نشریه پژوهشهای علوم دامی ایران
جلد ۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۳، ص. ۲۴۷-۲۳۹

Iranian Journal of Animal Science Research
Vol. 6, No. 3, Fall 2014, p. 239-247

تأثیر روغن ماهی ریز پوشانی شده بر متابولیت‌های خون و ترکیب اسیدهای چرب شکمبه بزهای شیرده سانن

رشید صفری[1*]- رضا ولی‌زاده[2]- رسول کدخدایی[3]- عبدالمنصور طهماسبی[2]- عباسعلی ناصریان[2]- عین‌اله عبدی قزلجه[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۲/۲۳
تاریخ پذیرش:۱۳۹۱/۳/۳۱

چکیده

جهت بررسی تأثیر مصرف ریزکپسول‌های روغن ماهی بر متابولیت‌های خونی، ترکیب اسیدهای چرب شکمبه و پلاسمای خون از ۱۲ رأس بز شیرده سانن با روزهای شیردهی ۵±۳۰ در قالب یک طرح چرخشی ۲×۳ در دو دورهٔ آزمایشی ۳۰ روزه استفاده شد. تیمارها شامل: ۱) کنترل (بدون افزودنی)، ۲) روغن ماهی ریزپوشانی شده (۲٪ روغن ماهی ریزپوشانی شده در ۶٪ پودر آب پنیر عمل آوری شده)، ۳) روغن ماهی (۲٪ روغن ماهی و ۶٪ پودر آب پنیر) بود. غلظت اسید چرب اشباع استئاریک شکمبه ای در تیمار روغن ماهی محافظت شده به طور معنی‌داری پایین‌تر از تیمار کنترل بود که این نسبت در ترکیب اسیدهای چرب پلاسمای خون نیزحفظ شده بود. روغن ماهی ریزپوشانی شده باعث افزایش معنی‌دار درصد اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه شد و غلظت اسید لینولنیک، اسید ایکوزاپنتاانوئیک، اسید دکوزاپنتاانوئیک و اسید دکوزاهگزاانوئیک پلاسما به عنوان اسیدهای چرب امگا ۳ نسبت به تیمار کنترل به ترتیب ۱۰، ۲۰، ۱۰ و ۱۳ برابر و نسبت به تیمار روغن ماهی ۱۰، ۲۰، ۲ و ۲/۵ برابر افزایش یافت. غلظت لیپوپروتئین با چگالی بالای خون در تیمار روغن ماهی محافظت شده به طور معنی‌داری بالاتر از تیمار کنترل و روغن ماهی محافظت نشده بود. با توجه به نتایج حاصله مکمل سازی روغن ماهی می‌تواند با تغییر ترکیب اسیدهای چرب خون دام مقدار اسیدهای چرب امگا ۳ را در تولیدات دامی افزایش دهد. افزایش این اسیدهای چرب در تیمار روغن ماهی ریزپوشانی شده نشان دهنده کارایی مثبت فرآیند ریز پوشانی در محافظت اسیدهای چرب غیراشباع از بیوهیدروژناسیون میکروبی شکمبه است.

واژه‌های کلیدی: ریزپوشانی، روغن ماهی، اسید چرب امگا ۳، متابولیت‌های خون.

مقدمه

در سال‌های اخیر توجه زیادی به استفاده از روغن‌های حاوی اسیدهای چرب غیر اشباع ضروری به خصوص اسیدهای چرب امگا ۳ (اسید ایکوزاپنتاانوئنویک; C20:5 n-3 و اسید دوکوزاهگزاانوئیک; C22:6 n-3) در تغذیه دام و طیور جهت غنی سازی تولیدات آن‌ها (شیر و گوشت) شده است. ورود این اسیدهای چرب به تولیدات دامی و بدن انسان با کاهش معنی‌دار بیماری‌های قلبی و عروقی همراه بوده است (۱۴). علاوه بر این از مزایای افزایش انتقال اسیدهای چرب ضروری به خون دام‌های شیری می‌توان به تأثیر مثبت آن‌ها بر تولید مثل از طریق سنتز مطلوب هورمون‌ها و پروستاگلندین‌ها اشاره کرد (۱۶). بخش زیادی از اسیدهای چرب غیراشباع خوراک در شکمبه نشخوارکنندگان بیوهیدروژنه شده و در نتیجه ترکیب اسیدهای چرب ورودی به شکمبه و خروجی از آن تفاوت آشکار دارند (۲۱). از این رو به حداقل رساندن فرآیند بیوهیدروژناسیون شکمبه‌ای اسیدهای چرب غیراشباع ضروری یکی از موارد مهم و مورد توجه تولیدکنندگان مکمل‌های خوراکی جهت افزایش قابلیت دسترسی این اسیدهای چرب در روده و در نتیجه افزایش غلظت آن‌ها در خون، بافت‌ها و تولیدات دامی است.

از روش‌های ارائه شده جهت محافظت مواد مغذی و اسیدهای چرب غیراشباع در شرایط شکمبه می‌توان به استفاده از پوشش‌های پروتئینی عمل‌آوری شده با فرم‌آلدهید (۱، ۱۹ و ۲۵) و یا استفاده از

۱- استادیاران گروه علوم دامی دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر،
۲- استادان گروه علوم دامی دانشگاه فردوسی مشهد ، دانشکده کشاورزی،
۳- دانشیار گروه نانو فناوری مواد غذائی، پژوهشکده علوم و صنایع غذائی.
(*-نویسنده مسئول: Email:rashid.safari@gmail.com)

ساختارهای پروتئینی حرارت داده شده با قابلیت انحلال پایین به صورت پوشش پلیمر ژله‌ای اشاره کرد (۶). ریز پوشانی کردن نیز روشی مؤثر برای محافظت اسیدهای چرب غیراشباع از اکسیداسیون و احتمالاً بیوهیدروژناسیون شکمبه‌ای بوده و می‌تواند جایگزینی برای فرمآلدهید باشد که مصرف آن در بسیاری از کشورها ممنوع شده است. کنسانتره پودر آب پنیر (۳۵ درصد پروتئین) به عنوان ساختار پروتئینی تشکیل دهندهٔ دیواره ریزکپسول‌ها کاربرد دارد (۲۶ و ۲۸). ترکیبات فنولی استخراج شده از گیاهان مانند اسید تانیک، در شرایط اکسیداسیون (محیط قلیایی و مجاورت با اکسیژن) قابلیت ایجاد پیوند کووالانسی با گروه آمینی پپتیدهای موجود در کنسانتره پودر آب پنیر را دارد و می‌تواند منجر به تشکیل ساختار پروتئینی یکپارچه با مقاومت مکانیکی بالا شود که در نهایت باعث کاهش باز شدن دیواره ریزکپسول‌ها در آب می‌گردد. از طرفی واکنش اسید تانیک با پودر آب پنیر و تشکیل ساختارهای مولکولی بزرگ و یکپارچه باعث کاهش قابلیت انحلال این ساختار در محیط آبی مانند محیط شکمبه‌ای می‌شود. نتیجه این عوامل، افزایش مقاومت ساختار پروتئینی و در نهایت ریزکپسول‌ها به شکسته شدن در شرایط شکمبه و کاهش تأثیر آنزیم‌های باکتریایی بر اسیدهای چرب غیراشباع به وسیله از دسترس خارج کردن این اسیدهای چرب است (۲۴). ساختار یکپارچه تشکیل شده از پروتئین آب پنیر و اسید تانیک در شرایط اسیدی شیردان پایدار نبوده و پروتئین‌های موجود در دیواره کپسول‌ها در معرض هضم آنزیمی روده قرار می‌گیرد. در نتیجه این امر دیوارهٔ ریزکپسول‌ها باز شده و باعث آزاد شدن اسیدهای چرب درون کپسول‌ها در روده می‌شود (۱۷ و ۲۷).

هدف از این مطالعه ارزیابی تأثیر روغن ماهی ریزپوشانی شده بر متابولیت‌های خونی، ترکیب اسیدهای چرب مایع شکمبه و پلاسمای خون بزهای شیری سانن در مقایسه با روغن ماهی محافظت نشده بود.

مواد و روش‌ها

مراحل ریزپوشانی

به منظور آماده سازی امولسیون و ریزپوشانی روغن ماهی، ابتدا محلول ۳۸ درصد (وزنی/وزنی) پودر آب پنیر ۳۵ درصد پروتئین با نام تجاری WPC 35% (Whey Protein Concentrate) با اضافه کردن وزن مناسبی از آن به آب دیونیزه در دمای اتاق و با استفاده از همزن متهای با سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه تهیه شد و سپس به مدت یک شب در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید تا حداکثر جذب آب توسط مولکول‌های پودر آب پنیر انجام شود. برای تهیه‌ی امولسیون، روغن ماهی به نسبت ۲۵ درصد وزن پودر آب پنیر به محلول ۳۸ درصد (وزنی/وزنی) این پلیمر اضافه گردید. به منظور رسیدن به یک مخلوط یکنواخت با استفاده از همزن متهای با سرعت ۱۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه هم زده شد. پیش مخلوط امولسیونی مذکور جهت دست‌یابی به امولسیون با اندازه ذرات ریز و یکنواخت با استفاده از همگن‌ساز دو مرحله‌ای (مدل HST، شرکت Daken Stainless Products، انگلیس) دو بار با فشار ۴۵۰ بار همگن شد (۶). برای تهیه ریزکپسول اسید تانیکی ۳۰۰ میلی‌گرم بر گرم پروتئین موجود در امولسیون اسید تانیک به امولسیون نهایی اضافه گردید. به منظور تأثیر مطلوب اسید تانیک بر ساختار پروتئینی آب پنیر و ایجاد حداکثر پیوند کووالانسی، pH امولسیون‌های حاوی اسید تانیک با استفاده از هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال به ۹ رسانده و به مدت ۳ ساعت هوا دهی شدند و سپس به مدت ۱۲ ساعت در مجاورت هوا در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از همزن متهای با ۵۰۰ دور در دقیقه مخلوط شد (۲۳).

به منظور تهیه ریزکپسول‌های حاوی روغن ماهی نمونه‌های امولسیونی به وسیله خشک کن پاششی نیمه‌صنعتی (مدل HD 90، شرکت Tianjin Jinnan drying apparatus، چین) به شکل پودر نرم و اندازه کوچک خشک گردید. در طول مدت خشک کردن، دمای هوای ورودی ۱۰ ± ۱۷۰ و هوای خروجی از خشک کن در ۱۰ ± ۷۰ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه داشته شد (۷). جهت جلوگیری از اکسیداسیون، ریزکپسول‌های تهیه شده تا زمان مصرف در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

طرح آزمایشی و جمع آوری داده‌ها

تعداد ۱۲ رأس بز شیرده سانن با میانگین روزهای شیردهی ۵ ± ۳۰ روز در قالب طرح چرخشی ۲ × ۳ مورد آزمایش قرار گرفتند. هر یک از دو دوره‌ی آزمایشی شامل ۳۰ روز بود که ۲۰ روز جهت عادت پذیری و ۱۰ روز آخر هر دوره جهت نمونه‌گیری در نظر گرفته شد. برای به حداقل رساندن اثرات انتقالی مصرف چربی، ۱۰ روز فاصله بین دو دوره آزمایشی در نظر گرفته شد که تمامی دام‌ها با تیمار کنترل (فاقد مکمل روغن ماهی و یا روغن ماهی ریزپوشانی شده) تغذیه شدند. تیمارهای آزمایشی به این شرح بودند: ۱) کنترل (بدون افزودن روغن و پودر آب پنیر و یا روغن ماهی ریزپوشانی شده)، ۲) روغن ماهی ریزپوشانی شده (۲ درصد روغن ماهی ریزپوشانی شده در ۶ درصد پودر آب پنیر عمل آوری شده)، ۳) روغن ماهی (۲ درصد روغن ماهی و ۶ درصد پودر آب پنیر). جیره‌های آزمایشی با نسبت ۴۰ درصد علوفه و ۶۰ درصد کنسانتره بر اساس احتیاجات غذایی سیستم NRC (۱۹۸۱) تنظیم شد (جدول ۱). دام‌ها در جایگاه‌های انفرادی با دسترسی آزاد به آب به وسیله جیره کل مخلوط در دو نوبت ساعت ۷ صبح و ۵ بعدازظهر تغذیه شدند. روغن ماهی و روغن ماهی ریزپوشانی شده به صورت روزانه به جیره‌های

غذایی افزوده شدند. در ۷ روز اول هر دوره‌ی نمونه‌گیری مصرف خوراک به صورت روزانه اندازه‌گیری شد و باقی مانده خوراک و مدفوع نمونه‌گیری و با استفاده از روش‌های استاندارد مورد تجزیه قرار گرفت (۳).

تمام نمونه‌های خوراک و مدفوع برداشته شده پس از خشک شدن در آون (دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) توسط آسیاب با قطر منفذ ۱ میلی‌متری آسیاب شدند. در روز ۸ هر دوره نمونه‌گیری، نمونه‌های خون از سیاهرگ وداج گردن ۴ ساعت بعد از نوبت غذایی صبح تهیه شد. برای جداسازی پلاسمای خون، نمونه‌های خونی پس از انتقال به لوله‌های آغشته به هپارین با ۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ و برای آنالیزهای بعدی در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (۱۲). برای تعیین pH شکمبه، نمونه مایع شکمبه در روز ۱۰ هر دوره نمونه‌گیری، ۳ ساعت بعد از نوبت غذای صبح گرفته شد. مایع شکمبه بعد از صاف شدن با پارچه تنزیب سه لایه برای آنالیزهای بعدی در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

غلظت پروتئین کل، گلوکز، اوره، آلبومین، کلسترول، تری گلیسیرید، لیپوپروتئین با چگالی بالا (HDL) و لیپوپروتئین با چگالی پایین (LDL) پلاسمای خون توسط کیت تجاری شرکت بیوسیستم با استفاده از دستگاه اتوماتیک آنالیز خون (مدل AU400 ، شرکت اولمپیوس، آلمان) تعیین شدند. جهت اندازه‌گیری ترکیب اسیدهای چرب در روغن ماهی، پلاسمای خون و مایع شکمبه از دستگاه کروماتوگرافی گازی (مدل Varian Star CP3800، شرکت وارین، آمریکا) مجهز به ستون کاپیلاری ۱۰۰ متری با قطر ستون ۰/۲ میکرومتر استفاده شد. گاز هلیم به عنوان گاز حامل استفاده شد. از برنامه دمایی ارائه شده توسط ابوغزاله و همکاران (۲۰۰۱) جهت تعیین ترکیب اسیدهای چرب روغن ماهی و از برنامه دمایی ارائه شده توسط برونز و همکاران (۲۰۰۳) جهت تعیین ترکیب اسیدهای چرب پلاسمای خون و مایع شکمبه بزهای شیری استفاده شد (۲ و ۵).

داده‌های مشاهده شده با استفاده از رویه Mixed model برنامه آماری SAS ویرایش ۹/۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مدل آماری طرح به شکل زیر بود:

$$Y_{ijkl}= \mu + P_i + C_j + A_k + e_{ijkl}$$

جدول ۱- ترکیب مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی (بر اساس درصد ماده خشک)

جیره	تیمار[۱]		
	کنترل	روغن ماهی ریزپوشانی شده	روغن ماهی
اجزاء خوراکی			
یونجه خشک	۴۰	۴۰	۴۰
جو	۳۲	۳۰	۳۰
کنجاله کانولا	۱۱	۶	۶
سبوس گندم	۱۵	۱۴	۱۴
روغن ماهی	۰	۰	۲
روغن ماهی ریزپوشانی شده	۰	۸	۰
پودر آب پنیر (۳۵ درصد پروتئین)	۰	۰	۶
کربنات کلسیم	۱	۱	۱
نمک طعام	۰/۳	۰/۳	۰/۳
مکمل مواد معدنی و ویتامینی[۲]	۰/۷	۰/۷	۰/۷
ترکیب شیمیایی			
پروتئین خام	۱۶/۱	۱۶/۱	۱۶/۱
چربی (عصارهٔ اتری)	۳	۴/۶	۴/۶
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی	۲۰/۱	۱۹	۱۹
الیاف نامحلول در شوینده خنثی	۳۳/۵	۳۱/۱	۳۱/۱
کلسیم	۱/۲	۱/۲	۱/۲
فسفر	۰/۶	۰/۶	۰/۶

[۱] تیمار کنترل فاقد افزودنی روغن ماهی و پودر آب پنیر و یا روغن ماهی ریزپوشانی شده، تیمار روغن ماهی ریزپوشانی شده حاوی ۸ درصد ریزکپسول روغن ماهی (۲ درصد روغن ماهی ریزپوشانی شده در ۶ درصد پودر آب پنیر مقاوم شده به هضم شکمبه‌ای) و تیمار روغن ماهی حاوی ۲ درصد روغن ماهی و ۶ درصد پودر آب پنیر است.

[۲] حاوی ویتامین A چهار میلیون و چهار صد واحد بین‌المللی، ویتامین D هشتصد و هشتاد هزار واحد بین‌المللی، ویتامین E چهار صد واحد بین‌المللی، کلسیم ۰/۵۷ درصد، گوگرد ۱۵/۷۵ درصد، کبالت ۳۶۰ ppm، مس ۴۰۸۰۰ ppm، ید ۲۷۰۰ ppm، آهن ۱۰۲۰۰ ppm، منگنز ۱۲۲۴۵۰ ppm، روی ۱۲۲۴۵۰ ppm.

جدول ۲- ترکیب اسیدهای چرب روغن ماهی و کنجاله کانولا (گرم در ۱۰۰ گرم کل اسیدهای چرب)

اسید چرب[1]	روغن ماهی	کنجاله کانولا
اسید کاپریک	۰/۰۶	۰/۰۱
اسید لائوریک	۰/۳۶	۰/۰۲
اسید میریستیک	۴/۸۶	۰/۰۸
اسید پالمیتیک	۱۹/۲۱	۵/۴۲
اسید پالمیتولئیک	۷/۱۷	۰/۳۶
اسید استئاریک	۳/۰۸	۲/۷۵
اسید واکسنیک	۰/۱۴	۰/۰۱
اسید اولئیک	۲۵/۲۱	۶۴/۵۶
اسید لینولئیک	۳/۵۶	۹/۶۰
اسید لینولنیک	۱/۸۰	۸/۵۷
اسید ایکوزاتری‌انوئیک	۰/۱۴	۰/۷۴
اسید آراشیدونیک	۰/۲۴	۰/۱۱
اسید ایکوزاپنتاانوئیک	۶/۶۲	۰/۱۸
اسید دوکوزاتترااانوئیک	۰/۴۷	۰/۰۲
اسید دوکوزاپنتاانوئیک	۳/۵۹	–
اسید دوکوزاهگزاانوئیک	۱۵/۰۹	–
اسیدهای چرب اشباع	۲۸/۰۴	۸/۳۳
اسیدهای چرب غیراشباع	۶۴/۲۳	۸۴/۱۵

[1]اسید کاپریک (C10:0)، اسید لائوریک (C12:0)، اسید میریستیک (C14:0)، اسید پالمیتیک (C16:0)، اسید پالمیتولئیک (C16:1)، اسید استئاریک (C18:0)، اسید واکسنیک (C18:1 trans 11)، اسید اولئیک (C18:1)، اسید لینولئیک (C18:2)، اسید لینولنیک (C18:3, n3)، اسید ایکوزاتری‌انوئیک (C20:3)، اسید آراشیدونیک (C20:4)، اسید ایکوزاپنتاانوئیک (C20:5 EPA, n3)، اسید دوکوزاتترااانوئیک (C22:4)، اسید دوکوزاپنتاانوئیک (C22:5 DPA)، اسید دوکوزاهگزاانوئیک (C22:6 DHA, n3)

در این مدل:

Y_{ijkl} = متغیر وابسته

μ = میانگین کل

P_i = اثر ثابت دوره (i =۱ و ۲)

C_j = اثر تصادفی دام

A_k = اثر تیمار

e_{ijkl} = خطای آزمایشی

مقایسه میانگین تیمارها در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

یافته‌های مربوط به ماده خشک مصرفی و pH شکمبه در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که pH شکمبه تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت (P> ۰/۰۵). مکمل سازی روغن ماهی بر مقادیر ماده خشک و پروتئین خام مصرفی تأثیر معنی‌داری نداشت (P> ۰/۰۵). کیتسا و همکاران (۲۰۰۱) به نتایج مشابهی در استفاده از روغن ماهی محافظت شده دست یافتند، ولی روغن ماهی محافظت نشده باعث کاهش معنی‌دار در ماده خشک مصرفی بزهای شیرده شد (۱۳). کاهش عددی در ماده خشک مصرفی در تیمار روغن ماهی ریزپوشانی شده احتمالا به دلیل وجود اسید تانیک در ساختار دیواره ریزکپسول‌ها باشد که باعث کاهش تجزیه پذیری ماده خشک مصرفی در شکمبه می‌شود (۴ و ۱۵)، ولی مقدار اسید تانیک در حدی نیست که باعث تأثیر منفی و کاهش معنی‌دار در ماده خشک مصرفی شود (۲۷). چربی خام مصرفی در تیمارهای روغن ماهی ریزپوشانی شده و روغن ماهی نسبت به تیمار کنترل افزایش معنی‌دار نشان داد (P< ۰/۰۵) و از طرفی دیواره سلولی مصرفی در این تیمارها کاهش معنی‌داری یافت (P< ۰/۰۵). این تغییرات می‌تواند اثر مستقیم افزایش درصد چربی و کاهش جزئی در بخش فیبری جیره غذایی این تیمارها نسبت به تیمار کنترل باشد (جدول ۱). از طرفی کاهش معنی‌دار در دیواره سلولی مصرفی در تیمارهای حاوی روغن ماهی به خصوص تیمار روغن ماهی ریزپوشانی شده می‌تواند تا حدی به دلیل کاهش ماده خشک مصرفی در این تیمارها نسبت به تیمار کنترل باشد.

تأثیر ریزپوشانی بر ترکیب اسیدهای چرب مایع شکمبه در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان دهنده افزایش معنی‌دار درصد اسیدهای چرب اشباع میریستیک و پالمیتیک در تیمارهای حاوی روغن ماهی محافظت شده و محافظت نشده بود (P < ۰/۰۵).

جدول ۳- ماده خشک مصرفی و pH شکمبه بزهای شیرده تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی

مورد	تیمار [۱]			خطای استاندارد
	کنترل	روغن ماهی ریزپوشانی شده	روغن ماهی	
pH شکمبه	۶/۳۲	۶/۳۱	۶/۴۲	۰/۱۷
ماده خشک مصرفی (گرم در روز)	۲۵۴۶	۲۴۸۴	۲۵۵۰	۸۱
مواد مغذی مصرفی (گرم در روز)				
پروتئین خام	۴۱۰	۴۰۰	۴۱۰	۱۳
چربی خام	۷۱[a]	۱۱۵[b]	۱۱۸[b]	۵
دیواره سلولی	۸۹۹[a]	۷۷۲[b]	۷۹۲[b]	۲۷

[۱] تیمار کنترل فاقد افزودنی روغن ماهی و پودر آب پنیر و یا روغن ماهی ریزپوشانی شده، تیمار روغن ماهی ریزپوشانی شده حاوی ۸ درصد ریزکپسول روغن ماهی (۲ درصد روغن ماهی ریزپوشانی شده در ۶ درصد پودر آب پنیر مقاوم شده به هضم شکمبه‌ای) و تیمار روغن ماهی حاوی ۲ درصد روغن ماهی و ۶ درصد پودر آب پنیر است.

غلظت اسید چرب اشباع استئاریک در شکمبه دام‌های تغذیه شده با تیمارهای حاوی روغن ماهی محافظت شده و نشده به طور معنی‌داری پایین‌تر از تیمار کنترل بود. این نسبت در ترکیب اسیدهای چرب پلاسمای خون تیمار روغن ماهی ریزپوشانی شده حفظ شده بود ولی در پلاسمای خون تیمار روغن ماهی افزایش معنی‌داری داشت که نشان دهنده بیوهیدروژناسیون شکمبه‌ای اسیدهای چرب غیراشباع دارای ۱۸ کربن در تیمار روغن ماهی و افزایش غلظت اسید چرب استئاریک اشباع در خون است. روغن ماهی ریز پوشانی شده باعث افزایش معنی‌دار درصد اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه در مایع شکمبه نسبت به تیمارهای کنترل و روغن ماهی شد ($P<۰/۰۵$). از طرفی درصد اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه در تیمار روغن ماهی به طور معنی‌داری بالاتر از کنترل بود. بنابراین، نتایج نشان دهنده بیوهیدروژناسیون قسمتی از این اسیدهای چرب در زمان نمونه‌گیری مایع شکمبه در تیمار روغن ماهی نسبت به تیمار روغن ریزپوشانی شده است.

ترکیب اسیدهای چرب پلاسمای خون بزهای شیری تغذیه شده با تیمارهای آزمایشی در جدول ۵ نشان داده شده است. در این آزمایش استفاده از روغن ماهی محافظت شده باعث افزایش معنی‌دار درصد اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه شد ($P <۰/۰۵$)، به طوری که غلظت اسید لینولنیک، اسید ایکوزاپنتاانوئیک، اسید دکوزاپنتاانوئیک و اسید دکوزاهگزاانوئیک پلاسما (اسیدهای چرب امگا ۳) نسبت به تیمار کنترل به ترتیب ۱۰، ۲۰، ۱۰ و ۱۳ برابر و نسبت به تیمار روغن ماهی ۱۰، ۲۰، ۲ و ۲/۵ برابر افزایش یافت. در تیمار کنترل اسید لینولئیک و اولئیک غالب اسیدهای چرب غیراشباع را شامل می‌شدند، به طوری که درصد این اسیدهای چرب به صورت معنی‌داری بیش از غلظت آن‌ها در تیمار روغن ماهی ریزپوشانی شده بود ($P <۰/۰۵$).

جدول ٤- اسیدهای چرب مایع شکمبه بزهای شیری تغذیه شده با تیمارهای آزمایشی (درصد)

اسید چرب [۱]	تیمارها [۲]			خطای استاندارد
	کنترل	روغن ماهی ریزپوشانی شده	روغن ماهی	
اسید مریستیک	۱/۶۲[b]	۴/۳۱[a]	۴/۷۸[a]	۰/۳۲
اسید پالمیتیک	۲۷/۶۸[c]	۴۰/۸۱[b]	۴۸/۰۶[a]	۱/۲۹
اسید پالمیتولئیک	۰/۴۹[b]	۳/۴۷[a]	۳/۵۱[a]	۰/۲۰
اسید استئاریک	۴۸/۴۲[a]	۵/۳۸[b]	۵/۸۲[b]	۱/۲۱
اسید اولئیک	۱۰/۳۸[b]	۲۱/۲۲[a]	۱۹/۷۷[a]	۰/۸۴
اسید لینولئیک	۷/۴۷[b]	۱۰/۲۲[a]	۹/۷۵[a]	۰/۷۵
اسید لینولنیک	۱/۴۷[c]	۲/۴۳[a]	۱/۹۷[b]	۰/۲۶
اسید ایکوزاپنتاانوئیک	۰/۸۰[b]	۳/۰۴[a]	۲/۰۵[b]	۰/۱۷
اسید دوکوزاپنتاانوئیک	۰/۲۱[c]	۴/۱۱[a]	۲/۰۱[b]	۰/۱۱
اسید دوکوزاهگزاانوئیک	۰/۶۰[c]	۴/۹۴[a]	۲/۸۸[b]	۰/۱۴

[۱] اسید مریستیک (C14:0)، اسید پالمیتیک (C16:0)، اسید پالمیتولئیک (C16:1)، اسید استئاریک (C18:0)، اسید اولئیک (C18:1)، اسید لینولئیک (C18:2)، اسید لینولنیک (C18:3, n3)، اسید ایکوزاپنتاانوئیک (C20:5 EPA, n3)، اسید دوکوزاپنتاانوئیک (C22:5 DPA)، اسید دوکوزاهگزاانوئیک (C22:6 DHA, n3).

[۲] تیمار کنترل فاقد افزودنی روغن ماهی و پودر آب پنیر و یا روغن ماهی ریزپوشانی شده، تیمار روغن ماهی ریزپوشانی شده حاوی ۸ درصد ریزکپسول روغن ماهی (۲ درصد روغن ماهی ریزپوشانی شده در ۶ درصد پودر آب پنیر مقاوم شده به هضم شکمبه‌ای) و تیمار روغن ماهی حاوی ۲ درصد روغن ماهی و ۶ درصد پودر آب پنیر است.

پایین‌تر بودن نسبت اسیدهای چرب لینولئیک و اولئیک و بالاتر بودن نسبت اسید لینولنیک در پلاسمای خون در تیمار حاوی ریزکپسول روغن ماهی نسبت به تیمار کنترل و تیمار حاوی روغن ماهی محافظت نشده می‌تواند به کاهش بیوهیدروژناسیون در نتیجه فرآیند ریز پوشانی روغن ماهی نسبت داده شود.

به طور کلی می‌توان گفت که مکمل سازی روغن ماهی باعث تغییر ترکیب اسیدهای چرب خون شده و اسیدهای چرب امگا ۳ را افزایش داده است، شدت این افزایش در تیمار حاوی روغن ماهی ریزپوشانی شده بیشتر بود و نشان دهنده‌ی تأثیر مثبت فرآیند ریزپوشانی در محافظت اسیدهای چرب غیراشباع از بیوهیدروژناسیون میکروبی شکمبه است. به نظر می‌رسد ریزپوشانی کردن روغن ماهی و در نتیجه جلوگیری از بیوهیدروژناسیون بخشی از اسیدهای چرب جیره، باعث تغییر در نسبت‌های اسیدهای چرب خون نسبت به مایع شکمبه شد. به طوری که اسیدهای چرب غیراشباع امگا ۳ که منبع عمده آن‌ها روغن ماهی است با ریزپوشانی کردن محافظت شده و نسبت آن‌ها در ترکیب پلاسمای خون بالا رفته و اسیدهای چرب غیراشباع دیگر که بخشی از آن‌ها از طریق جیره‌ی پایه تأمین شده است، بیوهیدروزنه شده و باعث کاهش نسبت این اسیدهای چرب غیراشباع در خون نسبت به مایع شکمبه شده است. این نتایج تأییدکننده تأثیر مثبت ریزپوشانی کردن در جلوگیری از بیوهیدروژناسیون منبع روغن است.

غلظت فراسنجه‌های پلاسمای خون بزهای تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی در جدول ۶ آمده است. استفاده از روغن ماهی ریزپوشانی شده و روغن ماهی محافظت نشده تأثیر معنی‌داری بر غلظت پروتئین کل، آلبومین و گلوکز پلاسمای خون نداشت ($P>0/05$). غلظت اورهٔ خون تحت تأثیر تیمارها قرار گرفت و در تیمار روغن ماهی نسبت به تیمارهای کنترل افزایش معنی‌دار داشت ($P<0/05$). ولی بین تیمار کنترل و روغن ماهی ریزپوشانی شده اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد ($P>0/05$). فراسنجه‌های پلاسمای خون مرتبط با مکمل سازی چربی در جیره غذایی (کلسترول، تری‌گلسرید، HDL و LDL) به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند. تحقیقات نشان داده است که مکمل سازی چربی در جیره معمولاً باعث افزایش سطح کلسترول و تری‌گلیسرید در خون می‌شود (۸ و ۲۲). مکمل سازی روغن ماهی و روغن ماهی ریزپوشانی شده باعث افزایش معنی‌دار کلسترول و تری‌گلیسرید خون نسبت به تیمار کنترل شد ($P<0/05$). غلظت HDL خون در تیمارهای حاوی اسیدهای چرب امگا ۳ تحت تأثیر قرار گرفت به طوری که در تیمار حاوی روغن ماهی ریزپوشانی شده به طور معنی‌داری بالاتر از تیمارهای کنترل و روغن ماهی بود ($P<0/05$) و در تیمار روغن ماهی بالاتر از تیمار کنترل بود ($P<0/05$). این در حالی است که غلظت LDL در تیمار کنترل به طور معنی‌داری بالاتر از تیمارهای روغن ماهی ریزپوشانی شده و روغن ماهی محافظت نشده به عنوان منابع اسیدهای چرب امگا ۳ بود.

جدول ۵- اسیدهای چرب پلاسمای خون بزهای شیری تغذیه شده با تیمارهای آزمایشی (درصد)

اسید چرب[۱]	تیمار[۲]			خطای استاندارد
	کنترل	روغن ماهی ریزپوشانی شده	روغن ماهی	
اسید پالمیتیک	۲۲/۹۰ a	۱۴/۹۵ b	۲۷/۴۳ a	۰/۹۷
اسید پالمیتولئیک	۲۹/۴۷ a	۷/۹۷ c	۱۳/۷۵ b	۰/۱۶
اسید استئاریک	۲۲/۰۱ c	۵/۳۰ b	۱۷/۴۱ a	۱/۳۰
اسید اولئیک	۱۴/۳۰ a	۹/۳۱ b	۱۰/۴۵ b	۱/۰۷
اسید لینولئیک	۱۱/۳۲ b	۹/۰۳ c	۲۰/۶۲ a	۱/۶۸
اسید لینولنیک	۰/۱ b	۱۰/۰۹ a	۰/۲ b	۰/۱
اسید ایکوزاپنتاانوئیک	۰ b	۲۰/۲۱ a	۰ b	۰/۰۱
اسید دوکوزاپنتاانوئیک	۰ c	۱۰/۱۱ a	۵/۱۱ b	۰/۱۱
اسید دوکوزاهگزاانوئیک	۰ c	۱۳/۱۱ a	۵/۲۱ b	۰/۱۴

[۱] اسید پالمیتیک (C16:0)، اسید پالمیتولئیک (C16:1)، اسید استئاریک (C18:0)، اسید اولئیک (C18:1)، اسید لینولئیک (C18:2)، اسید لینولنیک (C18:3, n3)، اسید ایکوزاپنتاانوئیک (C20:5 EPA, n3)، اسید دوکوزاپنتاانوئیک (C22:5 DPA)، اسید دوکوزاهگزاانوئیک (C22:6 DHA, n3)

[۲] تیمار کنترل فاقد افزودنی روغن ماهی و پودر آب پنیر و یا روغن ماهی ریزپوشانی شده، تیمار روغن ماهی ریزپوشانی شده حاوی ۸ درصد ریزکپسول روغن ماهی (۲ درصد روغن ماهی ریزپوشانی شده در ۶ درصد پودر آب پنیر مقاوم شده به هضم شکمبه‌ای) و تیمار روغن ماهی حاوی ۲ درصد روغن ماهی و ۶ درصد پودر آب پنیر است.

جدول ٦- فرآسنجه‌های پلاسمای خون بزهای شیری تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی

فرآسنجه	تیمارها [1]			خطای استاندارد
	کنترل	روغن ماهی ریزپوشانی شده	روغن ماهی	
پروتئین کل (گرم بر لیتر)	۷۰/۳۶	۷۱/۰۶	۶۸/۳۶	۲/۲۹
آلبومین (گرم بر لیتر)	۱۹/۴۷	۲۰/۸۵	۱۹/۷۱	۱/۰۱
اوره (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۴۴/۸۶^{b}	۵۵/۰۶^{ab}	۶۰/۷۷^{a}	۳/۷۵
گلوکز (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۶۵/۳۱	۶۰/۲۴	۶۱/۱۸	۲/۱۲
کلسترول (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۱۰۸/۷۲^{b}	۱۸۲/۳۲^{a}	۱۷۵/۸۰^{a}	۱۰/۱۴
تری‌گلیسرید (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۲۴/۰۹^{b}	۳۰/۲۶^{ab}	۳۵/۵۲^{a}	۳/۸۹
HDL (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۹/۶۷^{c}	۹۵/۲۵^{a}	۷۳/۲۵^{b}	۸/۴۶
LDL (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۸۰/۰۱^{a}	۵۹/۴۴^{b}	۶۲/۱۰^{b}	۰/۱۴

[1] تیمار کنترل فاقد افزودنی روغن ماهی و پودر آب پنیر و یا روغن ماهی ریزپوشانی شده، تیمار روغن ماهی ریزپوشانی شده حاوی ۸ درصد ریزکپسول روغن ماهی (۲ درصد روغن ماهی ریزپوشانی شده در ۶ درصد پودر آب پنیر مقاوم شده به هضم شکمبه‌ای) و تیمار روغن ماهی حاوی ۲ درصد روغن ماهی و ۶ درصد پودر آب پنیر است.

افزایش در غلظت اوره‌ی خون در تیمار روغن ماهی را می‌توان به وجود پروتئین آب پنیر در این تیمار نسبت داد. به نظر می‌رسد بخشی از پروتئین آب پنیر (دارای ۳۵ درصد پروتئین) به دلیل قابلیت هضم بالا در شکمبه به وسیله باکتری‌های شکمبه‌ای تجزیه و به صورت آمونیاک آزاد شده که با جذب و ورود به کبد تبدیل به اوره شده و باعث افزایش غلظت اوره خون شده است. در تیمار روغن ماهی ریز پوشانی شده به دلیل عمل‌آوری ساختار پروتئینی پودر آب پنیر با ترکیب فنولی (اسید تانیک) و تولید ترکیب یکپارچه با هدف کاهش محلولیت ساختار پروتئینی، می‌توان انتظار داشت که پودر آب پنیر موجود در دیواره ریزکپسول‌ها (۶ درصد ماده خشک جیره) به وسیله باکتری‌های شکمبه تحت تأثیر کمتری گرفته و در نتیجه اختلاف معنی‌داری در غلظت اوره خون بین این تیمار و تیمار کنترل مشاهده نشد. بنابراین، دیواره پروتئینی استفاده شده در ریزکپسول دارای مقاومت کافی در مقابل تجزیه پذیری شکمبه است و می‌تواند جهت ریزپوشانی کردن اسیدهای چرب غیراشباع در محیط شکمبه استفاده شود.

تحقیقات نشان داده است که استفاده از روغن ماهی و اسیدهای چرب بلند زنجیر باعث افزایش سطح HDL و کاهش سطح LDL پلاسمای خون در تک معده‌ای‌ها و انسان (۱۰، ۱۱ و ۱۸) و نشخوارکنندگان (۸ و ۲۲) شده است. افزایش غلظت HDL در تیمارهای حاوی اسیدهای چرب امگا ۳ به خصوص تیمار روغن ماهی ریزپوشانی شده و کاهش غلظت LDL در این تیمارها نسبت به تیمار کنترل در این آزمایش تأییدی به عملکرد مثبت استفاده از روغن ماهی به خصوص روغن ماهی ریزپوشانی شده در تغذیه نشخوارکنندگان است.

نتایج به دست آمده نشان دهنده‌ی تأثیر مثبت ریزپوشانی کردن روغن ماهی با دیواره مقاوم به باز شدن در شرایط شکمبه‌ای، در محافظت از اسیدهای چرب غیراشباع به خصوص اسیدهای چرب امگا ۳ در مقابل بیوهیدروژناسیون میکروبی است که اثرات خود را در ترکیب اسیدهای چرب خون و متابولیت‌های خونی نشان داده است. به نظر می‌رسد که با ریزپوشانی کردن بتوان تأثیرات ضد میکروبی اسیدهای چرب غیراشباع را در شکمبه کنترل کرد و مقدار بیشتری از این اسیدهای چرب را به جیره غذایی دام اضافه نمود. از طرف دیگر با استفاده از این فرآیند بتوان نسبت اسیدهای چربی را که نقش به سزایی در سلامتی انسان دارند در تولیدات و فرآورده‌های دامی افزایش و ترکیب چربی در تولیدات دام را به سمت دلخواه تا حد زیادی تغییر داد و الگوی مورد نظر و مناسب را ایجاد کرد.

منابع

۱- خوروش، م.، ح. یزدانی، ا. محجوبی، ر. کوثر، و غ. ر. قربانی. ۱۳۹۱. اثر استفاده از متیونین محافظت شده (مپران) در سطح مزرعه ای در اوایل دوره شیردهی بر عملکرد تولیدی و تولید مقلی گاوهای شیرده هلشتاین. نشریه پژوهش های علوم دامی ایران. ۴: ۱۲۷-۱۲۲.

2- Abu-Ghazaleh, A. A., D. J. Schingoethe, and A. R. Hippen. 2001. Conjugated linoleic acid and other beneficial fatty acids in milk fat from cows fed soybean meal, fish Meal, or both. J. Dairy Sci. 84, 1845-1850.

3- AOAC. 1995. Official methods of analysis of AOAC International. The William Byrd Press, Inc., Richmond, VA, , p. 500.

4- Barry, T. N., and W. C. McNabb. 1999. The implications of condensed tannins on the nutritive value of

temperate forages fed to ruminants. Br. J. Nutr. 81, 263-272.

5- Burns, P. D., T. E. Engle, M. A. Harris, R. M. Enns, and J. C. Whittier. 2003. Effect of fish meal supplementation on plasma and endometrial fatty acid composition in nonlactating beef cows. J. Anim. Sci. 81, 2840-2846.

6- Carroll, S. M., E. J. De Peters, and M. Rosenberg. 2006. Efficinacy of a novel whey protein gel complex to increase the unsaturated fatty acid composition of bovine milk fat. J. Dairy Sci. 89, 640-650.

7- Drusch, S., Y. Serfert, and K. Schwarz. 2006. Microencapsulation of fish oil with n-octenylsuccinate-derivatised starch: Flow properties and oxidative stability. European J. Lipid Sci. and Technol. 108, 501-512.

8- Garcia-Bojalil, C. M., C. R. Staples, C. A. Risco, J. D. Savio, and W. W. Thatcher. 1998. Protein degradability and calcium salts of long-chain fatty acids in the diets of lactating dairy cows: productive responses. J. Dairy Sci. 81, 1374-1384.

9- Gulati, S. K., E. B. Byers, Y. G. Byers, J. R. Ashes, and T. W. Scott. 1999. Effect of feeding different fat supplements on the fatty acid composition of goat milk. Anim. Feed Sci. and Technol. 66, 159-164.

10- Haglund, O., R. Luostarinen, R. Wallin, L. Wibell, and T. Saldeen. 1991. The effects of fish oil on triglycerides, cholesterol, fibrinogen and malondialdehyde in humans supplemented with vitamin E. J. Nutr. 121, 165-169.

11- Haglund, O., R. Wallin, R. Luostarinen, and T. Saldeen. 1990. Effects of a new fluid fish oil concentrate, ESKIMO-3, on triglycerides, cholesterol, fibrinogen and blood pressure. J. Intern. Med. 227, 347-353.

12- Kadzere, C. T. and T. Charama. 1993 .Effects of dietary inclusion of crushed whole soybeans on blood serum parameters in goats. Small Rumin. Res. 11, 11-16.

13- Kitessa, S. M., S. K. Gulati, J. R. Ashes, E. Fleck, T. W. Scott, and P. D. Nichols. 2001. Utilisation of fish oil in ruminants: II .Transfer of fish oil fatty acids into goats' milk. Anim. Feed Sci. Technol. 89, 201-208.

14- Lock, A. L. and D. E. Bauman. 2004. Modifying milk fat composition of dairy cows to enhance fatty acids beneficial to human health. Lipids. 39, 1197-1206.

15- Makkar, H. P. S. 2003. Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. Small Rumin. Res. 49, 241-256.

16- Mattos, R., C. R. Staples, A. Arteche, M. C. Wiltbank, F. J. Diaz, T. C. Jenkins, and W. W. Thatcher. 2004. The effects of feeding fish oil on uterine secretion of PGF2α, milk composition, and metabolic status of periparturient holstein cows. J. Dairy Sci. 87, 921-932.

17- Messman, M. A., W. P. Weiss, and K. A. Albrecht. 1996 .In situ disappearance of individual proteins and nitrogen from legume forages containing varying amounts of tannins. J. Dairy Sci. 79, 1430-1435.

18- Nestel, P. 1986. Fish oil attenuates the cholesterol induced rise in lipoprotein cholesterol. The American J. Clinical Nutr. 43, 752-757.

19- Noakes, M., P. J. Nestel, and, P. M. Clifton. 1996. Modifying the fatty acid profile of dairy products through feedlot technology lowers plasma cholesterol of humans consuming the products. The American J. Clinical Nutr. 63, 42-46.

20- NRC. 1981. Nutrient requirements of goats: angora, dairy, and meat goats in temperate and tropical countries (nutrient requirements of domestic animals). National Academy Press, Washington, D.C.

21- Palmquist, D. L., A. L. Lock, K. J. Shingfield, and D. E Bauman. 2005. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants and humans. Adv. Food Nutr. Res. 50, 179-217.

22- Petit, H. V., C. Germiquet, and D. Lebel. 2004. Effect of feeding whole, unprocessed sunflower seeds and flaxseed on milk production, milk composition and prostaglandin secretion in dairy cows. J. Dairy Sci. 87,

3889-3898.

23- Rawel, H. M., J. Kroll, and U. C. Hohl. 2001. Model studies on reactions of plant phenols with whey proteins. Molecular Nutr. Food Res. 45, 72-81.

24- Rodriguez, D., L. D. Muller, and D. J. Schingoethe. 1975. In vitro and mouse evaluation of methods for protecting whey protein and casein from ruminal degradation. J. Dairy Sci. 58, 1841-1846.

25- Scott, T., L. Cook, and S. Mills. 1971. Protection of dietary polyunsaturated fatty acids against microbial hydrogenation in ruminants. J. American Oil Chem. Society. 48, 358-364.

26- Serfert, Y., S. Drusch, and K. Schwarz. 2009. Chemical stabilisation of oils rich in long-chain polyunsaturated fatty acids during homogenisation, microencapsulation and storage. Food Chem. 113, 1106-1112.

27- Tabacco, E., G. Borreani, G. M. Crovetto, G. Galassi, D. Colombo, and L. Cavallarin. 2006. Effect of chestnut tannin on fermentation quality, proteolysis, and protein rumen degradability of alfalfa silage. J. Dairy Sci. 89, 4736-4746.

28- Young, S. L., X. Sarda, and M. Rosenberg. 1993. Microencapsulating properties of whey proteins. 1. microencapsulation of anhydrous milk fat. J. Dairy Sci. 76, 2868-2877.