

Effects of Plant-Derived Unsaturated Fatty Acids on Milk and Cheese Production and Composition in Ewes: A Meta-Analysis

Ali Mahdavi¹, Nazanin Zolfaghari¹, Babak Darabighane¹, Myriam Jordana Rivero², Majid Savari¹

1- Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Semnan University

2- Rothamsted Research, UK

mahdavi@semnan.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/IJASR.2026.97808.1296>

Introduction: Sheep milk and its products, particularly cheese, possess high nutritional value due to their content of high-quality proteins, vitamins, and minerals. However, ruminant milk fat has long been criticized for its high proportion of saturated fatty acids, such as myristic acid and palmitic acid, whose excessive consumption is associated with increased cardiovascular disease risk. Conversely, ruminant milk naturally contains health-promoting fatty acids including conjugated linoleic acid (particularly rumenic acid), vaccenic acid (its endogenous precursor), and omega-3 polyunsaturated fatty acids like alpha-linolenic acid, which reduce inflammation and support brain health. The fatty acid profile of ruminant milk can be substantially manipulated through nutritional strategies. Including vegetable oils or oilseeds rich in unsaturated fatty acids in lactating ewe diets is particularly effective, as these undergo ruminal biohydrogenation, forming intermediates like vaccenic acid and conjugated linoleic acid that are incorporated into milk fat. While numerous studies have investigated various unsaturated fatty acid sources—linseed, sunflower seed, soybean oil, and olive by-products—results have often been conflicting due to differing experimental conditions. This systematic review and meta-analysis aimed to quantify the overall effects of plant-based unsaturated fatty acid sources on dry matter intake, milk yield, milk composition, and fatty acid profiles of milk and cheese in lactating ewes.

Materials and Methods: Following PRISMA guidelines, a systematic search was conducted in PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, and ScienceDirect for articles published between January 1990 and December 2022. The search strategy combined keywords related to population (ewe, sheep), intervention (unsaturated fatty acids, vegetable oil, oilseed), and outcomes (milk, cheese, fatty acid profile, production). After removing duplicates and screening titles and abstracts, full texts were assessed for eligibility. Inclusion criteria required studies with control groups, non-grazing systems, plant-based unsaturated fatty acid supplementation, and English publication. Thirty-three eligible studies comprising 52 independent comparisons were identified. Data were extracted using standardized forms. Effect sizes were calculated as standardized mean differences with 95% confidence intervals using Hedges' g. A random-effects model was employed, with heterogeneity assessed using I^2 statistics and Cochran's Q test. Publication bias was examined using funnel plots and Egger's test.

Results: The 33 included studies were conducted across Italy, Spain, Turkey, Iran, Canada, and Romania, using various breeds including Sarda, Manchega, Lacaune, Awassi, and Moghani. Investigated unsaturated fatty acid sources included linseed (whole, extruded, oil), sunflower seed or oil, soybean oil, and olive oil or cake.

Performance Parameters: Supplementation with plant-based unsaturated fatty acids had no significant effect on daily dry matter intake. However, milk yield increased significantly by approximately 0.15 kg per day. Milk fat percentage and lactose percentage were significantly higher in treatment groups, while milk protein percentage decreased significantly.

Milk Fatty Acid Profile: Unsaturated fatty acid supplementation significantly reduced most medium- and short-chain saturated fatty acids, particularly hypercholesterolemic myristic and

palmitic acids, while stearic acid increased. Total saturated fatty acid content decreased substantially. Changes in unsaturated fatty acids were entirely positive: vaccenic acid, oleic acid, both conjugated linoleic acid isomers (c9,t11 rumenic acid and t10,c12), and alpha-linolenic acid all increased significantly. Total polyunsaturated and monounsaturated fatty acids also increased significantly.

Cheese Fatty Acid Profile: Changes observed in milk were effectively transferred to cheese. Saturated fatty acid content decreased while monounsaturated and polyunsaturated fatty acids increased. Beneficial fatty acids including vaccenic acid, oleic acid, conjugated linoleic acid, and alpha-linolenic acid were considerably higher in cheese from supplemented ewes.

Heterogeneity and Publication Bias: High statistical heterogeneity was observed for most variables, reflecting diversity in experimental conditions, supplement types and doses, breeds, and basal diets. Egger's test indicated potential publication bias for milk yield and milk protein percentage but not for other key outcomes.

Discussion: These findings demonstrate that plant-based unsaturated fatty acid supplementation in lactating ewe diets effectively improves both productive performance and nutritional product quality. The absence of negative effects on dry matter intake alleviates concerns about reduced feed consumption. Increased milk yield can be attributed to higher dietary energy density and glucose sparing. The increase in milk fat percentage contrasts with milk fat depression in dairy cows, suggesting lower sensitivity of ewes to inhibitory conjugated linoleic acid isomers. The slight reduction in milk protein percentage is a known phenomenon in fat-supplemented diets. The profound changes in milk fatty acid profile are consistent with ruminant lipid metabolism. Plant-based unsaturated fatty acid sources provide precursors like linoleic acid and alpha-linolenic acid, which undergo ruminal biohydrogenation producing intermediates such as vaccenic acid, subsequently converted to rumenic acid in the mammary gland. The reduction in harmful saturated fatty acids combined with increased beneficial fatty acids markedly improves the milk fat profile towards promoting cardiovascular health. The complete transfer of these improvements to cheese confirms that cheesemaking preserves beneficial fatty acids, enabling production of functional cheeses with enhanced health-promoting properties.

Conclusion: This comprehensive meta-analysis demonstrates that supplementing lactating ewe diets with plant-based unsaturated fatty acid sources is a practical strategy that simultaneously increases production efficiency and enhances product quality. It improves economic profitability through increased milk yield and fat percentage, while substantially increasing the nutritional value of milk and cheese by reducing harmful saturated fatty acids and increasing beneficial fatty acids. These findings provide strong scientific support for farmers, nutritionists, and the sheep dairy industry to implement targeted nutritional strategies towards producing healthier dairy products aligned with public health needs.

Keywords: lactating ewe, unsaturated fatty acids, Conjugated linoleic acid, Milk fatty acid profile, Functional cheese.

اثر اسیدهای چرب گیاهی غیر اشباع بر تولید و ترکیبات شیر و پنیر گوسفندان: متاآنالیز

علی مهدوی^{۱*}، نازنین ذوالفقاری^۱، بابک دارابی قانع^۱، Myriam Jordana Rivero^۲، مجید سواری^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۸

چکیده

بهبود ترکیب اسیدهای چرب شیر و پنیر گوسفند از طریق مداخلات خوراکی، راهبردی امیدبخش برای افزایش ارزش تغذیه‌ای آن برای سلامت انسان است. این متاآنالیز با هدف کمی‌سازی اثرات منابع گیاهی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع بر مصرف خوراک، تولید شیر، ترکیبات شیر و پروفایل اسیدهای چرب شیر و پنیر در میش‌ها انجام شد. یک جستجوی سیستماتیک جامع در پایگاه‌های اطلاعاتی PubMed، Scopus، Web of Science، Google Scholar و Science direct برای مطالعات منتشر شده بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۲ انجام شد. داده‌های ۳۳ مطالعه واجد شرایط با استفاده از نرم‌افزار Comprehensive Meta-Analysis (CMA) تجزیه و تحلیل شد. اندازه اثر به‌عنوان تفاوت استاندارد شده میانگین (SMD) با فاصله اطمینان ۹۵٪ (CI) با استفاده از مدل اثرات تصادفی محاسبه گردید. ناهمگنی با استفاده از آماره Q و I^2 ارزیابی شد و سوگرایی انتشار از طریق نمودار کیفی و آزمون‌های آماری بررسی شد. مکمل‌سازی با اسیدهای چرب غیراشباع با منشأ گیاهی تأثیر معنی‌داری بر مصرف ماده خشک (DMI) نداشت، اما به‌طور معنی‌داری تولید شیر، درصد چربی و درصد لاکتوز را افزایش داد. درصد پروتئین شیر کاهش معنی‌داری یافت. مکمل‌های غیراشباع منجر به کاهش معنی‌دار اسیدهای چرب اشباع (SFA) مانند C14:0، C15:0، C16:0 و C17:0 و افزایش معنی‌دار اسیدهای چرب غیراشباع (MUFA, PUFA)، ایزومرهای اسید لینولئیک مزدوج (c9,t11) (CLA و t10,c12)، اسید واکسنیک (C18:1 t11)، اسید اولئیک (C18:1 c9) و اسید آلفا-لینولئیک (ALA) در هر دو شیر و پنیر شدند. ناهمگنی بالایی مشاهده شد. برای مصرف ماده خشک، چربی و لاکتوز، سوگیری انتشار معنی‌داری شناسایی نشد. با توجه به یافته‌های حاضر مکمل‌سازی جیره میش‌ها با منابع گیاهی اسید چرب غیراشباع، ضمن بهبود تولید شیر، پروفایل اسید چرب شیر و پنیر گوسفند را به‌طور مطلوبی تغییر می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: اسید اولئیک، اسید لینولئیک مزدوج، پنیر، تولید شیر، گوسفند.

۱. مقدمه

شیر گوسفند و فرآورده‌های حاصل از آن، به‌ویژه پنیر، از اجزای اصلی رژیم غذایی در بسیاری از مناطق جهان به‌شمار می‌روند و به دلیل دارا بودن محتوای بالای مواد مغذی ضروری از جمله پروتئین‌های باکیفیت، چربی، ویتامین‌ها و مواد معدنی، از ارزش غذایی بالایی برخوردار هستند (Pulina et al., 2018). در سطح جهانی، تولید شیر گوسفند روندی رو به رشد دارد که عمدتاً ناشی از علاقه روزافزون مصرف‌کنندگان به محصولات لبنی سنتی و خاص می‌باشد (FAOSTAT, 2018). با این وجود، از منظر تغذیه‌ای، چربی شیر نشخوارکنندگان همواره به دلیل دارا بودن نسبت بالای اسیدهای چرب اشباع (SFA)، نظیر اسید میریستیک (C14:0) و اسید پالمیتیک (C16:0)، مورد نقد قرار گرفته است؛ چرا که مصرف بیش از حد این اسیدهای چرب با افزایش خطر بروز بیماری‌های قلبی-عروقی در انسان مرتبط شناخته شده‌اند (Michaëlsson et al., 2014; Szterk et al., 2022).

در مقابل، شیر نشخوارکنندگان به‌طور طبیعی حاوی چندین اسید چرب با خواص سلامت‌بخش اثبات شده نیز هست. از جمله این اسیدهای چرب می‌توان به اسید لینولئیک مزدوج (CLA)، به‌ویژه ایزومر c9,t11 (اسید رومینیک)، اشاره کرد

که اثرات پیشگیری از سرطان، تنگی عروق و دیابت از خود نشان می‌دهد (Wang et al., 2023). سایر اسیدهای چرب مفید شامل اسید واکسنیک (VA, C18:1 t11) که پیش‌ساز سنتز درون‌زاد CLA است، و اسیدهای چرب چندغیراشباع امگا-۳ (PUFA) مانند اسید آلفا-لینولنیک (ALA) می‌شوند که نقش‌های مهمی در کاهش التهاب و حفظ سلامت مغز ایفا می‌کنند (Shingfield et al., 2010).

پروفایل اسید چرب شیر نشخوارکنندگان امری ثابت نبوده و امکان دستکاری قابل توجه آن از طریق راهبردهای تغذیه‌ای وجود دارد. این امر ابزاری قدرتمند در اختیار تولیدکنندگان قرار می‌دهد تا فرآورده‌های لبنی را همسو با سلامت عمومی مردم تولید کنند (Chilliard et al., 2007; Vargas-Bello-Pérez et al., 2021). استفاده از روغن‌های گیاهی، دانه‌های روغنی یا سایر منابع چربی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع (UFA) در جیره می‌ش‌های شیرده، یکی از مؤثرترین روش‌ها در این زمینه محسوب می‌شود. هنگامی که این اسیدهای چرب غیراشباع به شکمبه می‌رسند، دستخوش فرآیند گسترده بیوهیدروژناسیون میکروبی می‌شوند. این فرآیند، در صورت ناقص بودن، منجر به تشکیل و جذب واسطه‌های مختلف بیوهیدروژناسیون از جمله VA و CLA می‌گردد که نهایتاً در چربی شیر گنجانده می‌شوند (Glasser et al., 2008; Dewanckele et al., 2020).

مطالعات اولیه متعددی به بررسی تأثیر منابع مختلف UFA نظیر بذر کتان، دانه آفتابگردان، روغن سویا و تفاله زیتون بر عملکرد و ترکیب اسید چرب شیر گوسفند شیرده پرداخته‌اند (Castro et al., 2009; Correddu et al., 2016; Mierlita et al., 2018; Branciari et al., 2012; Luna et al., 2005). با این حال، نتایج حاصل از این مطالعات اغلب متناقض و گاهی متضاد بوده است که احتمالاً ناشی از تفاوت در شرایط آزمایشی، از جمله نوع و سطح مکمل چربی، ترکیب جیره پایه، نژاد میش و مرحله شیردهی است (Nudda et al., 2014).

انجام یک مرور سیستماتیک و متاآنالیز می‌تواند با ترکیب کمی نتایج حاصل از مطالعات مستقل، و برآوردی قوی‌تر و فراگیر از اثر افزودن روغن‌های گیاهی غیر اشباع به جیره می‌ش‌های شیرده ارائه نماید. علاوه بر این، این روش می‌تواند منابع ناهمگنی را شناسایی کرده و شواهد محکم‌تری برای هدایت دامداران و متخصصان تغذیه فراهم آورد. اگرچه مطالعه متاآنالیز قبلی توسط وارگاس و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی اثرات منابع گیاهی بر تولید و ترکیبات شیر گوسفند پرداخته است، مطالعه حاضر با به روزرسانی جامع و گنجاندن تعداد بیشتری از مطالعات (۳۳ مطالعه در مقابل ۱۴ مطالعه) و نیز برای اولین بار بررسی کمی انتقال اسیدهای چرب مفید به پنیر، که ارتباط مستقیم با صنعت لبنیات و تغذیه انسان دارد، گامی نوین در این حوزه محسوب می‌شود. بنابراین، هدف اصلی از انجام این مطالعه، انجام یک مرور سیستماتیک و متاآنالیز جامع به منظور کمی‌سازی اثرات کلی منابع گیاهی اسید چرب غیراشباع بر مصرف ماده خشک (DMI)، تولید شیر، ترکیبات شیر و پروفایل دقیق اسیدهای چرب شیر و پنیر در می‌ش‌های شیرده بود.

۲. مواد و روش‌ها

این مطالعه به صورت یک مرور سیستماتیک و متاآنالیز انجام گردید. فرآیند اجرا مطابق با دستورالعمل‌های PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) بود (Page et al., 2021). جهت شناسایی کلیه مقالات مرتبط منتشر شده در بازه زمانی ژانویه ۱۹۹۰ تا دسامبر ۲۰۲۲، یک جستجوی سیستماتیک در پایگاه‌های اطلاعاتی الکترونیکی معتبر شامل PubMed، Scopus، Web of Science، Google Scholar و ScienceDirect انجام شد. راهبرد جستجو بر پایه ترکیب کلیدواژه‌ها و عملگرهای بولین مرتبط با جامعه مورد مطالعه (میش، گوسفند)، مداخله (اسیدهای چرب غیراشباع، روغن گیاهی، دانه روغنی، کتان، آفتابگردان، سویا، زیتون) و پیامدهای مورد نظر (شیر، پنیر، پروفایل اسید چرب، اسید لینولنیک مزدوج، تولید، عملکرد، ترکیبات) طراحی گردید.

پس از پایان جستجو و جمع‌آوری مقالات (۹۸۳ مقاله)، کلیه رکوردهای تکراری حذف شدند. در مرحله بعد، غربالگری اولیه بر اساس عنوان و چکیده مقالات انجام گرفت و مقالاتی که به وضوح ارتباطی با موضوع نداشتند، کنار گذاشته شدند. سپس، متون کامل مقالات باقیمانده به دقت مورد ارزیابی قرار گرفتند تا مطابقت آن‌ها با معیارهای از پیش تعریف شده (مطالعاتی که دارای گروه کنترل و فاقد مکمل چربی بودند، مطالعاتی که سیستم پرورشی بصورت غیر مرتعی بوده است، مطالعاتی که از منابع گیاهی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع به عنوان مکمل در گروه آزمایشی (تیمار) استفاده کرده بودند، مطالعاتی که گروه آزمایش (تیمار) فقط یک نوع مکمل گیاهی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع دریافت کرده بودند و مطالعاتی که به صورت زبان انگلیسی چاپ شده بودند) مشخص گردد (۳۳ مقاله). مطالعاتی که از منابع چربی مخلوط بدون مشخص بودن سهم یک منبع گیاهی واضح استفاده کرده بودند، بر روی حیوانات غیر شیرده انجام شده بودند، فاقد داده‌های کافی برای محاسبه اندازه اثر بودند، یا به صورت مقاله مروری، چکیده کنفرانس یا پایان‌نامه بودند، از فرآیند تحلیل نهایی حذف شدند.

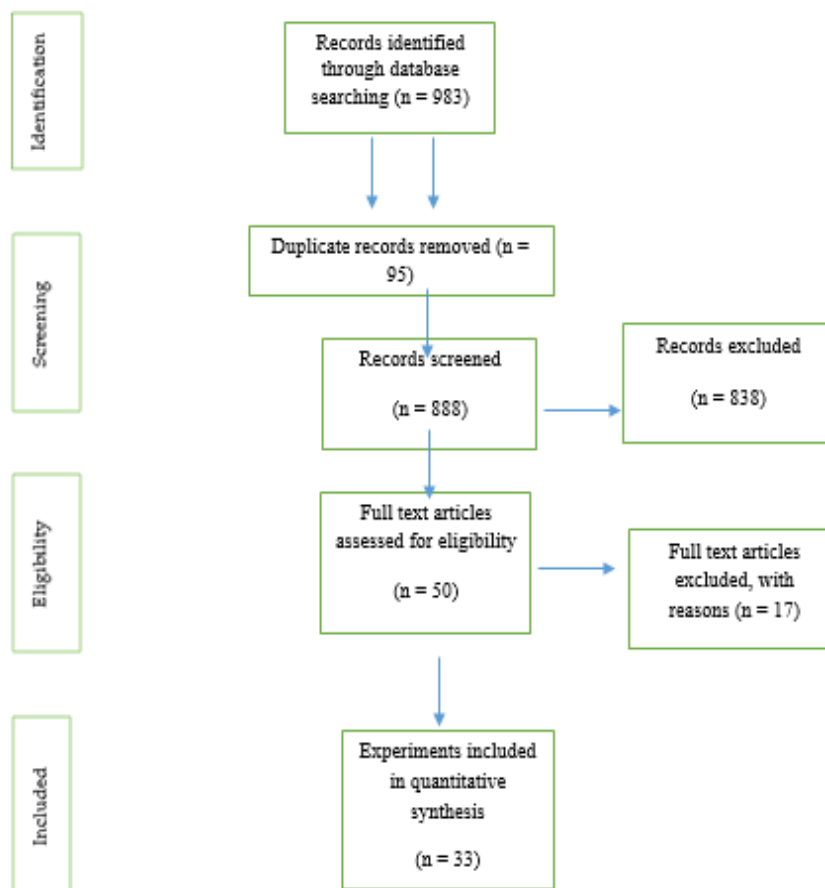
از کلیه مطالعات واجد شرایط نهایی، داده‌ها با استفاده از یک فرم استاندارد، استخراج گردید. اطلاعات جمع‌آوری شده شامل مشخصات bibliographic (نویسنده اول، سال انتشار، کشور)، ویژگی‌های حیوانات (نژاد، تعداد در هر گروه، مرحله شیردهی)، جزئیات مداخله (نوع و سطح مکمل UFA)، ترکیب جیره پایه، و مهم‌تر از همه، داده‌های عددی مربوط به کلیه نتایج ذکر شده در هر دو گروه کنترل و تیمار (شامل میانگین و انحراف معیار یا خطای استاندارد) بود.

کلیه تحلیل‌های آماری و متاآنالیز با استفاده از نرم‌افزار Comprehensive Meta-Analysis (CMA) نسخه ۳ انجام گرفت. برای کمی‌سازی اثر مداخله، اندازه اثر (Effect Size) برای هر مطالعه به صورت تفاوت استاندارد شده میانگین (SMD) همراه با فاصله اطمینان ۹۵٪ (CI) محاسبه گردید. در این محاسبه از Hedges' g که شامل اصلاحی برای سوگیری نمونه‌های کوچک است، استفاده شد. به دلیل تنوع قابل انتظار در شرایط آزمایشی مطالعات مختلف، از مدل اثرات تصادفی (Random-Effects Model) برای ترکیب اندازه اثرهای به دست آمده از مطالعات استفاده گردید. میزان ناهمگنی (Heterogeneity) بین نتایج مطالعات با استفاده از آماره I^2 و آزمون Q ی کوکران ارزیابی شد. مقادیر I^2 به ترتیب ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ به عنوان شاخص‌هایی برای ناهمگنی کم، متوسط و بالا در نظر گرفته شدند. جهت بررسی سوگیری انتشار (Publication Bias)، از روش‌های بصری (ترسیم نمودار قیفی) و آماری (آزمون رگرسیونی Egger) بهره گرفته شد.

۳. یافته‌ها

۳-۱. انتخاب مطالعات و ویژگی‌ها

فرآیند انتخاب مطالعات به طور خلاصه در شکل ۱ (نمودار PRISMA) نمایش داده شده است. جستجوی اولیه در پایگاه‌های اطلاعاتی در مجموع ۹۸۳ رکورد را شناسایی نمود. پس از حذف ۹۵ رکورد تکراری، عنوان و چکیده ۸۸۸ مقاله باقیمانده مورد غربالگری قرار گرفت. از این تعداد، ۸۳۸ مقاله به دلیل عدم ارتباط با سؤال تحقیق کنار گذاشته شدند و متون کامل ۵۰ مقاله برای ارزیابی دقیق‌تر واجد شرایط تشخیص داده شدند. پس از بررسی متن کامل این مقالات، ۱۷ مطالعه به دلایلی از قبیل استفاده از منابع چربی مخلوط، فقدان گروه کنترل مناسب یا عدم گزارش داده‌های ضروری، حذف گردیدند. در نهایت، ۳۳ مطالعه که تمامی معیارهای ورود را دارا بودند، برای انجام متاآنالیز نهایی انتخاب شدند. این ۳۳ مطالعه در مجموع شامل ۵۲ مقایسه مستقل بودند که در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.



شکل ۱- نمودار پریسما حاصل از بررسی، جستجوی اولیه و غربالگری تا انتخاب نهایی مقالات برای افزودن در متآنالیز

Figure 1 – The PRISMA flow diagram of the systematic review from initial search and screening to final selection of publications to be included in the meta-analysis

مطالعات وارد شده در کشورهای مختلفی از جمله ایتالیا، اسپانیا، ترکیه، ایران، کانادا و رومانی انجام شده بودند. نژادهای مختلف میش از جمله ساردا، منچگا، لاکن، آواسی و مغانی در این مطالعات مورد استفاده قرار گرفته بودند. منابع اصلی UFA گیاهی مورد بررسی عبارت بودند از بذر کتان (به اشکال مختلف شامل دانه کامل، دانه اکستروود شده و روغن)، دانه آفتابگردان یا روغن آن، روغن سویا، و روغن زیتون یا تفاله آن. جیره‌های پایه در این مطالعات عمدتاً براساس علوفه‌هایی مانند یونجه، شبدر یا علف خشک بودند که با کنسانتره (معمولاً حاوی ذرت، جو و کنجاله سویا) مکمل شده بودند. خلاصه‌ای از ویژگی‌های کلیدی این مطالعات در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ - خلاصه مقالات استفاده شده در متاآنالیز

TABLE 1- Summary of papers used for the meta-analysis

مطالعه References	تعداد مقایسات No. of compari sons	کشور Country	نژاد Breed	وزن بدن (کیلوگرم) Body weight (kg)	روزهای شیردهی (روز) Days in milk (DIM)	زایش Lactatio n	منبع چربی Fat source	نوع علوفه Forage basis
Perez Alba et al., 1997	2	اسپانیا Spain	منچگا Manchega	64	ماه سوم Third month	شکم اول First lactation	صابون‌های کلسیم اسیدهای چرب زیتون Olive oil	یونجه خورده شده ماش Chopped alfalfa
Appeddu et al., 2004 (آزمایش ۱)	2	آمریکا America	پالیپی Polypay	-	-	بره دوقلو Twin lamb	نمک‌های کلسیم اسیدهای چرب روغن پالم Calcium salts of palm oil fatty acids	یونجه، یونجه فسکیو Chopped alfalfa
Appeddu et al., 2004 (آزمایش ۲)	2	آمریکا America	پالیپی Polypay	-	-	بره دوقلو Twin lamb	نمک‌های کلسیم اسیدهای چرب روغن پالم Calcium salts of palm oil fatty acids	یونجه، یونجه فسکیو alfalfa
Branciari et al., 2012	2	ایتالیا Italy	ساردا Sarda	-	اوایل شیردهی	چندقلو زا Multiple birth	دانه کتان اکستروده شده Extruded linseed	یونجه alfalfa
Branciari et al., 2014	2	ایتالیا Italy	ساردا Sarda	-	-	-	دانه کتان اکستروده شده Extruded linseed	یونجه alfalfa
Caroprese et al., 2011	2	ایتالیا	ساردا	39.11	202.1	-	دانه کتان	ماش، یونجه یولاف

		Italy	Sarda			linseed	alfalfa
Castro et al., 2009		اسپانیا	لاکن			روغن آفتابگردان، روغن پالم هیدروژنه	یونجه یولاف، یونجه
(آزمایش ۲)	2	Spain	Lacunae	71.4	120	غیرآبستن	
						Sunflower seed	alfalfa
						چندقلو زا	
Castro et al., 2009		اسپانیا	لاکن			روغن آفتابگردان، روغن پالم هیدروژنه	یونجه یولاف، یونجه
(آزمایش ۲)	2	Spain	Lacunae	74.3	120	Multiple birth	
						Sunflower seed	alfalfa
						Multiple birth	
Castro-Carrera et al., 2014		اسپانیا	آسف			چندقلو زا	یونجه خشک شده
	1	Spain	Assaf	84.1	75	Multiple birth	
						Sunflower seed	alfalfa
Cieslak et al., 2010		لهستان	مرینو لهستانی			روغن کلزا، روغن کتان	یونجه علفزار
(آزمایش ۱)	2			50	-	-	
						Linseed oil	alfalfa
Cieslak et al., 2010		لهستان	مرینو لهستانی			روغن کلزا، روغن کتان	یونجه علفزار
(آزمایش ۲)	2			50	-	-	
						Linseed oil	alfalfa
Correddu et al., 2015		ایتالیا	ساردا			دانه انگور، دانه کتان	یونجه خشک شده، یونجه مخلوط
	3	Italy	Sarda	43.2	اوایل شیردهی (50 <)	-	
						Linseed	alfalfa
Correddu et al., 2016		ایتالیا	ساردا			دانه انگور، دانه کتان	یونجه خشک شده، یونجه مخلوط
	3	Italy	Sarda	43.2	-	-	
						linseed	alfalfa
Gómez-Cortés et al., 2008 (1)		اسپانیا	آسف			روغن زیتون	یونجه
	1	Spain	Assaf	70.6	اواسط شیردهی	شکم اول	

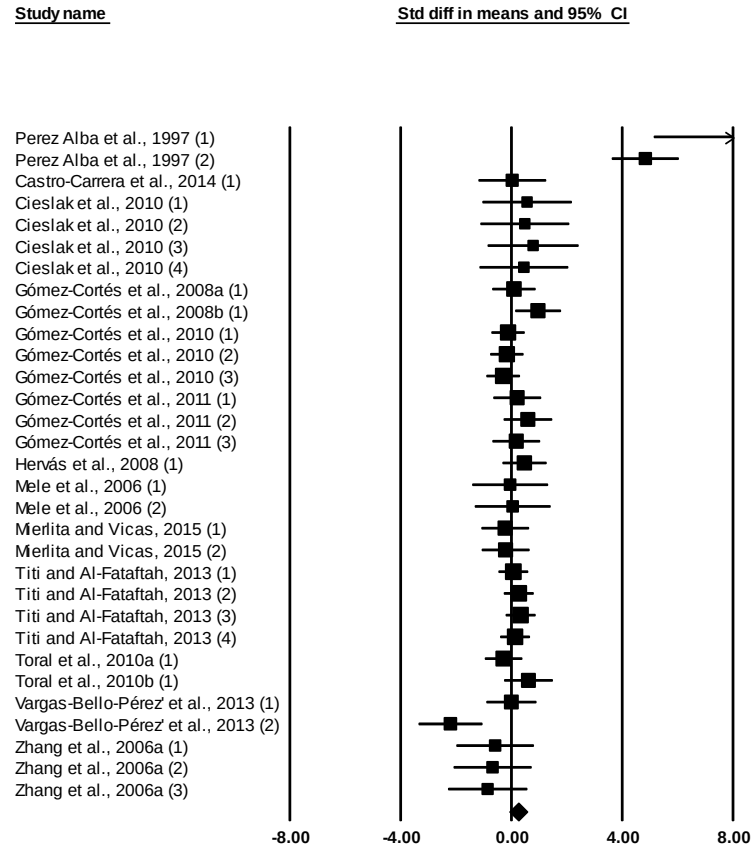
						Olive oil	alfalfa
						دانه کتان اکسترو شده	یونجه، تفالہ چغندر
Gómez-Cortés et al., 2009	2	اسپانیا	مانچگا	-	8	-	Extruded linseed
		Spain	Manchega				alfalfa
						چندقلو زرا	یونجه خشک شده
Gómez-Cortés et al., 2010	3	اسپانیا	آسف	81.5	41	Multiple birth	Sunflower seed
		Spain	Assaf				alfalfa
						چندقلو زرا	یونجه خشک شده
Gómez-Cortés et al., 2011	3	اسپانیا	آسف	83.1	هفته ششم شیردهی	Multiple birth	Sunflower seed
		Spain	Assaf				alfalfa
						روغن آفتابگردان	یونجه خشک شده
Hervás et al., 2008	1	اسپانیا	آسف	-	اواسط شیردهی	شکم اول	Sunflower seed
		Spain	Assaf				alfalfa
						دانه کتان	یونجه خشک شده
Luna et al., 2005	1	اسپانیا	آسف	-	-	-	linseed
		Spain	Assaf				alfalfa
						دانه کتان، روغن آفتابگردان	یونجه، یونجه یولاف، کاه جو، تفالہ چغندر
Luna et al., 2007	1	اسپانیا	ماچنگا	-	8	-	linseed
		Spain	Manchega				alfalfa
						چندقلو زرا	یونجه
						صابون کلسیمی روغن زیتون	alfalfa
Martini et al., 2004	1	ایتالیا	مسز	57.18	-	Multiple birth	
		Italy		60.91			
						روغن سویا	یونجه لوسرن
						سه قلوزا	alfalfa
Mele et al., 2006	2	ایتالیا	ساردا	43.5	اواسط شیردهی (ماه چهارم)	Sobean oil	
		Italy	Sarda				
						چندقلو زرا	سیلوی ذرت، سیلوی چمن، یونجه لوسرن
Mierlita and Vicas, 2015	2	رومانی	ترکانا	44.9	72	دانه کاملینا	

						Multiple birth	alfalfa
							یونجه علف، یونجه
Mierlita et al., 2018	2	رومانی	ترکانا	44.6	-	-	دانه کنف، کنجاله کنف
							alfalfa
Özyürek et al., 2020	2	ترکیه	آکارامان	63.5	اوایل شیردهی (روز 41 از شروع آزمایش)	-	روغن سویا Sobean oil
Satir et al., 2023	2	ترکیه	کیورسیک	52.57	هفته 2 و 4 شیردهی	-	روغن پالم
Titi and Al-Fataftah, 2013	4	اردن	آسف Assaf	70-50	اوایل شیردهی	-	روغن سویا، روغن آفتابگردان Sunflower seed
							alfalfa
	3	اسپانیا		86.4	اواسط شیردهی (هفته 12 شروع آزمایش)	چندقلو زا	روغن آفتابگردان، روغن ماهی و میکس
Toral et al., 2010 (1)		Spain	آواسی			Multiple birth	Sunflower seed
							alfalfa
	4	اسپانیا		84.9	اواسط شیردهی (هفته 14 شروع آزمایش)	چندقلو زا	روغن آفتابگردان
Toral et al., 2010 (2)		Spain	آسف Assaf			Multiple birth	Sunflower seed
						Multiple birth	alfalfa
Valizadeh Yonjalli et al., 2020	5	ایران	مغانی	55	-	-	روغن کتان Linseed oil
							alfalfa
Vargas-Bello-Pérez' et al., 2013 (1)	2	شیلی	لندراس فنلاندی * مرز لستر * پول دورست * مرینو پرکوز	56.5	45	-	روغن زیتون Olive oil
		Chile					alfalfa

Vargas-Bello-Pérez' et al., 2013 (2)	2	شیلی Chile	لندراس فنلاندی * مرز لستر * پول دورست * مرینو پرکوز	56.5	45	چندقلو زا Multiple birth	کنجاله زیتون Olive meal	یونجه آسیاب شده alfalfa
Zhang et al., 2006 (1)	3	کانادا Canada	دورست	81	39	–	دانه کلزا خرد شده، دانه آفتابگردان خرد- شده، دانه کتان خرد شده Sunflower seed	سیلوگراس
Zhang et al., 2006 (2)	3	کانادا Canada	سافولک * فریزن شرقی	–	52	–	دانه کتان linseed	یونجه alfalfa
Zhang et al., 2006 (3)	2	کانادا Canada	50٪ فریزن شرقی * 50٪ لاکن East Friesian × Lacunae	70	28.5	1.9	دانه کتان، دانه آفتابگردان Sunflower seed, linseed	یونجه alfalfa

۳.۲. اثرات بر پارامترهای تولید

نتایج حاصل از متاآنالیز پارامترهای عملکردی و ترکیبات شیر در جدول ۲ نشان داده شده است. نمودار جنگلی (Forest Plots) مربوط به پارامتر مصرف ماده خشک در شکل ۲، قابل مشاهده است.



شکل ۲- نمودار جنگلی برای تاثیر گنجاندن منابع گیاهی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع بر مصرف ماده خشک در جیره گوسفندان (خطوط نشان دهنده فاصله اطمینان ۹۵٪ و مربعات نشان دهنده وزن)

Figure 2 - Forest plot of the effect of including plant-based sources rich in unsaturated fatty acids on dry matter intake in sheep diets (lines represent the 95% confidence interval and squares represent the study weight).

جدول ۲- نتایج متاآنالیز برای ماده خشک مصرفی، تولید و ترکیبات شیر در میش‌های شیرده تحت تأثیر منابع گیاهی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع

Table 2 - Meta-analysis results for dry matter intake, milk yield, and milk composition in lactating ewes as affected by plant-based sources rich in unsaturated fatty acids.

صفات Variable	تعداد مقایسه‌ها No. of comparisons	تفاوت میانگین استاندارد SMD			ناهمگنی بین مطالعات Heterogeneity			تفاوت میانگین خام Raw Mean Difference		سوگیری در انتشار Publication bias
		اندازه اثر Effect Size	فاصله اطمینان Confidence Interval	سطح معنی-داری P-value	Q	سطح معنی-داری P-value	I ²	اندازه اثر Effect Size	فاصله اطمینان Confidence Interval	آزمون Egger
ماده خشک مصرفی (کیلوگرم در روز) DMI (kg/d)	31	0.222	(-0.095 , 0.539)	0.170	111.449	<0.001	73.082	0.045	(-0.023 , 0.112)	0.189
تولید شیر (کیلوگرم در روز) Milk yield (kg/d)	52	0.361	(0.210 , 0.512)	<0.001	95.180	<0.001	46.417	0.057	(0.037 , 0.076)	0.018
چربی (درصد) Milk fat %	58	0.249	(0.014 , 0.484)	0.038	311.553	<0.001	81.705	0.177	(0.090 , 0.264)	0.299
پروتئین (درصد) Milk protein %	58	0.380 -	(-0.609 , 0.152)	0.001	289.568	<0.001	80.317	0.067 -	(-0.102 , -0.031) ()	0.013
لاکتوز (درصد) Milk lactose %	36	0.274	(0.037 , 0.511)	0.023	134.349	<0.001	73.984	0.025	(-0.001 , 0.050)	0.384

مصرف ماده خشک (DMI): تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که افزودن مکمل‌های UFA گیاهی به جیره، تأثیر آماری معنی‌داری بر میزان مصرف ماده خشک روزانه میش‌های شیرده ندارد ($SMD = 0.222, P = 0.170$). با این حال، درجه بالایی از ناهمگنی بین مطالعات در این پارامتر مشاهده شد ($I^2 = 73.082\%$).

تولید شیر: مکمل‌سازی جیره با منابع UFA گیاهی اثر مثبت و معنی‌داری بر تولید شیر داشت ($SMD = 0.361, P = 0.002$). این اندازه اثر نشان می‌دهد که تولید شیر در گروه‌های دریافت‌کننده مکمل به طور میانگین حدود ۰٫۱۵ کیلوگرم در روز افزایش یافته است ($I^2 = 46.417\%$).

ترکیبات شیر: درصد چربی شیر در گروه‌های تیمار شده به طور معنی‌داری بالاتر از گروه شاهد بود ($SMD = 0.249, P = 0.038$). به طور مشابه، درصد لاکتوز شیر نیز تحت تأثیر مثبت مکمل‌ها قرار گرفت و افزایش معنی‌داری را نشان داد ($SMD = 0.274, P = 0.023$). در مقابل، درصد پروتئین شیر در گروه‌های دریافت‌کننده مکمل UFA در مقایسه با گروه شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافت ($SMD = -0.380, P = 0.001$). ناهمگنی برای تمامی این صفات ترکیبات شیر در حد متوسط تا بالا (۷۲٫۰٪ تا ۸۱٫۰٪) بود.

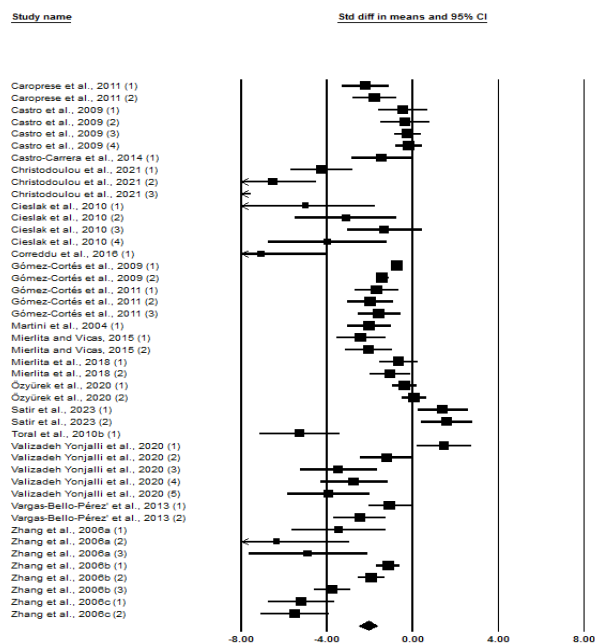
۳٫۳. اثرات بر پروفایل اسید چرب شیر

متاآنالیز انجام شده بر روی پروفایل اسید چرب شیر، تغییرات بسیار واضح و معنی‌داری را در پاسخ به مکمل‌سازی UFA گیاهی آشکار کرد. جزئیات این نتایج در جدول ۳ و نمودارهای جنگلی مربوط به SFA و PUFA به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است.

جدول ۳- نتایج متاآنالیز برای تاثیر گنجاندن منابع گیاهی غنی از اسیدهای چرب غیر اشباع بر پروفایل اسیدهای چرب شیر

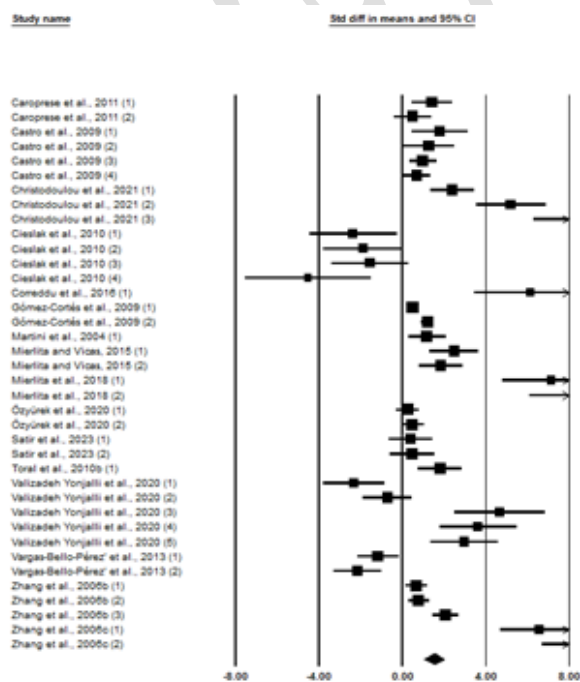
Table 3 - Meta-analysis results for the effect of including plant-based sources rich in unsaturated fatty acids on milk fatty acid profile

صفات Variable	تعداد مقایسه‌ها No. of comparisons	تفاوت میانگین استاندارد SMD			ناهمگنی بین مطالعات Heterogeneity			تفاوت میانگین خام Raw Mean Difference		سوگیری در انتشار Publication bias
		اندازه اثر Effect Size	فاصله اطمینان Confidence Interval	سطح معنی‌داری P-value	Q	سطح معنی‌داری P-value	I ²	اندازه اثر Effect Size	فاصله اطمینان Confidence Interval	آزمون Egger
C4	43	0.578	(0.174 ,1.000)	0.005	816.431	<0.001	94.856	0.148	(0.109 ,0.187)	0.696
C6	52	-1.028	(-1.303 , -0.753)	<0.001	467.162	<0.001	89.083	-0.307	(-0.383 , -0.230)	<0.1
C8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C10	58	-1.986	(-2.351 , -1.622)	<0.001	846.311	<0.001	93.265	-0.810	(-2.067 , -1.553)	<0.1
C12	58	-2.242	(-2.626 , -1.858)	<0.001	919.983	<0.001	93.804	-1.140	(-1.341 , -0.940)	<0.1
C14	61	-1.325	(-1.618 , -1.033)	<0.001	626.706	<0.001	90.426	-1.289	(-1.521 , -1.058)	<0.1
C15	52	-0.995	(-1.242 , -0.747)	<0.001	308.681	<0.001	86.603	-1.135	(-0.172 , -0.098)	<0.1
C16	61	-1.378	(-1.690 , -1.066)	<0.001	668.818	<0.001	91.029	-2.655	(-3.270 , -2.060)	<0.1
C17	45	-0.714	(-0.960 , -0.468)	<0.001	294.418	<0.001	85.055	-0.064	(-0.091 , -1.308)	<0.1
C18	66	1.495	(1.170 ,1.820)	<0.001	815.215	<0.001	92.027	1.164	(1.311 ,1.971)	<0.1
C18:1 t11	48	2.152	(1.717 ,2.588)	<0.001	791.311	<0.001	94.060	1.668	(1.370 ,1.967)	<0.1
C18:1 c9	59	1.552	(1.178 ,1.927)	<0.001	750.546	<0.001	92.272	2.262	(1.862 ,۲/۶۶۳)	<0.1
C18:2 c9 t11 (CLA rumenic acid)	53	2.272	(1.923 ,2.621)	<0.001	585.564	<0.001	91.120	0.822	(0.671 ,0.972)	<0.1
C18:2 t10 c12	41	0.876	(0.516 ,1.236)	<0.001	362.231	<0.001	88.957	0.013	(0.010 ,0.015)	<0.1
18:2n-6 LA	63	0.200	(-0.042 ,0.441)	0.105	435.604	<0.001	85.767	0.122	(-0.026 ,0.271)	0.621
18:3n-3 ALA	63	1.168	(0.733 ,1.603)	<0.001	1239.831	<0.001	95.156	0.256	(0.167 ,0.345)	0.814
C20	43	0.435	(-0.089 ,0.958)	0.104	1273.744	<0.001	96.703	0.063	(0.038 ,0.087)	0.252
ΣSFA	45	-2.070	(-2.499 , -1.642)	<0.001	396.567	<0.001	88.905	-5.583	(-6.893 , -4.273)	<0.1
ΣMUFA	42	2.139	(1.672 ,2.605)	<0.001	425.210	<0.001	90.358	5.501	(4.447 ,6.555)	<0.1
ΣPUFA	38	1.520	(1.045 ,1.994)	<0.001	399.971	<0.001	90.749	1.312	(0.758 ,1.865)	0.043



شکل ۳- نمودار درختی اندازه اثر گنجاندن منابع گیاهی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع بر SFA شیر (خطوط نشان‌دهنده فاصله اطمینان ۹۵٪ و مربعات نشان-دهنده وزن)

Figure 3 - Forest plot of the effect size of including unsaturated fatty acid-rich plant sources on milk SFA (the lines indicate the 95% confidence interval and the squares represent the study weights).



شکل ۴- نمودار درختی اندازه اثر گنجاندن منابع گیاهی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع بر PUFA شیر (خطوط نشان‌دهنده فاصله اطمینان ۹۵٪ و مربعات نشان-دهنده وزن)

Figure 4 - Forest plot of the effect size from the inclusion of plant-based sources rich in unsaturated fatty acids on milk PUFA (lines indicate the 95% confidence interval and squares represent the study weight).

اسیدهای چرب اشباع (SFA): مکمل سازی UFA منجر به کاهش معنی دار و قابل توجهی در غلظت اغلب اسیدهای چرب اشباع زنجیره متوسط و کوتاه شد. این کاهش به ویژه برای اسیدهای چرب میریستیک ($C14:0$; $SMD = -$) و پالمیتیک ($C16:0$; $SMD = -1.378$) که از جمله اسیدهای چرب اشباع با پتانسیل هایپرکلسترولمیک شناخته می شوند، بسیار چشمگیر بود. در مقابل، غلظت اسید استئاریک ($C18:0$)، یک اسید چرب اشباع زنجیره بلند که اثر خنثی بر پروفایل لیپیدی خون دارد، به طور معنی داری افزایش یافت ($SMD = 1.495$). در نتیجه این تغییرات متضاد، اما با غلبه کاهش در اسیدهای چرب زنجیره کوتاه و متوسط، محتوای کلی SFA در شیر کاهش معنی دار و قابل توجهی را تجربه کرد ($SMD = -2.070$).

اسیدهای چرب غیر اشباع (UFA): تغییرات در این بخش کاملاً مثبت و در جهت بهبود پروفایل سلامتی شیر بود. غلظت اسید واکسنیک ($C18:1$ t11; VA)، که یک واسطه مهم در فرآیند بیوهیدروژناسیون و پیش ساز CLA است، به میزان بسیار زیادی افزایش یافت ($SMD = 2.152$). به طور مشابه، اسید اولئیک ($C18:1$ c9; OA)، یک اسید چرب غیر اشباع مفید برای سلامت قلب، نیز افزایش معنی داری نشان داد ($SMD = 1.552$). هر دو ایزومر مهم اسید لینولئیک مزدوج، یعنی ایزومر c9,t11 (رومینیک اسید) و ایزومر t10,c12، به ترتیب با اندازه اثرهای ۲,۲۷۲ و ۰,۸۷۶ به طور معنی داری در شیر افزایش یافتند. همچنین، غلظت اسید آلفا-لینولنیک (ALA)، یک اسید چرب ضروری امگا-۳، به شدت تحت تأثیر قرار گرفت و افزایشی معادل $SMD = 1.168$ را ثبت نمود.

گروه های اصلی اسید چرب: در نتیجه تغییرات فوق، محتوای کلی اسیدهای چرب غیر اشباع چندگانه (PUFA) شیر بیشترین افزایش را تجربه کرد ($SMD = 1.520$). محتوای اسیدهای چرب غیر اشباع تک گانه (MUFA) نیز افزایشی معنی دار و قابل توجه داشت ($SMD = 2.139$). این تغییرات در کنار کاهش SFA، نشان دهنده یک بهبود کیفی چشمگیر در پروفایل چربی شیر گوسفند است.

۳,۴. اثرات بر پروفایل اسید چرب پنیر

تغییرات ایجاد شده در پروفایل اسید چرب شیر، به طور مؤثری به محصول نهایی، یعنی پنیر، منتقل شد. آنالیزهای انجام شده بر روی پنیر (جدول ۴) نشان داد که روندهای مشاهده شده در شیر در مورد پنیر نیز تکرار می شوند. به طور مشخص، محتوای SFA در پنیر کاهش و محتوای MUFA و PUFA افزایش معنی داری یافت. همچنین، غلظت اسیدهای چرب مفیدی مانند CLA, OA, VA و ALA در پنیر تولید شده از شیر گوسفندان تغذیه شده با مکمل UFA به طور قابل توجهی بالاتر بود. این موضوع حاکی از آن است که فواید تغذیه ای ناشی از تغییر جیره، نه تنها در شیر خام، بلکه در فرآورده با ارزش افزوده بالاتری مانند پنیر نیز حفظ می شود.

جدول ۴- نتایج متاآنالیز برای تاثیر گنجاندن منابع گیاهی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع بر پروفایل اسیدهای چرب پنیر

Table 4 - Meta-analysis results for the effect of including plant-based sources rich in unsaturated fatty acids on cheese fatty acid profile

صفات Variable	تعداد مقایسه‌ها No. of comparisons	تفاوت میانگین استاندارد شده SMD			ناهمگنی بین مطالعات Heterogeneity			تفاوت میانگین خام Raw Mean Difference		سوگیری در انتشار Publication bias
		اندازه اثر Effect Size	فاصله اطمینان Confidence Interval	سطح معنی‌داری P-value	Q	سطح معنی‌داری P-value	I ²	اندازه اثر Effect Size	فاصله اطمینان Confidence Interval	آزمون Egger
C4	13	1.021	(0.464 ,1.577)	0.001 <	14.37 86	<0.001	9.802 1	0.1 57	(0.088 ,0.225)	0.808
C6	16	-1.627	(-2.233 , -1.020)	0.001 <	19.25 17	<0.001	9.295 2	0.3 -24	(-0.457 , -0.192)	0.066
C8	16	-2612	(-3.534 , -1.689)	0.001 <	32.81 16	<0.001	9.410 5	0.4 -59	(-0.582 , -0.335)	0.374
C10	16	-5.565	(-7.022 , -4.107)	0.001 <	45.21 55	<0.001	9.705 6	1.8 -85	(-2.282 , -1.489)	0.055
C12	16	-4.696	(-5.798 , -3.598)	0.001 <	26.32 25	<0.001	9.346 4	1.2 -35	(-1.429 , -1.041)	0.218
C14	16	-3.915	(-4.827 , -3.002)	0.001 <	22.88 94	<0.001	9.330 3	1.5 -84	(-1.853 , -1.315)	0.234
C15	16	-2.127	(-2.985 , -1.270)	0.001 <	34.40 21	<0.001	9.606 5	0.1 -77	(-0.217 , -0.136)	0.341
C16	16	-4.378	(-5.648 , -3.126)	0.001 <	37.44 83	<0.001	9.983 5	4.1 -74	(-5.156 , -3.392)	0.174
C18	16	5.563	(4.335 , 6.791)	0.001 <	36.81 51	<0.001	9.854 5	3.4 41	(2.924 , 3.958)	0.015
C18:1 t11	13	12.130	(9.019 , 15.241)	0.001 <	96.80 91	<0.001	9.752 8	2.0 89	(1.479 , 2.698)	<0.1
C18:1 c9	16	3.259	(2.062 , 4.455)	0.001 <	58.35 72	<0.001	9.424 7	2.7 82	(2.169 , 3.395)	<0.1
C18:2 c9 t11 (CLA rumenic acid)	13	7.014	(4.972 , 9.176)	0.001 <	69.64 95	<0.001	9.275 8	0.8 92	(0.663 , 1.121)	<0.1

18:2n-6 LA	13	1.628	(0.652 .2.602)	0.001 <	27.40 21	<0.001	-	0.4 01	(0.141 .0.660)	0.075
18:3n-3 ALA	16	4.838	(2.867 .6.809)	0.001 <	86.21 00	<0.001	9.256 8	0.5 30	(0.239 .0.820)	0.082
ΣSFA	18	-4.331	(-5.325 -3.337)	0.001 <	33.82 80	<0.001	9.861 4	- 7.0 48	(-8.623 -5.473)	0.043
ΣMUFA	15	3.872	(3.004 .4.740)	0.001 <	22.09 25	<0.001	9.808 3	5.6 95	(4.505 .6.884)	0.033
ΣPUFA	15	3.683	(2.222 .5.143)	0.001 <	64.67 63	<0.001	9.825 7	2.1 71	(1.333 .3.009)	0.169

۳,۵. ناهمگنی و سوگیری انتشار

درجه بالایی از ناهمگنی آماری ($I^2 > 75\%$) برای اکثر قریب به اتفاق متغیرهای مورد بررسی، به ویژه پارامترهای مربوط به اسیدهای چرب شیر و پنیر، مشاهده شد. این ناهمگنی بالا نشان‌دهنده تنوع قابل توجه در شرایط آزمایشی، نوع و دوز مکمل‌های استفاده شده، نژاد حیوانات و ترکیب جیره‌های پایه در بین ۳۳ مطالعه وارد شده به متاآنالیز است. ارزیابی سوگیری انتشار با استفاده از آزمون اگر، وجود سوگیری احتمالی را برای دو پارامتر تولید شیر ($P < 0.10$) و درصد پروتئین شیر ($P < 0.10$) نشان داد. با این حال، برای پیامدهای کلیدی دیگر مانند مصرف ماده خشک، درصد چربی شیر و درصد لاکتوز، شواهد آماری قوی‌ای دال بر وجود سوگیری انتشار به دست نیامد ($P > 0.05$).

۴. بحث

این مطالعه که به صورت یک مرور سیستماتیک و متاآنالیز انجام شده است، شواهد کمی قوی و جامعی را در مورد تأثیرات استفاده از مکمل‌های گیاهی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع بر عملکرد و کیفیت محصولات گوسفند شیرده ارائه می‌دهد. یافته‌های ما به وضوح نشان می‌دهد که این راهبرد تغذیه‌ای نه تنها قابلیت بهبود شاخص‌های تولیدی را دارد، بلکه می‌تواند پروفایل اسید چرب شیر و پنیر را به طور بنیادینی در جهت ارتقای ارزش تغذیه‌ای و مطابقت با توصیه‌های سلامت عمومی تغییر دهد.

۴,۱. ماده خشک مصرفی، تولید و ترکیبات شیر

بر خلاف برخی نگرانی‌ها مبنی بر احتمال کاهش مصرف خوراک با افزودن چربی به جیره نشخوارکنندگان، نتایج این متاآنالیز نشان داد که مکمل‌سازی جیره با منابع UFA گیاهی تأثیر معنی‌داری بر میزان مصرف ماده خشک (DMI) در میش‌های شیرده ندارد. این یافته با نتایج چندین مطالعه بر روی گوسفند و دیگر نشخوارکنندگان همخوانی دارد (Demirel, 2006; Whitlock et al., 2004; et al.). به نظر می‌رسد هنگامی که این مکمل‌ها در سطوح متعادل و منطقی (معمولاً کمتر از ۵-۶٪ از ماده خشک جیره) استفاده شوند، اثرات منفی قابل توجهی بر قابلیت هضم فیبر یا فرآیندهای تخمیر شکمبه‌ای که می‌تواند منجر به کاهش مصرف اختیاری خوراک شود، ایجاد نمی‌کنند (Allen, 2000). افزایش معنی‌دار تولید شیر (حدود ۰,۱۵ کیلوگرم در روز) که در این متاآنالیز مشاهده شد، یک مزیت اقتصادی مهم برای دامدار محسوب می‌شود. این افزایش را می‌توان عمدتاً به دو عامل نسبت داد اول، افزایش تراکم انرژی جیره در نتیجه افزودن منبع لیپیدی (Palmquist, 1994). دوم، وقوع پدیده‌ای به نام "صرفه‌جویی در گلوکز". با تأمین بخشی از اسیدهای چرب مورد نیاز برای ساخت چربی شیر از طریق جیره (اسیدهای چرب بلندزنجیر)، از سنتز پرانرژی این اسیدهای چرب در خود غده پستانی (سنتز De Novo) کاسته می‌شود. این امر در نهایت منجر به ذخیره گلوکز بیشتری می‌شود که می‌تواند برای سنتز لاکتوز—عامل اصلی تعیین حجم شیر—مورد استفاده قرار گیرد (Storry et al., 1973). لازم به ذکر است که تعداد بیشتر مطالعات و معیارهای ورود گسترده‌تر در مطالعه حاضر، دلیل اصلی تفاوت در سطح معنی‌داری نسبت به متاآنالیزهای پیشین است.

افزایش معنی‌دار درصد چربی شیر، یافته‌ای است که در تضاد با پدیده رایج "کاهش چربی شیر ناشی از جیره (MFD)" در گاوهای شیری تغذیه شده با مقادیر بالای اسیدهای چرب غیراشباع قرار می‌گیرد. این تفاوت احتمالاً ناشی از حساسیت کمتر میش‌ها نسبت به اثرات بازدارنده ایزومرهای خاصی از CLA (مانند t10,c12) بر سنتز چربی در غده پستانی است (Shingfield et al., 2010). همچنین، تفاوت در جمعیت میکروبی شکمبه، سینتیک عبور مواد و متابولیسم کلی چربی

در این دو گونه می‌تواند در این پاسخ متفاوت نقش داشته باشد. کاهش مشاهده شده در درصد پروتئین شیر، اگرچه از نظر آماری معنی‌دار بود ($SMD = -0.380, P = 0.001$)، اما از نظر عددی کم (حدود ۰٫۱۶ واحد درصد) و پدیده‌ای شناخته شده در جیره‌های حاوی چربی افزوده است. این کاهش می‌تواند ناشی از دو مکانیسم اصلی باشد: اول، اثر رقیق‌سازی به دلیل افزایش حجم شیر. دوم، کاهش احتمالی سنتز پروتئین میکروبی در شکمبه یا تغییر در جریان اسیدهای آمینه به دلیل تغییرات در محیط تخمیر شکمبه (Schroeder et al., 2004). افزایش کوچک اما معنی‌دار در درصد لاکتوز نیز همسو با افزایش تولید شیر و نقش کلیدی لاکتوز به عنوان عامل اصلی تنظیم فشار اسمزی و حجم شیر است.

۴٫۲. الگوی اسیدهای چرب شیر

بی‌تردید، بارزترین و از نظر تغذیه‌ای مهم‌ترین دستاورد این متآنالیز، تغییرات شگرف و بسیار مطلوبی است که در پروفایل اسید چرب شیر تحت تأثیر مکمل‌های UFA گیاهی ایجاد شد. کاهش چشمگیر در اسیدهای چرب اشباع زنجیره متوسط به ویژه اسیدهای میریستیک ($C14:0$) و پالمیتیک ($C16:0$)—که به طور قوی با افزایش سطح کلسترول LDL خون در انسان مرتبط هستند—از منظر سلامت عمومی بسیار حائز اهمیت است. در مقابل، افزایش همزمان در غلظت اسیدهای چرب غیراشباع مفید، ارزش عملکردی شیر گوسفند را به طور قابل توجهی ارتقا می‌دهد.

این تغییرات کاملاً با درک فعلی ما از سرنوشت سوخت و ساز چربی‌ها در نشخوارکنندگان همخوانی دارد. منابع گیاهی غنی از پیش‌سازهایی مانند اسید لینولئیک (LA) و اسید آلفا-لینولنیک (ALA) در شکمبه تحت فرآیند پیچیده بیو هیدروژناسیون توسط میکروارگانیسم‌ها قرار می‌گیرند. در طی این فرآیند، ایزومرهای مختلفی از اسیدهای چرب ترانس و مزدوج تشکیل می‌شوند. افزایش شدید اسید واکسنیک (VA) در شیر دقیقاً بازتاب تشکیل این واسطه کلیدی در شکمبه است (Bauman and Grimari, 2003). بخشی از این VA پس از جذب و انتقال به غده پستانی، توسط آنزیم Δ^9 -desaturase به ایزومر c9,t11 اسید لینولئیک مزدوج (CLA) که به اسید رومینیک نیز معروف است، تبدیل می‌شود (Shingfield et al., 2010). بنابراین، افزایش همزمان VA و CLA c9,t11 در شیر، شواهدی بر فعال بودن این مسیر متابولیک است. افزایش قابل‌توجه ALA در شیر را می‌توان به عبور نسبی این اسید چرب امگا-۳ از فرآیند بیوهیدروژناسیون شکمبه‌ای و ورود آن به بخش چربی شیر نسبت داد که خود بازتاب‌دهنده غلظت بالای ALA در منابع خوراکی همچون بذر کتان است. افزایش اسید اولئیک (OA) نیز می‌تواند هم از طریق کاهش زیست‌بیو هیدروژناسیون اسید لینولئیک و هم از طریق فعالیت آنزیم Δ^9 -desaturase روی اسید استئاریک ($C18:0$) توضیح داده شود. به طور کلی، عبور دست‌نخورده PUFA از شکمبه تحت شرایطی نظیر مصرف بالای چربی، جیره‌های پرکنسانتره، استفاده از روغن آزاد و کاهش pH شکمبه افزایش می‌یابد.

۴٫۳. الگوی اسیدهای چرب پنیر

نکته بسیار مهم و کاربردی این است که هر گونه بهبود ایجاد شده در پروفایل اسید چرب شیر، به طور کامل و مؤثری به محصول نهایی با ارزش افزوده بالاتر، یعنی پنیر، منتقل می‌گردد. این یافته‌ها به وضوح نشان می‌دهند که فرآیند تبدیل شیر به پنیر باعث حذف یا کاهش این اسیدهای چرب مفید نمی‌شود. در نتیجه، تولید پنیر از شیری که پروفایل اسید چرب آن از طریق تغذیه اصلاح شده است، راهکاری عملی برای تولید "پنیرهای فراسودمند" (Functional Cheeses) با خواص سلامت‌بخش افزوده فراهم می‌کند. این امر می‌تواند مزیت رقابتی قابل توجهی برای صنعت پنیرسازی گوسفندی ایجاد نماید.

۴٫۴. ناهمگنی و محدودیت‌ها

وجود ناهمگنی آماری بالا در بین مطالعات، امری قابل انتظار و تا حدی اجتناب‌ناپذیر در متاآنالیز مطالعات حیوانی است. این ناهمگنی عمدتاً بازتابی از تنوع گسترده در عوامل مؤثر از قبیل نوع خاص منبع UFA (مثلاً بذر کتان در مقابل آفتابگردان)، شکل فیزیکی آن (دانه کامل، اکستروده شده، روغن)، سطح استفاده در جیره، نژاد خاص میش‌ها، مرحله شیردهی و ترکیب دقیق جیره پایه است. این تنوع، اگرچه تفسیر یکنواخت نتایج را پیچیده می‌کند، با این حال همراستایی جهت تغییرات در اکثر مطالعات، نشان‌دهنده استحکام اثر کلی مثبت مکمل‌های غیراشباع است. از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به عدم امکان انجام متارگرسیون قوی بر روی همه این عوامل تعدیل‌گر بالقوه به دلیل گزارش نکردن یکسان تمامی این متغیرها در مطالعات اولیه اشاره کرد. همچنین، وجود نشانه‌هایی از سوگیری انتشار برای تولید شیر و پروتئین شیر، احتیاط در تعمیم‌پذیری مطلق این برآوردها را ضروری می‌سازد.

۵. نتیجه‌گیری

یافته‌های این متاآنالیز نشان می‌دهد که مکمل‌سازی جیره میش‌های شیرده با منابع گیاهی اسیدهای چرب غیراشباع می‌تواند راهبردی مؤثر در بهبود تولید و کیفیت شیر و پنیر باشد. افزودن این مکمل‌ها تأثیر معنی‌داری بر مصرف ماده خشک نداشت، اما تولید شیر، درصد چربی و لاکتوز را افزایش و درصد پروتئین شیر را کاهش داد. در سطح اسیدهای چرب، کاهش چشمگیر اسیدهای اشباع مضر (مانند C14:0 و C16:0) و افزایش قابل‌توجه اسیدهای چرب غیراشباع مفید (شامل CLA، اسید واکسنیک، اسید اولئیک و ALA) در هر دو شیر و پنیر مشاهده گردید که نشان‌دهنده بهبود کیفی چشمگیر در پروفایل چربی است. با این حال، به دلیل وجود ناهمگونی بالا ($I^2 > 90\%$)، احتمال سوگیری انتشار برای برخی متغیرها، و عدم بررسی کافی عوامل تعدیل‌گر نظیر سطح مکمل، نژاد و مرحله شیردهی، تعمیم‌پذیری نتایج باید با احتیاط صورت گیرد. همچنین محدودیت‌هایی نظیر عدم بررسی هزینه-اثربخشی اقتصادی، پایداری اسیدهای چرب در طی فرآوری پنیر، و اثرات جانبی بالقوه بر سلامت حیوان، از جمله مواردی هستند که در مطالعات اولیه به آن‌ها پرداخته نشده و تفسیر نتایج را با محدودیت مواجه می‌سازد. در مجموع، با وجود محدودیت‌های اشاره‌شده، شواهد موجود حاکی از پتانسیل مثبت این راهبرد تغذیه‌ای است، اما کاربرد عملی آن در صنعت لبنیات گوسفندی نیازمند تحقیقات تکمیلی با استانداردهای بالاتر، ارزیابی اقتصادی، و بررسی پایداری اسیدهای چرب در طی فرآوری پنیر می‌باشد.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله تأکید می‌کنند که هیچ گونه تعارض منافی در ارتباط با این پژوهش وجود ندارد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری و پشتیبانی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه سمنان که انجام این مطالعه را میسر ساختند، صمیمانه قدردانی می‌نماییم.

References

1. Alba, L. P., Cavalcanti, S. D. S., Hernández, M. P., Marín, A. M., & Marín, G. F. (1997). Calcium soaps of olive fatty acids in the diets of Manchega dairy ewes: effects on digestibility and production. *Journal of Dairy Science*, 80(12), 3316-3324.

2. Allen, M.S., (2000). Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 83, 1598–1624.
3. Angulo, J., Mahecha, L., Nuernberg, K., Nuernberg, G., Dannenberger, D., Olivera, M., Boutinaud, M., Leroux, C., Albrecht, E., & Bernard, L., (2012). Effects of polyunsaturated fatty acids from plant oils and algae on milk fat yield and composition are associated with mammary lipogenic and SREBF1 gene expression. *Animal* 6, 1961–1972.
4. Appeddu, L. A., Ely, D. G., Aaron, D. K., Deweese, W. P., & Fink, E. (2004). Effects of supplementing with calcium salts of palm oil fatty acids or hydrogenated tallow on ewe milk production and twin lamb growth. *Journal of Animal Science*, 82(9), 2780–2789.
5. Bauman, D.E., & Grimari, J.M., (2003). Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annu. Rev. Nutr.* 23, 203–227.
6. Borenstein, M., Hedges, L.V., Higgins, J.P.T., Rothstein, H.R., (2009). Introduction to Meta-Analysis. *John Wiley & Sons*, Chichester, UK.
7. Branciar, R., Miraglia, D., Ranucci, D., Boselli, C., Urbani, S., Esposto, S., Servili, M., (2012). Use of extruded linseed in the dairy sheep diet to improve fatty acid composition of cheese. *Ital. J. Anim. Sci.* 11, e33.
8. Caroprese, M., Albenzio, M., Bruno, A., Fedele, V., Santillo, A., & Sevi, A. (2011). Effect of solar radiation and flaxseed supplementation on milk production and fatty acid profile of lactating ewes under high ambient temperature. *Journal of Dairy Science*, 94(8), 3856–3867.
9. Castro, T., Manso, T., Jimeno, V., Del Alamo, M., Mantecon, A.R., (2009). Effects of dietary sources of vegetable fats on performance of dairy ewes and conjugated linoleic acid (CLA) in milk. *Small Rumin. Res.* 84, 47–53.
10. Chilliard, Y., Glasser, F., Ferlay, A., Bernard, L., Rouel, J., Doreau, M., (2007). Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 109, 828–855.
11. Cieślak, A., Kowalczyk, J., Czauderna, M., Potkański, A., Szumacher-Strabel, M., (2010). Enhancing unsaturated fatty acids in ewe's milk by feeding rapeseed or linseed oil. *Czech J. Anim. Sci.* 55, 496–504.
12. Correddu, F., Gaspa, G., Pulina, G., Nudda, A., (2016). Grape seed and linseed, alone and in combination, enhance unsaturated fatty acids in the milk of Sarda dairy sheep. *Journal of Dairy Science*, 99, 1725–1735.
13. Cozma, A., Miere, D., Filip, L., Andrei, S., Banc, R., Loghin, F., (2013). A Review of the Metabolic Origins of Milk Fatty Acids. *Not. Sci. Biol.* 5, 270–274.
14. Demirel, G., Wachira, A.M., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G., Wood, J.D., Enser, M., (2004). Effects of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids, breed and dietary vitamin E on the fatty acids of lamb muscle, liver and adipose tissue. *Br. J. Nutr.* 91, 551–565.
15. Dewanckele, L., Toral, P.G., Vlaeminck, B., Fievez, V., (2020). Invited review: Role of rumen biohydrogenation intermediates and rumen microbes in diet-induced milk fat depression: An update. *Journal of Dairy Science*, 103, 7655–7681.
16. FAOSTAT, 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (accessed on 9 July 2020).
17. Glasser, F., Ferlay, A., Doreau, M., Schmidely, P., Sauvant, D., Chilliard, Y., (2008). Long-chain fatty acid metabolism in dairy cows: A meta-analysis of milk fatty acid yield in response to dietary supplementation. *Journal of Dairy Science*, 91, 2771–2785.
18. Gómez-Cortés, P., Bach, A., Luna, P., Juárez, M., & De la Fuente, M. A. (2009). Effects of extruded linseed supplementation on n-3 fatty acids and conjugated linoleic acid in milk and cheese from ewes. *Journal of Dairy Science*, 92(9), 4122–4134.
19. Gómez-Cortés, P., De la Fuente, M. A., Toral, P. G., Frutos, P., Juárez, M., & Hervás, G. (2011). Effects of different forage: concentrate ratios in dairy ewe diets supplemented with

sunflower oil on animal performance and milk fatty acid profile. *Journal of Dairy Science*, 94(9), 4578-4588.

20. Gómez-Cortés, P., Frutos, P., Mantecon, A.R., Juárez, M., de la Fuente, M.A., Hervás, G., (2008). Milk production, conjugated linoleic acid content, and in vitro ruminal fermentation in response to high levels of soybean oil in dairy ewe diet. *Journal of Dairy Science*, 91, 1560–1569.

21. Hervás, G., Luna, P., Mantecón, Á. R., Castañares, N., de la Fuente, M. A., Juárez, M., & Frutos, P. (2008). Effect of diet supplementation with sunflower oil on milk production, fatty acid profile and ruminal fermentation in lactating dairy ewes. *Journal of Dairy Research*, 75(04), 399.

22. Luna, P., Bach, A., Juárez, M., de la Fuente, M.A., (2005). Effect of a diet enriched in whole linseed and sunflower oil on goat milk fatty acid composition and conjugated linoleic acid isomer profile. *Journal of Dairy Science*, 88, 748–756.

23. Luna, P., Bach, A., Juárez, M., de la Fuente, M. A. (2008). Influence of diets rich in flax seed and sunflower oil on the fatty acid composition of ewes' milk fat especially on the level of conjugated linoleic acid, n-3 and n-6 fatty acids. *International Dairy Journal*, 18(1), 99-107.

24. Martini, M., Scolozzi, C., Gatta, D., Taccini, F., Verità, P. (2004). Effects of olive oil calcium soaps and phase of lactation on the fatty acid composition in the milk of Massese ewes. *Italian Journal of Animal Science*, 3(4), 353-362.

25. Mele, M., Buccioni, A., Petacchi, F., Serra, A., Banni, S., Antongiovanni, M., Secchiari, P. (2006). Effect of forage/concentrate ratio and soybean oil supplementation on milk yield, and composition from Sarda ewes. *Animal Research*, 55(4), 273-285.

26. Michaëlsson, K., Wolk, A., Langenskiöld, S., Basu, S., Warensjö, E., Melhus, H., (2014). Milk intake and risk of mortality and fractures in women and men: cohort studies. *BMJ* 349, g6015.

27. Mierlita, D., Vicas, S., Teusdea, A.C., (2018). Fatty acid profile and health lipid indices in the raw milk of ewes grazing part-time and hemp seed supplementation of lactating ewes. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 48, 504–516.

28. Nudda, A., Battaccone, G., Neto, O.B., Cannas, A., Francesconi, A.H.D., Atzori, A.S., Pulina, G., (2014). Feeding strategies to design the fatty acid profile of sheep milk and cheese. *Rev. Bras. Zootec.* 43, 445–456.

29. Nudda, A., Cannas, A., Correddu, F., Atzori, A.S., Lunesu, M.F., Battaccone, G., Pulina, G., (2020). Sheep and goats respond differently to feeding strategies directed to improve the fatty acid profile of milk fat. *Animals* 10, 1290.

30. Özyürek, S., Çebi, K., Balcı, Ç., Genç, N., & Türkyılmaz, D. (2020). Fatty acid profile and health lipid indices in the milk of ewes feeding with soybean oil. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 13(2), 948-955.

31. Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., Moher, D., (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 372, n71.

32. Palmquist, D.L., (1994). The role of dietary fats in efficiency of ruminants. *J. Nutr.* 124, 1377S–1382S.

33. Pulina, G., Milan, M.J., Lavin, M.P., Theodoridis, A., Morin, E., Capote, J., Thomas, D.L., Francesconi, A.H.D., Caja, G., (2018). Invited review: Current production trends, farm structures, and economics of the dairy sheep and goat sectors. *Journal of Dairy Science*, 101, 6715–6729.

34. Satir, G., Akturk, K. U., Yavuz, M., & Koknaroglu, H. (2023). Effects of adding rumen-protected palm oil in diet on milk fatty acid profile and lipid health indices in Kivircik ewes. *Tropical Animal Health and Production*, 55(3), 159.

35. Schroeder, G.F., Delahoy, J.E., Vidaurreta, I., Bargo, F., Gagliostro, G.A., Muller, L.D., (2004). Milk fatty acid composition of cows fed a total mixed ration or pasture plus concentrates replacing corn with fat. *Journal of Dairy Science*, 86, 3237–3248.
36. Shingfield, K.J., Bernard, L., Leroux, C., Chilliard, Y., (2010). Role of trans fatty acids in the nutritional regulation of mammary lipogenesis in ruminants. *Animal* 4, 1140–1166.
37. Storry, J.E., Hall, A.J., Johnson, V.W., (1973). The effects of increasing intakes of dietary lactose with and without the addition of protected coconut oil on milk secretion in the cow. *J. Dairy Res.* 40, 23–31.
38. Szterk, A., Ofiara, K., Strus, B., Abdullaev, I., Ferenc, K., Sady, M., Flis, S., Gajewski, Z., (2022). Content of Health-Promoting Fatty Acids in Commercial Sheep, Cow and Goat Cheeses. *Foods* 11, 1116.
39. Titi, H. H., & Al-Fataftah, A. R. (2013). Effect of supplementation with vegetable oil on performance of lactating Awassi ewes, growth of their lambs and on fatty acid profile of milk and blood of lambs. *Archives Animal Breeding*, 56(1), 467-479.
40. Toral, P.G., Hervás, G., Frutos, P., (2024). INVITED REVIEW: Research on ruminal biohydrogenation: Achievements, gaps in knowledge, and future approaches from the perspective of dairy science. *Journal of Dairy Science*, (In Press).
41. Toral, P. G., Monahan, F. J., Hervas, G., Frutos, P., & Moloney, A. P. (2018). Review: Modulating ruminal lipid metabolism to improve the fatty acid composition of meat and milk. challenges and opportunities. In *Animal* (Vol. 12, Issue s2, pp. S272–S281). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001994>.
42. Valizadeh Yonjalli, R., Mirzaei Aghjehgheshlagh, F., Mahdavi, A., Navidshad, B., & Staji, H. (2020). The effects of tannin extract and linseed oil on yield, physicochemical characteristics and fatty acid profile of ewe milk. *International Journal of Dairy Technology*, 73(4), 656-666.
43. Vargas-Bello-Pérez, E., Darabighane, B., Miccoli, F.E., Gómez-Cortés, P., Gonzalez-Ronquillo, M., Mele, M., (2021). Effect of Dietary Vegetable Sources Rich in Unsaturated Fatty Acids on Milk Production, Composition, and Cheese Fatty Acid Profile in Sheep: A Meta-Analysis. *Front. Vet. Sci.* 8, 641364.
44. Wang, K., Xin, Z., Chen, Z., Li, H., Wang, D., Yuan, Y., (2023). Progress of Conjugated Linoleic Acid on Milk Fat Metabolism in Ruminants and Humans. *Animals* 13, 3429.
45. Whitlock, L.A., Schingoethe, D.J., Hippen, A.R., Kalscheur, K.F., Baer, R.J., Ramaswamy, N., Kasperson, K.M., (2006). Milk production and composition from cows fed small amounts of fish oil with extruded soybeans. *Journal of Dairy Science*, 89, 3972–3980.
46. Zhang, R.H., Mustafa, A.F., Zhao, X., (2006). Blood metabolites and fatty acid composition of milk and cheese from ewes fed oilseeds. *Can. J. Anim. Sci.* 86, 547–556.