews*, 70(2), 567-590. <https://doi.org/10.1152/physrev.1990.70.2.567>
- Bilgeçli, K., & Yılmaz, A. (2024). The effects of supplementation of milk with sodium butyrate on calf performance, some blood parameters and fecal *Escherichia coli* (*E. coli*) presence1. *Livestock Studies*, 64(2), 73-82. <http://doi.org/10.46897/livestockstudies.1610636>
- Burakowska, K., Przybyło, M., Penner, G. B., & Górka, P. (2017). Evaluating the effect of protein source and micro-encapsulated sodium butyrate in starter mixtures on gastrointestinal tract development of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 100(347), 7.
- Castillo, C., Hernandez, J., Bravo, A., Lopez-Alonso, M., Pereira, V., & Bedito, J. L. (2005). Oxidative status during late pregnancy and early lactation in dairy cows. *The Veterinary Journal*, 169(2), 286-292. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2004.02.001>
- Didarkhah, M., & Vatandoost, M. (2020). The effect of probiotic and prebiotic supplements on growth performance, blood parameters and skeletal growth of Baluchi male lambs. *Iranian Journal of Animal*

- Science Research, 12(4), 411-422. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/ijasr.v12i4.75166>
8. Górka, P., Kowalski, Z. M., Pietrzak, P., Kotunia, A., Jagusiak, W., & Zabielski, R. (2011). Is rumen development in newborn calves affected by different liquid feeds and small intestine development? *Journal of Dairy Science*, 94(6), 3002-3013. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3499>
9. Górka, P., Kowalski, Z. M., Pietrzak, P., Kotunia, A., Jagusiak, W., Holst, J. J., & Zabielski, R. (2011). Effect of method of delivery of sodium butyrate on rumen development in newborn calves. *Journal of Dairy Science*, 94(11), 5578-5588. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4166>
10. Górka, P., Kowalski, Z. M., Zabielski, R., & Guilloteau, P. (2018). Invited review: Use of butyrate to promote gastrointestinal tract development in calves. *Journal of Dairy Science*, 101(6), 4785-4800. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14086>
11. Górka, P., Pietrzak, P., Kotunia, A., Zabielski, R., & Kowalski, Z. M. (2014). Effect of method of delivery of sodium butyrate on maturation of the small intestine in newborn calves. *Journal of Dairy Science*, 97(2), 1026-1035. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7251>
12. Greenwood, R. H., Morrill, J. L., & Titgemeyer, E. C. (1997). Using dry feed intake as a percentage of initial body weight as a weaning criterion. *Journal of Dairy Science*, 80(10), 2542-2546. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76208-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76208-8)
13. Guilloteau, P., Martin, L., Eeckhaut, V., Ducatelle, R., Zabielski, R., & Van Immerseel, F. (2010). From the gut to the peripheral tissues: the multiple effects of butyrate. *Nutrition Research Reviews*, 23(2), 366-384. <https://doi.org/10.1017/s0954422410000247>
14. Guilloteau, P., Savary, G., Jaguelin-Peyrault, Y., Romé, V., Le Normand, L., & Zabielski, R. (2010). Dietary sodium butyrate supplementation increases digestibility and pancreatic secretion in young milk-fed calves. *Journal of Dairy Science*, 93(12), 5842-5850. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2751>
15. Guilloteau, P., Savary, G., Jaguelin-Peyrault, Y., Romé, V., Le Normand, L., & Zabielski, R. (2010). Dietary sodium butyrate supplementation increases digestibility and pancreatic secretion in young milk-fed calves. *Journal of Dairy Science*, 93(12), 5842-5850. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2751>
16. Guilloteau, P., Zabielski, R., & Blum, J. W. (2009). Gastrointestinal tract and digestion in the young ruminant: ontogenesis, adaptations, consequences and manipulations. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 60(Suppl 3), 37-46. PMID: 19996480
17. Guilloteau, P., Zabielski, R., David, J. C., Blum, J. W., Morisset, J. A., Biernat, M., Woliński, J., Laubitz, D. and Hamon, Y. (2009). Sodium-butyrate as a growth promoter in milk replacer formula for young calves. *Journal of Dairy Science*, 92(3), 1038-1049. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1213>
18. He, M., Zou, Z., Zhu, W., Li, H., Liang, T., Liu, L., & Su, J. (2025). Dietary supplementation with encapsulated or non-encapsulated sodium butyrate enhances growth, antioxidant defense, immunity, and gut health in largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Microorganisms*, 13(7), 1594.
19. Heinrichs, A. J., & Jones, C. M. (2003). Feeding the Newborn Dairy Calf. PennState, College of Agricultural Sciences, Agricultural Research and Cooperative Extension.
20. Heinrichs, A. J., & Lesmeister, K. E. (2005). Rumen Development in the Dairy Calf. P. 53-65.
21. Hill, T. M., Aldrich, J. M., Schlotterbeck, R. L., & Bateman II, H. G. (2007). Amino acids, fatty acids, and fat sources for calf milk replacers. *The Professional Animal Scientist*, 23(4), 401-408. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30995-5](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30995-5)
22. Hill, T. M., Aldrich, J. M., Schlotterbeck, R. L., & Bateman II, H. G. (2007). Effects of changing the fat and fatty acid composition of milk replacers fed to neonatal calves. *The Professional Animal Scientist*, 23(2), 135-143. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30953-0](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30953-0)
23. Hill, T. M., Bateman II, H. G., Aldrich, J. M., & Schlotterbeck, R. L. (2011). Effect of various fatty acids on dairy calf performance. *The Professional Animal Scientist*, 27(3), 167-175. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30470-8](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30470-8)
24. Hill, T. M., Bateman II, H. G., Aldrich, J. M., & Schlotterbeck, R. L. (2009). Roughage for diets fed to weaned dairy calves. *The Professional Animal Scientist*, 25(3), 283-288. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30719-1](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30719-1)
25. Hill, T. M., Bateman II, H. G., Aldrich, J. M., & Schlotterbeck, R. L. (2010). Effect of milk replacer program on digestion of nutrients in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 93(3), 1105-1115. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2458>
26. Hill, T. M., Quigley, J. D., Suarez-Mena, F. X., Bateman II, H. G., & Schlotterbeck, R. L. (2016). Effect

- of milk replacer feeding rate and functional fatty acids on dairy calf performance and digestion of nutrients. *Journal of Dairy Science*, 99(8), 6352-6361. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10812>
27. Kato, S. I., Sato, K., Chida, H., Roh, S. G., Ohwada, S., Sato, S., & Katoh, K. (2011). Effects of Na-butyrate supplementation in milk formula on plasma concentrations of GH and insulin, and on rumen papilla development in calves. *Journal of Endocrinology*, 211(3), 241. <https://doi.org/10.1530/joe-11-0299>
28. Khan, M. A., Bach, A., Weary, D. M., & Von Keyserlingk, M. A. G. (2016). Invited review: Transitioning from milk to solid feed in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 99(2), 885-902. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9975>
29. Klein, R. D., Kincaid, R. L., Hodgson, A. S., Harrison, J. H., Hillers, J. K., & Cronrath, J. D. (1987). Dietary fiber and early weaning on growth and rumen development of calves. *Journal of Dairy Science*, 70(10), 2095-2104. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(87\)80259-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)80259-X)
30. Kotunia, A., Wolinski, J., Laubitz, D., Jurkowska, M., Rome, V., Guilloteau, P., & Zabielski, R. (2004). Effect of sodium butyrate on the small intestine. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 55(2), 59-68.
31. Kowalski, Z. M., Górka, P., Flaga, J., Barteczko, A., Burakowska, K., Oprządek, J., & Zabielski, R. (2015). Effect of microencapsulated sodium butyrate in the close-up diet on performance of dairy cows in the early lactation period. *Journal of Dairy Science*, 98(5), 3284-3291. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8688>
32. Le Gall, M., Gallois, M., Seve, B., Louveau, I., Holst, J. J., Oswald, I. P., & Guilloteau, P. (2009). Comparative effect of orally administered sodium butyrate before or after weaning on growth and several indices of gastrointestinal biology of piglets. *British Journal of Nutrition*, 102(9), 1285-1296. <https://doi.org/10.1017/s0007114509990213>
33. Leeson, S., Namkung, H., Antongiovanni, M., & Lee, E. H. (2005). Effect of butyric acid on the performance and carcass yield of broiler chickens. *Poultry Science*, 84(9), 1418-1422. <https://doi.org/10.1093/ps/84.9.1418>
34. Lesmeister, K. E., & Heinrichs, A. J. (2005). Effects of adding extra molasses to a texturized calf starter on rumen development, growth characteristics, and blood parameters in neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 88(1), 411-418. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72702-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72702-8)
35. Mallo, J. J., Balfagón, A., Gracia, M. I., Honrubia, P., & Puyalto, M. (2012). Evaluation of different protections of butyric acid aiming for release in the last part of the gastrointestinal tract of piglets. *Journal of Animal Science*, 90(suppl_4), 227-229. <https://doi.org/10.2527/jas.53959>
36. Mentschel, J., Leiser, R., Mülling, C., Pfarrer, C., & Claus, R. (2001). Butyric acid stimulates rumen mucosa development in the calf mainly by a reduction of apoptosis. *Archives of Animal Nutrition*, 55(2), 85-102. <https://doi.org/10.1080/17450390109386185>
37. Quigley III, J. D. (1996). Influence of weaning method on growth, intake, and selected blood metabolites in Jersey calves. *Journal of Dairy Science*, 79(12), 2255-2260. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76602-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76602-X)
38. Quigley III, J. D., Boehms, S. I., Steen, T. M., & Heitmann, R. N. (1992). Effects of lasalocid on selected ruminal and blood metabolites in young calves. *Journal of Dairy Science*, 75(8), 2235-2241. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(92\)77984-3](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(92)77984-3)
39. Rice, E. M., Aragona, K. M., Moreland, S. C., & Erickson, P. S. (2019). Supplementation of sodium butyrate to postweaned heifer diets: Effects on growth performance, nutrient digestibility, and health. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 3121-3130. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15525>
40. SAS, (2003). SAS Use's Guide Statistics. Version 9.1 Edition. SAS Inst., Cary, NC.
41. Seifdavati, J., Seifzadeh, S., & Ramezani, M. (2020). Effects of microencapsulated sodium butyrate on performance, blood metabolites and nutrient digestibility of suckling Holstein calves. *Animal Science Research*, 30(2), 73-83. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/as.2020.11493>
42. Ślusarczyk, K., Strzetelski, J. A., & Furgal-Dierżuk, I. (2010). The effect of sodium butyrate on calf growth and serum level of β -hydroxybutyric acid. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 19(2010), 348-357. <http://dx.doi.org/10.22358/jafs/66298/2010>
43. Soleimani, H., Ranjbar, A., Baeeri, M., Mohammadirad, A., Khorasani, R., Yasa, N., & Abdollahi, M. (2008). Rat plasma oxidation status after *Nigella sativa* L. botanical treatment in CCL4-treated rats. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 18(9), 725-731. doi: 10.1080/15376510802232233

44. Stewart, J. W., Wiggers, K. D., Jacobson, N. L., & Berger, P. J. (1978). Effect of various triglycerides on blood and tissue cholesterol of calves. *The Journal of Nutrition*, 108(4), 561-566. <https://doi.org/10.1093/jn/108.4.561>
45. Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Cornell University Press.
46. Vi, R. B., McLeod, K. R., Klotz, J. L., & Heitmann, R. N. (2004). Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre-and postweaning ruminant. *Journal of Dairy Science*, 87, E55-E65. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)70061-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70061-2)
47. Wanat, P., Górka, P., & Kowalski, Z. M. (2015). Effect of inclusion rate of microencapsulated sodium butyrate in starter mixture for dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 98(4), 2682-2686. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8482>
48. Yang, T., Sun, Y., Dai, Z., Liu, J., Xiao, S., Liu, Y., Wang, X., Yang, S., Zhang, R., Yang, C. and Dai, B. (2023). Microencapsulated sodium butyrate alleviates immune injury and intestinal problems caused by *Clostridium perfringens* through gut microbiota. *Animals*, 13(24), 3784. <https://doi.org/10.3390/ani13243784>