مجله تحقیقات دامپزشکی
دوره ۷۵، شماره ۳، ۱۳۹۹، ۲۹۹-۲۸۸
مقاله پژوهشی

مقایسه اثر ال-کارنیتین و بتائین بر روی روغن‌های ماهی و ذرت در جیره غذایی، و تأثیر آنها بر پروفایل اسیدهای چرب و شاخص‌های خونی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

مهناز حسین پور[۱]، سعید مشکینی[۲]، ابراهیم حسین نجد گرامی[۳]

[۱] دانش آموخته تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
[۲] گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
[۳] گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

10.22059/jvr.2019.279041.2922

تاریخ دریافت: ۱۶ فروردین ماه ۱۳۹۹، **تاریخ پذیرش:** ۴ تیر ماه ۱۳۹۹

چکیده

زمینهٔ مطالعه: جایگزینی روغن ماهی با روغن‌های گیاهی و استفاده از مکمل‌های غذایی نقش مهمی در متابولیسم چربی‌های آبزیان دارد. روغن ذرت یکی از روغن‌های گیاهی است که می‌تواند جایگزین مناسبی برای روغن ماهی باشد.

هدف: این مطالعه با هدف بررسی استفاده از مکمل‌های غذایی ال-کارنیتین و بتائین به همراه روغن ذرت و روغن ماهی و تأثیر بر متابولیسم چربی‌ها و شاخص‌های خونی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان اجرا شد.

روش‌کار: تعداد ۴۵۰ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (۰/۲۶ ± ۹/۱۲ گرم)، در چهار تیمار (سه تکرار) تقسیم شده و با جیره دستی حاوی روغن ماهی (تیمار اول)، روغن ذرت (تیمار دوم)، روغن ماهی و ۵۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین و بتائین (تیمار سوم) و روغن ذرت و ۵۰۰ میلی‌گرم ال-کارنیتین و بتائین (تیمار چهارم) به مدت هشت هفته تغذیه شدند. در پایان آزمایش پروفایل اسیدهای چرب تیمارها با دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) مشخص شد و شاخص‌های خونی و وزن آن‌ها هم بررسی گردید.

نتایج: در پایان آزمایش شاخص وزن اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. در جایگزینی روغن ماهی با روغن ذرت میزان اسیدهای چرب PUFA n-3، C18:3n3، C20:3n3، C20:5n3 و C22:6n3 در لاشه ماهیان به‌طور معنی‌داری کاهش و اسیدهای چرب PUFA n-6، C18:2n6، C20:2n6 و C20:4n6 به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند ولی اختلاف معنی‌داری در مجموع اسیدهای چرب SFA و MUFA مشاهده نشد. ال-کارنیتین و بتائین سبب افزایش معنی‌دار تجمع EPA در تیمارهای روغن ماهی و روغن ذرت شده و شاخص تعداد گلبول‌های سفید در تیمار تغذیه شده با روغن ذرت و ال-کارنیتین و بتائین (تیمار چهارم) نسبت به تیمار روغن ماهی (تیمار اول) تفاوت معنی‌دار ($P<0/05$) نشان داد.

نتیجه‌گیری نهایی: با توجه به تأثیر روغن ذرت و مکمل‌های ال-کارنیتین و بتائین در افزایش اسیدهای چرب PUFA n-6، اسید چرب ضروری EPA و تعداد گلبول‌های سفید، استفاده از روغن ذرت و مکمل‌های ال-کارنیتین و بتائین در جیره ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: روغن گیاهی، مکمل‌های غذایی، اسید چرب، متابولیسم، قزل‌آلای رنگین‌کمان

کپی‌رایت © تحقیقات دامپزشکی: دسترسی آزاد؛ کپی‌برداری، توزیع و نشر برای استفاده کامل با ذکر منبع آزاد است.

نویسنده مسئول: سعید مشکینی، گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
پست الکترونیکی: s.meshkiniy@urmia.ac.ir

مقدمه

جیره غذایی آبزیان از ترکیبات مختلفی تشکیل شده‌است که نوع و نسبت هر کدام از اجزاء در جیره، برای گونه‌های مختلف آبزیان و حتی در اندازه‌های مختلف یک گونه در طول دوره پرورشی متغیر است. پس از منابع پروتئینی، منابع چربی از مهم‌ترین اجزای

تشکیل دهنده جیره‌های غذایی آبزیان هستند که منابع مورد استفاده برای تأمین آن‌ها نقش مهمی در تأمین کامل نیاز آبزیان به چربی‌ها دارد. تاکنون مهم‌ترین منبع تأمین چربی‌های جیره آبزیان، روغن ماهی بوده که در عین کیفیت بالا، به دلیل ارزش اقتصادی زیاد آن تا حدودی باعث افزایش قیمت غذای آبزیان می‌شود. به همین دلیل با توجه به افزایش جمعیت، رشد سریع صنعت آبزی‌پروری و مصرف بالای روغن ماهی در تولیدات حیوانی و جیره‌های غذایی آبزیان، این انتظار وجود دارد که در سال‌های آینده نگرانی‌ها در مورد توسعه پایدار صنعت آبزی‌پروری افزایش یابد (۲۲).

از آنجایی که تأمین انرژی کافی از طریق چربی باعث کاهش نیاز ماهی برای تجزیهٔ پروتئین به منظور تولید انرژی می‌شود و امکان مصرف پروتئین جهت رشد سلول‌های جدید و بافت‌ها را فراهم می‌کند، استفاده از منابع چربی با کیفیت و ارزان‌تر از روغن ماهی باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در هزینه تولید جیره غذایی شده و در واقع باعث صرفه‌جویی در مصرف پروتئین به عنوان یک منبع تولید انرژی در غذای آبزیان می‌شود (۲).

ماهیان مانند دیگر جانوران قادر به ساخت برخی اسیدهای چرب ضروری از جمله اسید لینولئیک (C18:2n6) و اسید لینولنیک (C18:3n3) در بدنشان نمی‌باشند و برای ادامه فعالیت‌های فیزیولوژیکی خود نیازمند وجود این اسیدهای چرب ضروری در جیره غذایی خود هستند. این اسیدهای چرب، حلقه اول تغییر و تبدیلات در فرآیند ساخت اسیدهای چرب بلند زنجیره (Elongation) و غیراشباع‌سازی آن‌ها (Desaturation) هستند که برای ادامه حیات آبزیان بسیار ضروری هستند. هر چند برخی ماهیان مانند ماهیان دریایی حتی قادر به انجام این تبدیلات هم نیستند و باید اسیدهای چرب غیراشباع بلند زنجیره‌ای مانند EPA (C20:5n3 ایکوزاپنتانوئیک اسید) و DHA (C22:6n3 دوکوزاهگزانوئیک اسید) به صورت آماده در ترکیب جیره آن‌ها وجود داشته باشد، اما ماهیان آب شیرین از جمله قزل‌آلای رنگین‌کمان قادر هستند با استفاده از اسید لینولئیک و اسید لینولنیک اقدام به ساخت اسیدهای چرب غیراشباع بلند زنجیره EPA و DHA بنمایند. لذا از آنجایی که اسیدهای چرب موجود در بافت ماهیان رابطه مستقیمی با اسیدهای چرب موجود در جیره غذایی آن‌ها دارد (۷)، برای جایگزینی روغن ماهی که سرشار از اسید لینولئیک و اسید لینولنیک و یا اسیدهای بلند زنجیره غیراشباع مثل EPA و DHA است، باید از منابع روغنی مناسبی که دارای درصد کافی از این اسیدهای چرب هستند، استفاده کرد.

به دلیل این‌که روغن‌های گیاهی از منابع تجدید شونده به شمار می‌روند که از نظر تجاری به راحتی قابل دسترس هستند و برخی از آن‌ها منابع خوبی برای تأمین اسیدهای چرب غیراشباع می‌باشند، به عنوان یک منبع چربی مناسب به جای روغن ماهی در جیره آبزیان و دیگر حیوانات مورد استفاده قرار می‌گیرند و مطالعات مختلفی برای انتخاب و تعیین روغن‌های گیاهی که بتوانند جایگزین مناسب و با کیفیتی برای روغن ماهی باشند، در حال انجام است (۳،۲۰).

افزودن مکمل‌های غذایی نقش مهمی در بهبود شرایط تغذیه‌ای و ترکیب لاشه ماهیان دارد. ال-کارنیتین (گاماتری‌متیل بتاهیدروکسی بوتیرات)، ماده‌ای مغذی و شبه آمینواسیدی است که انتقال و اکسیداسیون اسیدهای چرب بلند زنجیره را در ماتریکس میتوکندری ماهی افزایش می‌دهد (۱). این مکمل غذایی با بهبود بازده استفاده از انرژی ناشی از اکسیداسیون چربی‌ها در جیره غذایی، عملکرد ماهی در استفاده از پروتئین جیره را افزایش می‌دهد و موجب مصرف کمتر پروتئین جیره به عنوان منبع انرژی در بدن ماهی می‌شود (۱۹). بتائین (تری‌متیل‌گلیسین) یک ماده طبیعی محلول در آب است که تقریباً در بدن تمامی موجودات زنده ساخته می‌شود، ولی فقط بعضی از مهره‌داران و تعداد محدودی از گیاهان، این ماده را به مقدار زیاد در بدن خود ذخیره می‌کنند. بتائین با حل شدن در آب سبب تحریک گیرنده‌های بویایی و چشایی ماهی می‌شود و نقش مهمی در جلب نظر ماهیان به غذا و تغذیه بیشتر و بهتر آن‌ها دارد و از آنجایی که این مکمل‌ها در میزان بسیار کم در جیره آبزیان تأثیر خود را نشان داده‌اند، دارای صرفه اقتصادی نیز می‌باشند (۱۳).

شاخص‌های هماتولوژی و بیوشیمیایی خون در ماهیان مانند سایر جانوران، نشانه‌ای از وضعیت فیزیولوژیک ماهی است که مقادیر آن تحت تأثیر نوع و مقدار مواد غذایی موجود در جیره غذایی دچار نوسان و تغییر می‌شود. اسیدهای چرب و بویژه اسیدهای چرب n-3 نقش مهمی در خون سازی، تکثیر و کارایی بیشتر سلول‌های خونی (۱۴)، تشکیل غشای سلولی گلبول‌های خونی و سیستم ایمنی ماهیان دارند. به‌طوری که تغییر در نسبت n-3/n-6 جیره می‌تواند باعث تغییر ترکیب سلول‌های ایمنی مانند لکوسیت‌های خون شود (۱۴).

با توجه به ضرورت جایگزینی روغن ماهی جیره آبزیان و کارایی مناسب روغن‌های گیاهی برای این جایگزینی و همچنین نقش مفید و مثبت مکل‌های ال-کارنیتین و بتائین بر شاخص‌های رشد و کارایی تغذیه‌ای ماهیان (۴)، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر استفاده از روغن ذرت به جای روغن ماهی بر پروفایل اسیدهای چرب و نیز تعیین تأثیر مکمل‌های ال-کارنتین و بتائین بر متابولیسم اسیدهای چرب و شاخص‌های خونی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان که مهم‌ترین ماهی سردآبی پرورشی در کشور است (۹) انجام شد.

مواد و روش کار

تیمار ماهیان و آماده سازی جیره‌های آزمایشی: تعداد ۴۵۰ عدد بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با میانگین وزنی ۰/۲۶ ± ۹/۱۲ گرم از یکی از مراکز تکثیر و پرورش ماهیان سردآبی شهرستان ارومیه خریداری شده و پس از گذراندن یک هفته دوره قرنطینه و سازش با شرایط محیط جدید در سالن پرورش ماهیان پژوهشکده آرتمیا و آبزی‌پروری دانشگاه ارومیه، با محلول نمک (NaCl) ۵ درصد ضدعفونی شده و بصورت طرح کاملاً تصادفی در چهار تیمار (هر تیمار دارای سه تکرار) در ۱۲ حوضچه فایبرگلاس ۳۰۰ لیتری با حجم آبگیری ۱۵۰ لیتر و با تراکم ۳۷ ماهی در هر حوضچه ذخیره‌سازی شدند.

پس از تهیه اجزای غذایی (جدول ۱) اقدام به جیره‌نویسی شده و نهایتاً جیره‌های آزمایشی مختلف با سطوح یکسان پروتئین (۴۸/۲ درصد)، چربی (۱۸/۸۶ درصد)، کربوهیدرات (۸/۲۳ درصد)، خاکستر (۱۲/۲۵ درصد)، رطوبت (۱۲/۴۱ درصد) و انرژی (۲/۲۵ کیلو ژول بر کیلوگرم) تنظیم شدند. با این وجود، منابع روغنی مورد استفاده در جیره تیمار اول و دوم روغن ماهی و برای تیمار سوم و چهارم روغن ذرت بود. همچنین در جیره‌های تیمارهای دوم و چهارم مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم غذا از مکمل‌های ال-کارنیتین و بتائین استفاده شد. پس از تنظیم جیره‌ها اجزای غذایی با هم ترکیب شده و به حالت خمیری در آمده و با چرخ گوشت پلت زنی (با قطر ۲/۵ میلی‌متر) شدند و در انکوباتور (دمای ۵۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۸-۶ ساعت) خشک شدند و تا زمان مصرف در یخچال نگهداری شدند. همه تیمارها به مدت هشت هفته با این جیره ها تغذیه شدند.

آماده‌سازی نمونه‌ها و آنالیز اسیدهای چرب لاشه: برای بررسی تأثیر جیره‌های غذایی بر پروفایل و میزان اسیدهای چرب لاشه ماهیان، در ابتدا و انتهای دوره آزمایش از هر تیمار ۹ ماهی به‌طور تصادفی انتخاب و پس از آسیاب و مخلوط کردن، وزن شده و سپس مقداری از آن برای اندازه‌گیری چربی و آنالیز اسیدهای چرب برداشته شد. در این روش چربی موجود در ساختمان مولکولی تری‌آسیل گلیسرول‌ها و سایر مولکول‌های نمونه‌ها، با روش سوکسله و توسط دی‌اتیل‌اتر ($(C_2H_5)_2O$) در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. آماده‌سازی و آنالیز اسیدهای چرب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگراف (Agilent 7890A, USA) انجام گرفت (۱۵). به این منظور به ازای هر ۰/۱ گرم چربی به دست آمده ۱ میلی‌لیتر هپتان (C_7H_{16}) نرمال و ۰/۰۵ میلی‌لیتر هیدروکسید پتاسیم متانولی (KOH) ۲ نرمال اضافه شد و پس از هم زدن محلول حاصل، گلیسرول از اسیدهای چرب جدا شده و لایه شفاف رویی که حاوی متیل‌استر اسیدهای چرب محلول در هپتان می‌باشد، توسط سرنگ‌های استریل به ویال های کوچک منتقل شد و تا زمان تزریق به دستگاه گاز کروماتوگراف در دمای ۳۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید (۱۵). پس از آنالیز اسیدهای چرب توسط دستگاه گاز کروماتوگراف، که میزان آن‌ها بر اساس میلی‌گرم اسید چرب در هر ماهی محاسبه می‌شود، بر اساس رابطه زیر، میزان تجمع و یا کاهش اسیدهای چرب لاشه ماهیان طی دوره پرورش محاسبه شد (۲۱):

تجمع اسید چرب در لاشه ماهیان طی دوره پرورش (میلی‌گرم اسید چرب در هر ماهی) = مقدار اسید چرب در انتهای دوره پرورشی – مقدار اسید چرب لاشه ماهیان در ابتدای دوره پرورش

نمونه برداری و اندازه‌گیری شاخص‌های خونی: در انتهای دوره تحقیق از هر تیمار ۱۵ ماهی به‌طور تصادفی انتخاب شده و پس از بیهوشی در محلول ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر پودر گل میخک، با سرنگ از ناحیه ساقه دمی آن‌ها خونگیری شد. پس از افزودن ماده ضد انعقاد سیترات سدیم (۳/۶ درصد) به خون (۱۰)، از آن برای تهیه گسترش خونی و شمارش تفریقی گلبول‌های سفید، تعداد کل گلبول‌های سفید در میکرولیتر خون، اندازه‌گیری هماتوکریت و هموگلوبین مورد استفاده قرار گرفت.

شمارش تعداد کل گلبول‌های سفید در میکرولیتر خون: ابتدا ۲۰ میکرولیتر نمونه خون با ۴ میلی‌لیتر محلول نات-هریک رقیق شده و حجم آن با آب مقطر به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و سپس از کاغذ صافی واتمن عبور داده شد. یک قطره

از خون صاف شده بوسیله یک پیپت پاستور برداشته و روی لام هماسیتومتر (نئوبار) قرار داده شد و با میکروسکوپ نوری با عدسی شیئی ۱۰، گلبول‌های سفید در چهار مربع کناری لام شمارش شدند و پس از جمع کردن تمام گلبول‌های شمارش شده با استفاده از رابطه زیر تعداد کل گلبول‌های سفید در میکرولیتر خون محاسبه گردید (۵).

۴ ÷ ۲۰۰۰ × گلبول‌های سفید شمارش شده در لام نئوبار = تعداد گلبول‌های سفید در هر میکرولیتر خون

اندازه‌گیری درصد هماتوکریت خون: دو سوم ارتفاع لوله‌های میکروهماتوکریت از خون دارای ماده ضد انعقاد پر شده و یک انتهای آن با خمیر مخصوص مسدود شد. این لوله‌ها با دستگاه سانتریفیوژ میکروهماتوکریت به مدت ۴ دقیقه و سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و سپس با استفاده از خط‌کش مدرج مخصوص درصد هماتوکریت در لوله‌ها اندازه گیری شد (۱۰).

شمارش تفریقی گلبول‌های سفید خون: یک قطره خون دارای ماده ضد انعقاد در یک سانتی‌متری لبه یک لام قرار داده و به وسیله یک لام دیگر که با لام اول زاویه ۲۵ درجه می‌سازد، بر روی لام اول گسترش داده شد. گسترش خونی حاصل در دمای اتاق خشک شده و به مدت ۵ دقیقه در متانول (CH_3OH) ثابت گردید و پس از خشک شدن به مدت ۲۰ تا ۳۰ دقیقه، رنگ‌آمیزی آن در محلول گیمسا صورت گرفت. پس از رنگ‌آمیزی، لام‌ها با قرار دادن در آب مقطر بافری (pH = ۷/۲) شستشو داده شده و در دمای اتاق خشک شدند. لام‌ها در زیر میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۱۰۰ (با استفاده از روغن سدر) بررسی و گلبول‌های سفید خون با توجه به شکل آن‌ها مورد شناسایی و شمارش قرار گرفتند. پس از شمارش تعداد ۱۰۰ عدد گلبول سفید میزان هر نوع گلبول سفید به صورت درصد برای هر نمونه محاسبه گردید (۱۰).

اندازه‌گیری غلظت هموگلوبین خون: برای اندازه‌گیری غلظت هموگلوبین خون از کیت اندازه‌گیری توتال هموگلوبین با کد CAT NO.10–532 و روش سیانومت هموگلوبین با یک محلول استاندارد تجارتی به نام محلول درابکینز (Drabkins Solution) استفاده شد. ابتدا ۲۰ میکرولیتر از نمونه خون حاوی ماده ضد انعقاد سیترات سدیم را با سمپلر به ۵ میلی‌لیتر از محلول درابکینز موجود در کیت آزمایش افزوده و پس از ۵ دقیقه استراحت، در ۱۵۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید تا مواد معلق سلولی از آن خارج شود و سپس میزان جذب نوری نمونه و استاندارد مربوطه در طول موج ۵۴۰ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و با فرمول زیر غلظت هموگلوبین محاسبه گردید (۱۸).

غلظت استاندارد × جذب نوری استاندارد ÷ جذب نوری نمونه = (گرم بر دسی‌لیتر) غلظت هموگلوبین

تجزیه و تحلیل آماری: این تحقیق در قالب یک طرح آماری کاملاً تصادفی با ۴ تیمار و ۳ تکرار به ازای هر تیمار، انجام شد. داده‌ها به صورت میانگین ± انحراف معیار (mean ± SD) گزارش شدند. نرمال بودن داده‌ها با آزمون Kolmogorov-Smirnov بررسی شد. داده‌های مربوط به ترکیب اسیدهای چرب غذا و کل لاشه و اثرات تجمعی اسیدهای چرب با آنالیز واریانس یک‌طرفه و دوطرفه (آزمون Tukey در سطح ۹۵ درصد ($P<۰/۰۵$)) مورد ارزیابی قرار گرفتند. تمام آنالیزهای آماری توسط نرم افزارهای آماری Excel 2007 و SPSS 18 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) انجام گرفت.

نتایج

پس از ۸ هفته تغذیه با جیره‌های آزمایشی، شاخص‌های وزن نهایی و اختلاف وزن ماهیان در تیمار جیره حاوی روغن ماهی (تیمار اول) با تیمار حاوی روغن ذرت (تیمار سوم) اختلاف معنی‌داری نشان نداد. افزودن بتائین و ال-کارنیتین به جیره حاوی روغن ماهی (تیمار دوم) اختلاف معنی‌داری را در شاخص‌های وزن و اختلاف وزن ماهیان در مقایسه با تیمار حاوی روغن ماهی (تیمار اول) نشان نداد ($P>۰/۰۵$). همچنین نتایج مشابهی در مقایسه تیمار حاوی روغن ذرت (تیمار سوم) و گروه غذایی حاوی روغن ذرت و مکمل‌های ال-کارنیتین و بتائین (تیمار چهارم) مشاهده گردید (جدول ۲).

نتایج مربوط به مقدار اسیدهای چرب جیره‌های آزمایشی ماهیان در جدول ۳ آورده شده‌است. جایگزینی روغن ماهی جیره با روغن ذرت باعث کاهش درصد اسیدهای چرب SFA، MUFA، C18:1n7، C18:3n3، C20:4n6، C20:5n3 و C22:6n3 و افزایش درصد اسیدهای چرب C18:2n6، C20:2n6 و Sum n-6 نسبت به کل اسیدهای چرب در مقایسه با جیره حاوی روغن ماهی گردید ($P<۰/۰۵$).

جدول ۱. ترکیب اجزای غذایی جیره‌های آزمایشی تیمارهای مختلف (درصد از کل غذا).

اجزاء غذایی جیره	تیمار ۱	تیمار ۲	تیمار ۳	تیمار ۴
(درصد)	دارای روغن ماهی	دارای روغن ذرت	روغن ماهی+ا ل-کارنیتین+ بتائین	روغن گیاهی+ ال-کارنیتین+ بتائین
پودر ماهی	۴۳/۱	۴۳/۱	۴۳/۱	۴۳/۱
آرد گندم	۱۸/۴	۱۸/۴	۱۸/۴	۱۸/۴
کنجاله سویا	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
روغن ماهی	۶	-	۶	-
روغن ذرت	-	۶	-	۶
سلولز	۲	۲	۲	۲
مکمل ویتامینی[۱]	۵/۱	۵/۱	۵/۱	۵/۱
مکمل معدنی[۲]	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
دی‌کلسیم فسفات	۱	۱	۱	۱
اکسید کُرُم	۵	۵	۵	۵
ال-کارنیتین	-	-	۵	۵
بتائین	-	-	۵	۵

[۱]ترکیب مکمل ویتامینی: ویتامین A ۱۶۰۰۰۰۰، ویتامین D۳ ۴۰۰۰۰۰ ، کولین کلراید ۱۲۰۰۰، نیاسین ۴۰۰۰، ریبوفلاوین ۸۰۰۰، پیریدوکسین ۴۰۰۰، فولیک اسید ۲۰۰۰، ویتامین B۱۲ ۸۰۰۰، اینوزیتول ۲۰۰۰۰، ویتامین C ۶۰۰۰۰، ویتامین B۲ ۸۰۰۰، ویتامین K۳ ۲۰۰۰ ، ویتامین E ۴۰۰۰۰ (واحد در کیلو گرم غذا) و بیوتین ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم غذا. ۲ترکیب مکمل معدنی: روی ۱۲/۵، آهن ۲۶، منگنز ۱۵/۸، مس ۴/۲، کبالت ۰/۴۸، سلنیوم ۲، ید ۱ گرم در کیلوگرم غذا.

جدول ۲. مقایسه شاخص وزن ماهیان در تیمارهای مختلف در ابتدا و انتهای دوره آزمایش.

شاخص رشد	جیره‌ها (تیمارها)			
(گرم)	تیمار اول	تیمار دوم	تیمار سوم	تیمار چهارم
	روغن ماهی	روغن ماهی+ ال-کارنیتین+ بتائین	روغن ذرت	روغن ذرت + ال-کارنیتین+ بتائین
وزن اولیه	۹/۱ ± ۰/۳۵[a]	۹/۲ ± ۰/۲۶[a]	۹/۰ ± ۰/۱۵[a]	۹/۲ ± ۰/۲۸[a]
وزن نهایی	۳۴/۲ ± ۰/۷۳[a]	۳۷/۸ ± ۲/۵[a]	۳۷/۴ ± ۲/۸[a]	۳۵/۳ ± ۲/۹[a]
اختلاف وزن	۲۵/۱ ± ۱/۰[a]	۲۸/۶ ± ۲/۴[a]	۲۸/۴ ± ۲/۹[a]	۲۶/۰ ± ۲/۶[a]

اعداد در یک ردیف با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار هستند ($P>0/05$).

بر اساس داده‌های جدول ۴ جایگزینی روغن ماهی (تیمار اول) با روغن ذرت (تیمار سوم) در انتهای دوره پرورشی ماهیان باعث کاهش معنی‌دار مقدار اسیدهای چرب گروه PUFA n-3 و افزایش معنی‌دار مقدار اسیدهای چرب گروه PUFA n-6 در لاشه ماهیان شده ($P<0/05$) ولی اختلاف معنی‌داری در مجموع اسیدهای چرب گروه‌های SFA و MUFA مشاهده نگردید ($P>0/05$). نتایج مشابهی هم در مورد تجمع زیستی این گروه‌های اسید چرب طی دوره پرورش ماهیان نیز مشاهده شد (جدول ۴).

افزودن مکمل ال-کارنیتین و بتائین به جیره حاوی روغن ماهی (تیمار دوم) نسبت به تیمار حاوی روغن ماهی (تیمار اول) سبب افزایش معنی‌دار مقدار و تجمع زیستی اسیدهای چرب گروه‌های SFA و MUFA شده ($P<0/05$) ولی تأثیر معنی‌داری در مقدار اسیدهای چرب گروه‌های PUFA n-3 و PUFA n-6 نداشت ($P>0/05$). افزودن ال-کارنیتین و بتائین به جیره حاوی روغن ذرت (تیمار چهارم) هیچ‌گونه تغییر معنی‌داری نسبت به جیره حاوی روغن ذرت (تیمار سوم) در هیچکدام از گروه‌های اسید چرب نشان نداد (جدول ۴).

طبق داده‌های جدول ۵، جایگزینی کامل روغن ماهی با روغن ذرت در تیمار سوم، نسبت به تیمار حاوی روغن ماهی (تیمار اول) باعث افزایش معنی‌دار مقدار اسیدهای چرب C18:2n6، C20:2n6 و C20:4n6 شد ($P<0/05$)، اما افزودن مکمل‌های ال-کارنیتین و بتائین به جیره‌های حاوی روغن ماهی و روغن ذرت هیچ‌گونه تأثیر معنی‌داری در مقدار و تجمع زیستی اسیدهای چرب گروه n-6 نداشت ($P>0/05$) (جدول ۵).

جدول ۳. پروفایل اسیدهای چرب جیره‌های غذایی حاوی منابع روغنی مختلف (میلی‌گرم اسید چرب بر گرم چربی).

نام اسید چرب	فرمول اسید چرب	جیره حاوی روغن ماهی	جیره حاوی روغن ذرت
میریستیک اسید	C۱۴	۳/۴ ± ۰/۴^{a}	۱/۵ ± ۰/۱^{b}
پالمیتیک اسید	C۱۶	۲۴/۰ ± ۱/۰^{a}	۱۷/۵ ± ۰/۵^{b}
استئاریک اسید	C۱۸	۵/۶ ± ۰/۵^{a}	۳/۸ ± ۰/۳^{b}
آراشیدیک اسید	C۲۰	۰/۳۵ ± ۰/۰^{a}	۰/۳۶ ± ۰/۰^{a}
بهنیک اسید	C۲۲	۰/۴ ± ۰/۰^{a}	۰/۲۹ ± ۰/۰^{b}
مجموع اسیدهای چرب اشباع	Sum SFA	۳۳/۷ ± ۰/۲^{a}	۲۳/۵ ± ۰/۷^{b}
میریستولئیک اسید	C۱۴:۱n۵	۰/۱۳ ± ۰/۵^{b}	۰/۲۳ ± ۰/۰^{a}
پالمیتولئیک اسید	C۱۶:۱n۷	۵/۰ ± ۰/۵^{a}	۲/۸ ± ۰/۰۴^{b}
واکسنیک اسید	C۱۸:۱n۷	۲/۷ ± ۰/۱^{a}	۰/۱۸ ± ۰/۰^{b}
اولئیک اسید	C۱۸:۱n۹	۳۱/۲ ± ۱/۰^{a}	۳۱/۳ ± ۲/۰^{a}
ایکوزانوئیک اسید	C۲۰:۱n۹	۰/۲۷ ± ۰/۰^{b}	۰/۴۷ ± ۰/۰^{a}
ایروسیک اسید	C۲۲:۱n۹	۰/۳۴ ± ۰/۰^{a}	۰/۲۵ ± ۰/۰^{a}
مجموع اسیدهای چرب تک غیراشباع	Sum MUFA	۳۹/۷ ± ۰/۵^{a}	۳۵/۲ ± ۱/۵^{b}
لینولئیک اسید	C۱۸:۲n۶	۷/۲ ± ۰/۲^{b}	۳۲/۱ ± ۱/۶^{a}
ایکوزادینوئیک اسید	C۲۰:۲n۶	۰/۲۱ ± ۰/۰^{b}	۱/۲ ± ۰/۲^{a}
آراشیدونیک اسید	C۲۰:۴n۶	۰/۳ ± ۰/۰^{a}	۰/۱۵ ± ۰/۰^{b}
مجموع اسیدهای چرب غیراشباع امگا۶	Sum n-۶	۷/۷ ± ۰/۳^{b}	۳۳/۲ ± ۱/۳^{a}
لینولنیک اسید	C۱۸:۳n۳	۱/۶ ± ۰/۱^{a}	۱/۱ ± ۱/۱^{b}
ایکوزاتریونیک اسید	C۲۰:۳n۳	۰/۰۲ ± ۰/۰^{b}	۰/۰۸ ± ۰/۲^{a}
ایکوزا پنتانوئیک اسید	(EPA)C۲۰:۵n۳	۳/۴ ± ۰/۵^{a}	۰/۹۵ ± ۰/۲^{b}
دیکوزا هپتانوئیک اسید	C۲۲:۶n۳(DHA)	۷/۶ ± ۰/۶^{a}	۳/۴ ± ۰/۳^{b}
مجموع اسیدهای چرب غیراشباع امگا۳	Sum n-۶	۱۲/۷ ± ۱/۲^{a}	۵/۵ ± ۰/۲^{b}
نسبت اسیدهای چرب غیراشباع امگا۳ به امگا۶	n-۳/n-۶	۱/۶ ± ۰/۱^{a}	۰/۱۶ ± ۰/۱^{b}

داده‌ها در هر ردیف با حروف مختلف در سطح ۰/۰۵ = α دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

جدول ۴. میانگین مقادیر گروه‌های مختلف اسید چرب در لاشه بچه ماهیان (میلی‌گرم اسید چرب در هر ماهی).

انتهای دوره پرورشی	SFA	MUFA	PUFA n-3	PUFA n-6
روغن ماهی	۲۳۸/۲ ± ۱۰/۱^{b}	۳۷۵/۷ ± ۱۴/۷^{b}	۱۲۹/۷ ± ۱۳/۳^{a}	۹۱/۶ ± ۵/۱^{b}
روغن ماهی+ال-کارنیتین+ بتائین	۲۹۷/۴ ± ۱۷/۱^{a}	۴۵۷/۱ ± ۱۸/۲^{a}	۱۳۰/۷ ± ۹/۵^{a}	۱۰۸/۳ ± ۱۰/۵^{b}
روغن ذرت	۲۳۴/۶ ± ۱۶/۵^{b}	۴۱۴/۱ ± ۲۷/۴^{ab}	۵۲/۹ ± ۱/۳^{b}	۲۸۳/۵ ± ۱۹/۵^{a}
روغن ذرت+ال-کارنیتین+ بتائین	۲۵۵/۴ ± ۲۱/۶^{b}	۴۵۰/۱ ± ۵۴/۳^{a}	۶۱/۸ ± ۱۰/۵^{b}	۲۸۳/۶ ± ۲۰/۹^{a}
تجمع در طول دوره پرورشی				
روغن ماهی	۱۹۵/۰ ± ۱۰/۱^{b}	۳۶۱/۲ ± ۱۴/۷^{b}	۹۳/۳ ± ۱۳/۳^{a}	۵۸/۸ ± ۵/۶^{b}
روغن ماهی+ال-کارنیتین+ بتائین	۲۵۴/۱ ± ۱۷/۱^{a}	۴۴۲/۵ ± ۱۸/۲^{a}	۹۴/۲ ± ۹/۵^{a}	۶۵/۴ ± ۱۰/۵^{b}
روغن ذرت	۱۹۱/۳ ± ۱۶/۵^{b}	۳۹۹/۵ ± ۲۷/۵^{ab}	۱۶/۵ ± ۱/۳^{b}	۲۵۰/۷ ± ۱۹/۵^{a}
روغن ذرت+ ال-کارنیتین+ بتائین	۲۱۲/۰ ± ۲۱/۶^{b}	۴۳۵/۵ ± ۵۴/۳^{a}	۲۵/۴ ± ۱۰/۵^{b}	۲۵۰/۸ ± ۲۰/۹^{a}

داده‌ها در هر ستون با حروف مختلف در سطح ۰/۰۵ = α دارای اختلاف معنی‌دار هستند. SFA: اسیدهای چرب اشباع، MUFA: اسیدهای چرب با یک پیوند غیراشباع، PUFA: اسیدهای چرب با چند پیوند غیراشباع.

همان‌طور که در جدول ۶ نشان داده شده‌است، جایگزینی روغن ماهی (تیمار اول) با روغن ذرت (تیمار سوم) کاهش معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) در میزان اسیدهای چرب C18:3n3، C20:3n3، C20:5n3و C22:6n3 در لاشه ماهیان و نیز تجمع زیستی این اسیدهای چرب را در انتهای دوره پرورشی به دنبال داشته‌است. همچنین افزودن مکمل ال-کارنیتین و بتائین به جیره حاوی روغن ماهی (تیمار دوم) سبب افزایش معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) میزان اسید چرب C20:5n3 و تجمع زیستی آن و کاهش معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) اسید چرب C20:3n3 در کل لاشه ماهیان در مقایسه با تیمار اول شد و اختلاف معنی‌داری در میزان اسیدهای چرب C18:3n3 و C22:6n3 مشاهده نگردید ($P>۰/۰۵$). افزودن ال-کارنیتین و بتائین به جیره حاوی روغن ذرت (تیمار سوم) نیز فقط باعث افزایش معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) مقدار و تجمع زیستی اسید چرب C20:5n3 شده و تأثیر معنی‌داری بر بقیه اسیدهای چرب گروه n-3 نداشت (جدول ۶).

جدول ۵. میانگین مقادیر اسیدهای چرب گروه n-6 در لاشه بچه ماهیان (میلی‌گرم اسید چرب در هر ماهی).

انتهای دوره پروشی	C۱۸:۶n۲ (لینولئیک اسید)	C۲۰:۲n۶ (ایکوزادینوئیک اسید)	C۲۰:۴n۶ (آراشیدونیک اسید)
روغن ماهی	۸۰/۸ ± ۵/۴^{b}	۵/۶ ± ۰/۲^{b}	۵/۱ ± ۰/۶^{bc}
روغن ماهی+ال کارنیتین+بتا ئین	۹۶/۹ ± ۸/۹^{b}	۶/۸ ± ۰/۹^{b}	۴/۵ ± ۰/۷^{c}
روغن ذرت	۲۶۰/۹ ± ۱۸/۱^{a}	۱۴/۸ ± ۰/۶^{a}	۸/۰۳ ± ۱/۹^{a}
روغن ذرت+ال کارنیتین+بتائین	۲۶۰/۱ ± ۱۶/۹^{a}	۱۵/۸ ± ۲/۷^{a}	۷/۷ ± ۱/۹^{ab}
تجمع در طول دوره پرورشی			
روغن ماهی	۵۰/۴ ± ۵/۱^{b}	۴/۰ ± ۰/۲^{b}	۵/۱ ± ۰/۶^{bc}
روغن ماهی+ال کارنیتین+بتا ئین	۶۶/۵ ± ۸/۹^{b}	۵/۳ ± ۰/۹^{b}	۴/۵ ± ۰/۷^{c}
روغن ذرت	۲۳۰/۲ ± ۱۸/۱^{a}	۱۳/۳ ± ۰/۶^{a}	۸/۰۳ ± ۱/۹^{a}
روغن ذرت+ال کارنیتین+بتائین	۲۲۹/۷ ± ۱۶/۹^{a}	۱۴/۲ ± ۲/۷^{a}	۷/۷ ± ۱/۹^{ab}

داده‌ها در هر ستون با حروف مختلف در سطح ۰/۰۵ = α دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

جدول ۶. میانگین مقادیر اسیدهای چرب گروه n-۳ در لاشه بچه ماهیان (میلی‌گرم اسید چرب در هر ماهی).

انتهای دوره پروشی	C۱۸:۳n۳ (اسید لینولنیک)	(EPA) C۲۰:۵n۳ (ایکوزا پنتانوئیک اسید)	(DHA) C۲۲:۶n۳ (دیکوزاپنتانوئیک اسید)	C۲۰:۳n۳ (ایکوزاتریئونیک اسید)
روغن ماهی	۱۳/۴ ± ۱/۰^{a}	۱۸/۳ ± ۰/۱^{b}	۹۶/۴ ± ۱۳/۹^{a}	۱/۳ ± ۰/۱^{a}
روغن ماهی+ال کارنیتین+بتائین	۱۴/۶ ± ۲/۲^{a}	۲۳/۶ ± ۲/۷^{a}	۹۲/۰ ± ۵/۷^{a}	۰/۴ ± ۰/۲^{b}
روغن ذرت	۱۰/۶ ± ۰/۸^{b}	۰/۱۳ ± ۰/۰۵^{d}	۴۱/۶ ± ۲/۲^{b}	۰/۵ ± ۰/۳^{b}
روغن ذرت+ال کارنیتین+بتائین	۱۰/۰ ± ۰/۹^{b}	۶/۸ ± ۰/۸^{c}	۴۴/۲ ± ۱۰/۴^{b}	۰/۸ ± ۰/۱^{b}
تجمع در طول دوره پرورشی				
روغن ماهی	۹/۳ ± ۱/۰^{b}	۱۵/۸ ± ۰/۱^{b}	۶۶/۸ ± ۱۳/۹^{a}	۱/۲ ± ۰/۱^{a}
روغن ماهی+ال کارنیتین+بتائین	۱۰/۵ ± ۲/۲^{b}	۲۱/۱ ± ۲/۷^{a}	۶۲/۴ ± ۵/۷^{a}	۰/۲ ± ۰/۲^{a}
روغن ذرت	۶/۶ ± ۰/۸^{a}	۲/۳ ± ۰/۵^{d}	۱۲/۰ ± ۲/۲^{b}	۰/۲ ± ۰/۳^{b}
روغن ذرت+ال کارنیتین+بتائین	۶/۰ ± ۰/۸^{a}	۴/۳ ± ۰/۸^{c}	۱۴/۶ ± ۱۰/۴^{b}	۰/۵ ± ۰/۱^{b}

داده‌ها در هر ستون با حروف مختلف در سطح ۰/۰۵ = α دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

نتایج حاصل از اثر متقابل جایگزینی روغن و استفاده از مکمل‌های ال-کارنیتین و بتائین در جدول ۷ آورده شده‌است. اثر ال-کارنیتین و بتائین در متابولیسم اسیدهای چرب C18، C16:1n7، C18:1n7، C18:1n9 و C20:3n3 در حدود اطمینان ۹۵ درصد ($P<۰/۰۵$) و اسیدهای چرب C14، C16، C22، C22:1n9 و C20:5n3 در حدود اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بود ($P<۰/۰۱$). همچنین در اسیدهای چرب C20، C14:1n5، C20:1n9، C18:2n6، C20:2n6، C20:4n6، C18:3n3 و C22:6n3 اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید ($P>۰/۰۱$، $P>۰/۰۵$). اثر نوع روغن نیز در اسیدهای چرب C16، C14:1n5، C18:1n9 و C22:1n9 در حدود اطمینان ۹۵ درصد ($P<۰/۰۵$) و اسیدهای چرب C14، C22، C16:1n7، C18:1n7، C18:2n6، C20:2n6، C20:4n6، C18:3n3، C20:5n3، C22:6n3 و C20:3n3 در حدود اطمینان ۹۹ درصد به‌طور معنی‌داری مشاهده شد ($P<۰/۰۱$). همچنین در اسیدهای چرب C18، C20 و C20:1n9 اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید ($P>۰/۰۱$، $P>۰/۰۵$).

اثر همزمان نوع روغن جیره و مکمل بتائین + ال-کارنیتین در اسیدهای چرب C14، C18:1n7 و C20:1n9 در حدود اطمینان ۹۵ درصد ($P<۰/۰۵$) و اسیدهای چرب C22 و C20:3n3 در حدود اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بود ($P<۰/۰۱$). همچنین در میزان اسیدهای چرب C16، C18، C20، C14:1n5، C16:1n7، C18:1n9، C22:1n9، C18:2n6، C20:2n6، C20:4n6، C18:3n3، C20:5n3 و C22:6n3 اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید ($P>۰/۰۱$، $P>۰/۰۵$) (جدول ۷).

جدول ۷. اثر متقابل جایگزینی روغن جیره و استفاده از مکمل‌های ال-کارنیتین و بتائین بر پروفایل اسیدهای چرب (میلی‌گرم اسید چرب در هر ماهی).

اسید چرب	تیمار ها					آنالیز واریانس دوطرفه		
	روغن ماهی	روغن ماهی+ ال-کارنیتین+ بتائین	روغن ذرت	روغن ذرت+ ال-کارنیتین + بتائین	روغن	ال-کارنیتین و بتائین	روغن × الکارنیتین و بتائین
C۱۴	۲۲/۸ ± ۱/۱	۲۸/۴ ± ۱/۷	۱۵/۰۶ ± ۰/۷	۱۷/۱ ± ۱/۴	xx	xx[۲]	x[۱]
C۱۶	۱۷۱/۱ ± ۷/۲	۲۱۳/۴ ± ۱۳/۴	۱۶۸/۴ ± ۱۱/۳	۸۵/۳ ± ۱۲/۷	x	xx	ns[۳]
C۱۸	۴۱/۶ ± ۱/۶	۵۲/۸ ± ۳/۲	۴۶/۵ ± ۴/۷	۵۰/۲ ± ۹/۷	ns	x	ns
C۲۰	۲/۵ ± ۰/۷	۲/۳ ± ۰/۰۵	۲/۷ ± ۰/۰۴	۲/۵ ± ۰/۳	ns	ns	ns
C۲۲	۰/۲ ± ۰/۵	۰/۳ ± ۰/۰۵	۱/۷ ± ۰/۰۵	۰/۳ ± ۰/۱	xx	xx	xx
Sum SFA	۲۳۸/۴ ± ۱۷/۱	۲۹۷ ± ۱۰/۱	۲۳۴/۶ ± ۱۶/۵	۲۵۵/۴ ± ۲۱	x	xx	ns
C۱۴:۱n۵	۰/۸ ± ۰/۱	۰/۵ ± ۰/۱	۰/۲ ± ۰/۱	۰/۵ ± ۰/۴	x	ns	ns
C۱۶:۱n۷	۴۳/۷ ± ۱/۳	۵۵/۶ ± ۳/۱	۳۱/۰۳ ± ۲/۳	۳۵/۵ ± ۳/۹	xx	x	ns
C۱۸:۱n۷	۲۷/۲ ± ۱/۶	۳۳/۱ ± ۱/۱	۲۴/۰۳ ± ۲/۰	۲۴/۲ ± ۳/۱	xx	x	x
C۱۸:۱n۹	۲۹۶/۳ ± ۱۱/۳	۳۵۳/۲ ± ۱۳/۸	۳۴۴/۵ ± ۲۲	۳۷۴/۸ ± ۴۴	x	x	ns
C۲۰:۱n۹	۸/۲ ± ۱/۳	۱۳/۰۶ ± ۱/۶	۱۲/۹ ± ۲/۴	۱۲/۷ ± ۲/۴	ns	ns	x
C۲۲:۱n۹	۰/۴۳ ± ۰/۲	۱/۵ ± ۰/۰	۱/۳۳ ± ۰/۶	۲/۱ ± ۰/۵	x	xx	ns
Sum MUFA	۳۷۵/۷ ± ۱۴/۷	۴۷۵/۱ ± ۱۸/۱	۴۱۴/۱ ± ۲۷	۴۵۰/۱ ± ۵۴	ns	x	ns
C۱۸:۲n۶	۸۰/۸ ± ۵/۴	۹۶/۹ ± ۸/۹	۸۰/۸ ± ۵/۴	۸۰/۸ ± ۵/۴	xx	ns	ns
C۲۰:۲n۶	۵/۶ ± ۰/۲	۶/۸ ± ۰/۹	۵/۶ ± ۰/۲	۵/۶ ± ۰/۲	xx	ns	ns
C۲۰:۴n۶	۵/۱ ± ۰/۶	۴/۵ ± ۰/۷	۵/۱ ± ۰/۶	۵/۱ ± ۰/۶	xx	ns	ns
Sum n-۶	۹۱/۶ ± ۵/۷	۱۰۸/۳ ± ۱۰/۱	۹۱/۶ ± ۵/۷	۹۱/۶ ± ۵/۷	xx	ns	ns
C۱۸:۳n۳	۱۳/۴ ± ۱/۰۴	۱۴/۶ ± ۲/۲	۱۰/۶ ± ۰/۸	۱۰/۰۶ ± ۰/۹	xx	ns	ns
C۲۰:۵n۳	۱۸/۳ ± ۰/۱	۲۳/۶ ± ۲/۷	۰/۱ ± ۰/۰۵	۶/۸ ± ۰/۸	xx	xx	ns
C۲۲:۶n۳	۹۶/۴ ± ۱۳/۹	۹۲/۰۳ ± ۵/۷	۴۱/۶ ± ۲/۲	۴۴/۲ ± ۱۰/۴	xx	ns	ns
C۲۰:۳n۳	۱/۵ ± ۰/۱	۰/۴ ± ۰/۲	۰/۵ ± ۰/۳	۰/۸ ± ۰/۱	xx	x	xx
Sum n-۳	۱۲۹/۶ ± ۱۳/۳	۱۳۰/۷ ± ۹/۵	۵۳/۰ ± ۱/۳	۶۱/۸ ± ۱۰/۵	xx	ns	ns

[۱]x: داده‌هایی با اختلاف معنی‌دار در حدود اطمینان ۹۵ درصد ($P<۰/۰۵$). [۲]xx: داده‌هایی با اختلاف معنی‌دار در حدود اطمینان ۹۹ درصد ($P<۰/۰۱$). [۳]ns: داده‌هایی که اختلاف معنی‌داری ندارند ($P>۰/۰۵$، $P>۰/۰۱$).

جدول ۸. شاخص‌های خونی بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی در انتهای آزمایش.

شاخص خونی	تیمارها			
	روغن ماهی	روغن ماهی+ ال-کارنیتین + بتائین	روغن ذرت	روغن گیاهی+ ال-کارنیتین + بتائین
گلبول قرمز (×۱۰[۶] سلول در میکرولیتر)	۱/۳۹ ± ۰/۱۱	۱/۳۹ ± ۰/۱۰	۱/۳۹ ± ۰/۱۶	۱/۳۳ ± ۰/۰۹
گلبول سفید (×۱۰[۴] سلول در میکرولیتر)	۲/۳ ± ۰/۳[b]	۲/۶ ± ۰/۴[ab]	۲/۵ ± ۰/۲[ab]	۲/۸ ± ۰/۱[a]
هموگلوبین (گرم در دسی‌لیتر)	۷/۷ ± ۱/۱	۷/۱ ± ۰/۱	۷/۴ ± ۰/۷	۷/۰ ± ۰/۶۵
هماتوکریت (درصد)	۴۲/۸ ± ۲/۹	۴۱/۸ ± ۰/۸	۴۲/۸ ± ۱/۹	۴۱/۶ ± ۱/۸
هتروفیل (درصد)	۶۲/۲ ± ۳/۵	۵۴/۸ ± ۴/۹	۵۶/۲ ± ۴/۹	۶۲/۲ ± ۲/۸
لنفوسیت (درصد)	۳۷/۶ ± ۳/۸	۴۵/۰ ± ۵/۲	۴۳/۶ ± ۴/۸	۳۷/۶ ± ۲/۷

داده‌ها در هر ردیف با حروف مختلف در سطح α = ۰/۰۵ دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

شاخص‌های خونی هماتوکریت، هموگلوبین، تعداد کل گلبول‌های قرمز، درصد هتروفیل‌ها و درصد لنفوسیت‌ها در بین گروه‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری نشان نداد ($P>0/05$). میزان گلبول‌های سفید خون ماهیان پس از ۸ هفته تغذیه با جیره‌های آزمایشی، در گروه تغذیه شده با روغن ذرت و مکمل‌های ال-کارنیتین و بتائین (تیمار چهارم) نسبت به گروه تغذیه شده با روغن ماهی (تیمار اول) به‌طور معنی‌داری ($P<0/05$) بیشتر بود (جدول ۸).

بحث

چربی‌ها نه تنها منبع انرژی، بلکه منبع مهمی برای تأمین اسیدهای چرب ضروری بدن ماهیان هستند و اگر جیره‌های غذایی، نیاز به اسیدهای چرب ضروری در ماهی را تأمین کنند، باعث رشد کافی ماهی می‌شوند (۲۲). در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در زمینه جایگزینی کامل یا نسبی روغن ماهی با روغن‌های گیاهی مانند روغن سویا، کانولا، زیتون، هسته انگور، خرما و آفتابگردان در جیره غذایی آبزیان انجام شده‌است (۸،۱۴،۱۷،۲۲) و این جایگزینی در بسیاری موارد باعث بهبود شاخص‌های رشد و بازماندگی ماهیان شده‌است و تنها در تعداد محدودی از موارد تأثیر معنی‌داری بر رشد آن‌ها نداشته است (۶). در مطالعه حاضر جایگزینی کامل روغن ذرت به جای روغن ماهی در جیره و نیز افزودن مکمل‌های ال-کارنیتین و بتائین به جیره‌های غذایی نسبت به جیره‌های فاقد این مکمل‌ها تفاوت معنی‌داری در شاخص افزایش وزن ماهیان ایجاد نکرد (جدول ۲) و به عبارت دیگر تفاوت محتوای اسیدهای چرب روغن ذرت و روغن ماهی (مقدار کمتر اسیدهای چرب n-3 در روغن ذرت) (جدول ۳) تأثیر معنی‌داری در تغییر شاخص وزن ماهیان نداشته‌است. از مهم‌ترین دلایل چنین روندی می‌توان به مواردی مانند نوع گونه آبزی مورد مطالعه، حساسیت گونه مورد مطالعه به انواع خاصی از روغن‌های به کار رفته در جیره غذایی و یا طول دوره آزمایش اشاره کرد که در نهایت منجر به تأثیر مثبت یا منفی بر شاخص‌های رشد آبزیان می‌شود (۸). Mirzaee و همکاران در سال ۲۰۱۳ گزارش کردند که به حداقل رساندن میزان اسیدهای چرب بلند زنجیره n-3 در جیره غذایی به تنهایی تأثیر منفی بر رشد ماهی سفید (*Rutilus frisii kutum*) ایجاد نمی‌کند و کاهش این گروه از اسیدهای چرب، عامل بازدارنده رشد این ماهی نیست، بلکه باعث بهبود آن نیز می‌شود و می‌توان روغن‌های گیاهی مانند روغن کلزا را بدون اثرات منفی در رشد بچه ماهیان سفید در جیره آن‌ها استفاده کرد. ایشان گزارش کردند که روغن‌های گیاهی به تنهایی یا به صورت مخلوط با هم بدون اثرات منفی در رشد و شرایط ماهیان، می‌توانند جایگزین مقداری یا همه روغن ماهی در جیره آزاد ماهیان شوند (۱۱).

همان‌گونه که در مطالعات گذشته گزارش شده‌است، به‌طور کلی روغن‌های گیاهی نسبت به روغن ماهی دارای اسیدهای چرب غیراشباع n-3 کمتری هستند (۲۱). در مطالعه حاضر هم تجزیه و مقایسه گروه‌های مختلف چربی جیره‌های حاوی روغن ماهی و روغن ذرت (قبل از تغذیه تیمارهای مختلف با این جیره‌ها) نشان داد که استفاده کامل روغن ذرت به جای روغن ماهی به‌طور کلی باعث کاهش در گروه چربی‌های SFA، MUFA و چربی‌های غیراشباع گروه n-3 در جیره غذایی شده‌است، ولی افزایش معنی‌دار اسیدهای چرب گروه n-6 را در پی داشته‌است (جدول ۳). از آنجایی که ترکیب اسیدهای چرب بدن ماهیان تابعی از مقدار و نوع چربی‌ها در جیره غذایی آن‌ها و رابطه متقابل معنی‌داری بین آن‌ها وجود دارد (جدول ۸)، ترکیب اسیدهای چرب لاشه ماهیان نیز در مطالعه حاضر کاملاً تحت تأثیر ترکیب چربی‌ها در جیره‌های مورد استفاده بود (جدول‌های ۴،۵،۶)، به‌طوری که جیره غذایی حاوی روغن ذرت نسبت به جیره حاوی روغن ماهی به‌طور معنی‌داری دارای اسیدهای چرب n-6 بیشتری بوده و نیز کاهش معنی‌دار در مقدار اسیدهای چرب n-3 را نشان داد. چنین شرایطی هم در پایان دوره آزمایش و هم در مورد مقدار تجمع اسیدهای چرب در طول دوره پرورش تیمارها مشابه بود. اما افزودن مکمل‌های غذایی ال-کارنیتین و بتائین به جیره ها باعث افزایش معنی‌دار اسیدهای چرب گروه SFA و MUFA در تیمار دارای روغن ماهی و افزایش معنی‌دار اسید چرب C20:5n3 (EPA) نسبت به جیره‌های فاقد این مکمل‌ها در هر دو تیمار حاوی روغن ماهی و روغن ذرت شد. از آنجایی که روغن ذرت هم مانند دیگر روغن‌های گیاهی از اسیدهای چرب غیراشباع n-3 کمتری نسبت به روغن ماهی برخوردار است (جدول ۳)، افزایش معنی‌دار C20:5n3 (EPA) در اثر افزودن مکمل‌های غذایی به جیره تا حدودی سبب جبران کم بودن این اسید چرب بلند زنجیره ضروری در روغن گیاهی ذرت شده‌است (جدول ۶).

ال-کارنیتین با همراهی کردن اسیدهای چرب فعال (اسیل کوآنزیم A) جهت انتقال به داخل ماتریکس میتوکندری، برای ورود اسیدهای چرب بلند زنجیره (به فرم استر اسیل کارنیتین) به میتوکندری ضروری است و نقشی تعیین کننده در تجزیه چربی و

تولید انرژی دارد. اسیدهای چرب در داخل میتوکندری طی فرایند بتااکسیداسیون تجزیه شده، در نهایت انرژی آن‌ها آزاد می‌شود و با بهبود بازده استفاده از انرژی، عملکرد ماهی را افزایش می‌دهد (۱۹). بنابراین، اندازه‌گیری مقدار چربی و پروتئین در ترکیب بدن می‌تواند به عنوان شاخصی از اکسیداسیون اسیدهای چرب در ماهی باشد. همان‌گونه که در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده‌است، افزودن مکمل ال-کارنیتین به جیره‌های دارای روغن ماهی (تیمار دوم) و روغن ذرت (تیمار چهارم) در بیشتر موارد (هرچند بدون تفاوت معنی‌دار) باعث افزایش چربی‌های لاشه ماهیان شده است و این موضوع با عملکرد ال-کارنیتین در افزایش سوخت و ساز چربی‌ها و کاهش مقدار آن‌ها در بدن تناقض دارد. دلیل چنین موضوعی را می‌توان به عملکرد بتائین به کار رفته در این تیمارها، به عنوان یک جاذب غذایی در افزایش تغذیه ماهیان، مربوط دانست که در گزارش‌های پژوهشگران به آن اشاره شده است (۱۳).

در مطالعه حاضر استفاده از روغن ذرت به جای روغن ماهی و همچنین استفاده از مکمل‌های به‌کار رفته در آزمایش، فقط در مورد شاخص تعداد کل گلبول‌های سفید و آن هم در تیمار حاوی روغن ذرت و مکمل‌های ال-کارنیتین و بتائین (تیمار چهارم) نسبت به تیمار دارای روغن ماهی (تیمار اول) افزایش معنی‌داری را نشان داد و در بقیه موارد تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد (جدول ۸). Mohseni و همکاران در سال ۲۰۱۶ با بررسی تأثیر سطوح مختلف بتائین بر شاخص‌های خونی فیل ماهی (*Huso huso*) گزارش کردند که مقدار ۰/۵ درصد بتائین در کیلوگرم غذای ماهیان نسبت به مقدارهای بالاتر، باعث افزایش معنی‌دار تعداد کل گلبول‌های سفید خون شد و تأثیر معنی‌داری بر دیگر شاخص‌های خونی نداشت (۱۲). نتایج این تحقیق تأیید کننده نتایج مطالعه حاضر بود. همچنین Sotolu در سال ۲۰۱۰ با بررسی اثرات جایگزینی روغن‌های گیاهی بادام زمینی، کنجد، سویا و روغن نخل با روغن ماهی بر شاخص‌های خونی گربه ماهی *Clarias gariepinus*، عدم وجود تفاوت معنی‌دار شاخص هموگلوبین خون بین تیمارهای تغذیه شده با روغن‌های گیاهی مختلف و تیمار تغذیه شده با روغن ماهی را گزارش کردند که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد (۱۶).

با توجه به عدم کاهش میانگین وزن ماهیان پس از استفاده از روغن ذرت (در مقایسه با روغن ماهی) و همچنین با توجه به افزایش معنی‌دار تجمع زیستی اسید چرب غیراشباع بلند زنجیره ضروری و مهمی مانند C20:5n3 (EPA) در تیمار حاوی روغن ذرت پس از افزودن مکمل‌های ال-کارنیتین و بتائین به آن، استفاده کامل روغن ذرت به عنوان جایگزینی مناسب برای روغن ماهی به همراه ۵۰۰ میلی‌گرم مکمل‌های ال-کارنیتین و بتائین به ازای هر کیلوگرم جیره غذایی قزل‌آلای رنگین‌کمان، منطقی به نظر می‌رسد.

سپاسگزاری

مولفان بر خود لازم می‌دانند از مدیریت و پرسنل محترم پژوهشکده آرتمیا و آبزی‌پروری دانشگاه ارومیه برای در اختیار قرار دادن امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی تشکر و قدردانی نمایند.

تعارض منافع

بین نویسندگان تعارض در منافع گزارش نشده است.

References

1. Akbary, P., Shahraki, N. (2017). Effects of dietary L- carnitine supplementation on biochemical indices and antioxidant activity in yellowfin seabream (*Acanthopagrus latus*, Houttyn, 1782). Veterinary Journal (Pajouhesh va Sazandegi), 115, 200-205. https://dx.doi.org/10.22034/VJ.2017.109239
2. Allaf Noverian, H.A., Biabani, A. (2018). Effect of different level of protein on growth indices and body biochemical composition of sea cucumber (*Holothuria scabra*) in juvenile stage. Journal of Physiology and Animal Development, 11(3), 77-86.
3. Gunstone, F.D. (2010). The world's oils and fats. In: Fish Oil Replacement and Alternative Lipid Sources in Aquaculture Feeds. Turchini, Giovanni M., Ng, Wing-Keong and Tocher, Douglas Redford. (eds.) (1st ed.). CRC Press. p. 551. https://doi.org/10.1201/9781439808634
4. Habibzadeh, M., Yazdani Sadati, M.E., Abdollahpour Biriah, H. (2015). Investigating the effect of different levels of L-carnetine on growth indices, carcass composition and hematological indices of young sturgeon (*Acipenser nudiventris*). Journal of Aquaculture Development, 9(2), 33-44.
5. Haghighi, M., Sharif Rohani, M., Pourmoghim, H., Toliat, T., Samadi, M., Tavoli, M., Islami, M., Yusefi, R. (2014). Haemato-immunological indices in rainbow trout (*O. mykiss*) fry fed with *Aloe vera* extract supplemented feed. J Coast Life Med, 2(5), 350-356. https://dx.doi.org/10.12980/JCLM.2.2014J49
6. Hessam Pour, R., Malekzadeh Viayeh, R., Shawrang, P., Mohammadi, M.J., Daryoni Madadpour, D. (2018). Effects of replacing fish meal with irradiated chickpea in diet on growth performance, body compositions and apparent digestibility of

rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). J Aquat Anim Nutri, 4(1), 79-100.
7. Heydari, R., Meshkini, S., Hoesin Najdgerami, E. (2016). The effect of combination of L-Carnetine and Betaine on different oil sources, growth rates, gastrointestinal activity and resistance to environmental stresses in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). J Appl Ichthyol Res, 3(4), 75-88.
8. Jamshid Poodeh, M., Esmaeili Fereidouni, A., Ouraji, H., Jani Khalili, Kh. (2014). Replacement of fish oil with vegetable oils based diets on growth and survival of the Caspian Kutum (*Rutilus kutum*) fingerlings. Anim Res, 27(3), 329-337.
9. Meshkini, S., Delirezh, N., Tafi, A.A. (2017). Effects of levamisole on immune responses and resistance against density stress in rainbow trout fingerling (*Oncorhynchus mykiss*). J Vet Res, 72(1), 129-136. https://dx.doi.org/10.22059/jvr.2017.61368
10. Meshkini, S., Tafy, A.A., Tukmechi, A., Farhang-Pajuh, F. (2012). Effects of chitosan on hematological parameters and stress resistance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Vet Res Forum, 3(1), 49 – 54.
11. Mirzaee, S., Shabani, A., Shabanpour, B., Imanpoor, M.R. (2013). Effects of different levels of High Unsaturated Fatty Acids (HUFA) on fish growth, Hematocrit and some Biochemical blood parameters in kutum (*Rutilus frisii kutum*). J Utiliz Cultiv Aquat, 2(2), 79-91.
12. Mohseni, V., Pourkazemi, M., Seyed Hoseini, M., Pour Ali, H. (2016). Effect of different levels of dietary betaine on growth, carcass composition and some of the blood and biochemical parameters of serum in *Huso huso*. J Appl Ichthyol Res, 4(3), 65-80.
13. Murthy, H.S., Manai, A., Patil, P. (2016). Effect of Betaine Hydrochloride as feed attractant on growth, survival and feed utilization of Common Carp, *Cyprinus carpio*. J Aquac Mar Biol, 4(3), 00083. https://dx.doi.org/10.15406/jamb.2016.04.00083
14. Najafipour Moghadam, E., Falahatkar, B., Kalbassi, M.R. (2011). Effects of lecithin on growth and hematological indices in juveniles of Siberian sturgeon (*Acipenser baeri* Brandet 1869). Iran J Fish Sci, 20(3), 143-154. https://dx.doi.org/10.22092/isfj.2017.110014
15. Najdegerami, E.H. (2014). Total replacement of fish oil by vegetable oil with a return to fish oil in Caspian Sea salmon (*Salmo trutta caspius*) 1: Growth performance, flesh fatty acid profile, and lipid metabolism. Iran J Fish Sci, 23(1), 95-109. https://dx.doi.org/10.22092/isfj.2017.110166
16. Sotolu, A.O. (2010). Feed utilization and biochemical characteristics of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fingerlings fed diets containing fish oil and vegetable oils as total replacements. World J Fish Marine Sci, 2(20), 93-98.
17. Sotoudeh, E., Aabedian, A., Khodabandeh, S., Khajeh, Kh. (2015). Interaction of n-3 HUFA and vitamin E on growth and hematological parameters of Caspian trout fry (*Salmo trutta caspius*). J Fish Sci Technol, 3(4), 15-29.
18. Tafi, A.A., Meshkini, S., Tokmechi, A. (2017). Effect of natural polymer chitosan on total immunoglobulin, hemoglobin concentration and resistance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) against *Aeromonas hydrophila*. Iran J Vet Clinic Sci, 10(2), 25-37.
19. Thanuthong, T., Francis, D.S., Senadheera, S.D., Jones, P.L., Turchini, G.M. (2011). Fish oil replacement in rainbow trout diets and total dietary PUFA content: II) effects on fatty acid metabolism and in vivo fatty acid bioconversion. Aquaculture, 322-323, 99–108. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.09.026
20. Torfi Mozanzadeh, M., Ghafleh Marammazi, J., Pagheh, E., Zabayeh Najafabadi, M. (2017). Feed formulation and the feeding of Sobaity sea bream (*Sparidentex hasta*). Journal of Marine Fishes, 1(1), 23-33.
21. Turchini, G.M., Francis, D.S., Senadheera, S.P.S.D., Thanuthong, T., De Silva, S.S. (2011). Fish oil replacement with different vegetable oils in Murray cod: Evidence of an "omega-3 sparing effect" by other dietary fatty acids. Aquaculture, 315, 250-259. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.02.016
22. Zamani, A, Moafi, A. (2018). Effect of replacement of fish oil by grape seed oil on growth indices and protease enzymes activity in *Oncorhynchus mykiss*. J Fish Sci Technol, 7(1), 71-79

Journal of Veterinary Research
J Vet Res, Volume 75, Number 3, 2020
Original Article

Comparison of the Effect of L-carnitine and Betaine on Fish and Corn Oils in Diet, and their Effect on Fatty Acid Profile and Blood Indices of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*)

Mahnaz Hoseinpour[1], Saeid Meshkini[2], Ebrahim Hosein Najdegerami[3]

[1] *Graduated from the Aquaculture, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran*
[2] *Department of Health and Quality Control of Food, Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, Urmia, Iran*
[3] *Department of Biology, Faculty of Scienses, Urmia University, Urmia, Iran*

10.22059/jvr.2019.279041.2922
Received: *4 April 2020*, ***Accepted:*** *24 June 2020*

Abstract

BACKGROUND: Replenishing fish oil with vegetable oils and using dietary supplements plays an important role in the metabolism of fats in aquatic animals. Corn oil is one of the vegetable oils that can be a good alternative to fish oil.

OBJECTIVES: The aim of this study was to investigate the effects of replacing fish oil with corn oil and the use of dietary supplements L-carnitine and betaine on the metabolism of fats and blood indices of rainbow trout.

METHODS: 450 rainbow trout (9.12±0.26 g) were divided into four treatments (three replicates) and were fed with manual diet containing fish oil (1st treatment), corn oil (2nd treatment), fish oil with 500 mg/kg of food containing L-carnitine and betaine (3rd treatment) and corn oil with 500 mg/kg of food containing L-carnitine and betaine (4th treatment) for eight weeks. At the end of study, fatty acid profiles of the treatments were determined by gas chromatography (GC) and blood indices and their weights were also examined.

RESULTS: At the end of the experiment, the weight index did not show a significant difference. In the replacement of fish oil with corn oil, the levels of PUFA n-3, C18:3n3, C20:3n3, C20:5n3 and C22:6n3 fatty acids significantly decreased in fish carcasses and the PUFA n-6, C18:2n6, C20:2n6 and C20:4n6 increased significantly, but no significant difference was observed in total SFA and MUFA fatty acids. L-carnitine and betaine increased the EPA accumulation in fish oil and corn oil significantly, and the number of white blood cells in corn oil, L-carnitine and betaine fed fish (fourth treatment) were increased compared to fish oil treatment (first treatment), significantly (P<0.05).

CONCLUSIONS: Considering the effect of corn oil, L-carnitine and betaine supplements on increasing the n-6 PUFA fatty acids, essential EPA and white blood cell counts, the use of corn oil and L-carnitine and betaine supplements in rainbow trout diet is recommended.

Keywords: Vegetable oil, Diet supplements, Fatty acid, Metabolism, Rainbow trout

Copyright © 2020. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution- 4.0 International License which permits Share, copy and redistribution of the material in any medium or format or adapt, remix, transform, and build upon the material for any purpose, even commercially.

Corresponding author's email: s.meshkiniy@urmia.ac.ir Tel/Fax: 044-32771926

How to cite this article:

Hoseinpour, M., Meshkini, S., Hosein Najdegerami, E. (2020). Comparison of the Effect of L-carnitine and Betaine on Fish and Corn Oils in Diet, and their Effect on Fatty Acid Profile and Blood Indices of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). J Vet Res, 75(3), 288-299. https://doi.org/10.22059/jvr.2019.279041.2922

Figure Legends and Table Captions

Table 1. Composition of dietary components of experimental diets of different treatments (percentage of total feed).
Table 2. Comparison of fish weight index in different treatments at the beginning and end of the experiment.
Table 3. Fatty acids profile of diets containing different oil sources (mg fatty acid per gram fat).
Table 4. Mean values of different fatty acid groups in fish body (mg fatty acid per fish).
Table 5. Mean values of n-6 fatty acids in fish body (mg fatty acid per fish).
Table 6. Mean values of n-3 fatty acids in fish body (mg fatty acid per fish).
Table 7. Interactive effects of dietary oil replacement and L-carnitine and betaine supplementation on fatty acid profiles (mg fatty acid per fish).
Table 8. Blood parameters of rainbow trout fed with experimental diets at the end of the experiment.