University of Guilan with collaboration of Iranian Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 8, No. 2, 2022, pages: 39-52
DOI: 10.22124/janb.2023.23773.1184

Application of various sources of vegetable lipids in sturgeon feeding

Sara Pourhosein-Sarameh*
Young Researchers and Elite Club, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

Received 22 April 2022 | Revised 19 June 2022 | Accepted 22 June 2022

KEYWORDS
Fish oil
Vegetable oil
Sturgeon
Lipid source
Protection

ABSTRACT

Features such as providing energy, essential fatty acids needed by fish and aid to absorb fat-soluble nutrients have made fat an important influencing factor in aquaculture. Given the increased global consumption of fish oil in aquaculture, it will be difficult to supply it in the future. The inexpensive and easily available alternatives, which do not cause disturbance the growth of fish or fillet quality is the main challenge in the sturgeon feeding process. Vegetable oils are considered as the most noteworthy source of alternative fats in dietary formulations of fish. However, fish needs a certain level of fat, and fat in amounts higher or lower than this desirable level can be a threat to the growth and even the health of the fish. So, it is important to explore the optimal measure of dietary lipid for aquatic animals with high economic value. Hence, due to the biological importance (evolutionary, geographical, morphological, anatomical and physiological) and economic value (environmental, recreational, aquaculture) of sturgeon fish, it is necessary to investigate and research the type and optimal level of dietary lipids. This approach, by introducing different vegetable oils and using them in the nutrition of sturgeon, provides a more realistic understanding of the nutritional needs of these valuable species, which will help to better manage sturgeon stocks and their more sustainable production.

*Corresponding author: pourhoseinsarame@gmail.com

دانشگاه گیلان با مشارکت انجمن آبزی‌پروری ایران

تغذیه آبزیان

سال هشتم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۱، صفحات ۵۲-۳۹

DOI: 10.22124/janb.2023.23773.1184

"مقاله مروری"

کاربرد منابع مختلف چربی‌های گیاهی در تغذیه ماهیان خاویاری

سارا پورحسین سارمه*

باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۱

چکیده

خصوصیاتی مانند تأمین انرژی، فراهم کردن اسیدهای چرب ضروری مورد نیاز ماهی و کمک به جذب مواد مغذی محلول در چربی، چربی را به یک عامل تأثیرگذار مهم در آبزیان تبدیل کرده است. نظر به اینکه افزایش مصرف جهانی روغن ماهی در آبزی‌پروری عرضه آن را در آینده با مشکل مواجه خواهد کرد، جایگزین‌هایی ارزان و به سهولت در دسترس که کاربرد آنها موجب اختلال در رشد ماهی و یا کیفیت فیله نشود، چالش اصلی در فرآیند تغذیه ماهیان خاویاری است. روغن‌های گیاهی به عنوان قابل توجه‌ترین چربی‌های جایگزین در فرموله کردن جیره غذایی ماهیان در نظر گرفته شده اند. با وجود این، ماهیان به سطح مشخصی از چربی نیاز دارند و چربی در مقادیر بالاتر و یا پایین تر از این سطح مطلوب می‌تواند تهدیدی برای رشد و حتی سلامت ماهی باشد. بنابراین، بررسی سطح بهینه چربی جیره غذایی برای ماهیان پرورشی با ارزش اقتصادی بالا ضروری است. از این رو، با توجه به اهمیت زیستی (تکاملی، جغرافیایی، ریخت‌شناختی، تشریحی و فیزیولوژیک) و ارزش اقتصادی (زیست محیطی، تفریحی، آبزی‌پروری) بالای ماهیان خاویاری، ضرورت دارد تا نوع و سطح مطلوب چربی غذایی آنها بررسی شود. این رویکرد با معرفی روغن‌های گیاهی مختلف و کاربرد آنها در تغذیه ماهیان خاویاری، درک واقعی‌تر از نیازهای تغذیه‌ای این گونه‌های ارزشمند را ارائه می‌کند که به مدیریت بهتر ذخایر ماهیان خاویاری و تولید پایدارتر آنها کمک خواهد کرد.

کلمات کلیدی

روغن ماهی

روغن گیاهی

ماهیان خاویاری

منبع لیپید

حفاظت

نویسنده مسئول: pourhoseinsarame@gmail.com

مقدمه

ماهیان خاویاری را «فسیل‌های زنده» می‌نامند. در کنار اهمیت تکاملی آنها، این ماهیان به دلیل کیفیت محصولاتشان (خاویار و گوشت)، گونه‌های مهم تجاری و پرورشی و یک منبع غذایی حائز اهمیت هستند (Aidos et al. 2020). این در حالی است که کاهش جمعیت این گونه‌های ارزشمند و طبقه‌بندی آنها در لیست قرمز گونه‌های در حال انقراض اتحادیه بین‌المللی حفاظت از منابع طبیعی (IUCN)، حفاظت و احیای جمعیت آنها را به یک اولویت و ضرورت اجتناب‌ناپذیر در آبزی‌پروری تبدیل کرده است (Brevé et al. 2022). در این راستا، آبزی‌پروری و تکثیر ماهیان خاویاری علاوه بر تأمین تقاضای رو به رشد بازار برای خاویار و گوشت، اجازه تولید بچه‌ماهیان را برای اهداف بازسازی جمعیت میسر می‌کند (Aidos et al. 2020).

بدون تردید تغذیه آبزیان مهم‌ترین و پرهزینه‌ترین بخش آبزی‌پروری محسوب می‌شود (Hernández et al. 2013). به رغم اهمیت موضوع تغذیه، اطلاعات در مورد نیازهای تغذیه‌ای ماهیان خاویاری به‌خصوص در مراحل اولیه زندگی و مولد بسیار محدود است (Hung, 2017; Ruban, 2020). بدیهی است که چربی‌ها منبع انرژی و حامل ویتامین‌ها و اسیدهای چرب ضروری (EFAs) برای ماهی هستند (Hachero-Cruzado et al. 2014; Liu et al. 2022). آرد ماهی[1] و روغن ماهی[2]، به طور سنتی به عنوان منابع قابل اعتمادی از پروتئین و چربی برای تغذیه ماهیان گوشت‌خوار به‌کار گرفته شده‌اند. با وجود این، قابلیت دسترسی محدود محصولات جانبی حاصل از صیادی به همراه تشدید هزینه و تقاضا برای این مواد اولیه، موجب شده تا توسعه غذاهای آبزیان غنی از نظر مواد تشکیل دهنده پایدار مانند منابع پروتئینی و روغن گیاهی، امری ضروری و مهم شود (Castero et al. 2016). مواد غذایی گیاهی معمولاً غنی از کربوهیدرات‌ها هستند و برخلاف روغن ماهی، پلی‌اسیدهای چرب غیراشباع بلند زنجیره (LC- n-3 PUFA) ندارند (Tocher, 2015). اگرچه برخی مطالعات، توان بالقوه مواد غذایی گیاهی را به عنوان مواد جایگزین در غذاهای آبزیان به اثبات رسانده‌اند، ولی هنوز مشکلاتی در مصرف آنها برای ماهیان گوشت‌خوار، به‌خصوص به دلیل محدودیت‌ها در سوخت‌وساز کربوهیدرات‌ها و تولید زیستی LC-PUFA آنها وجود دارد (Castero et al. 2016).

بررسی پژوهش‌های موجود نشان می‌دهد که به‌رغم اهمیت موضوع، شناخت کافی در مورد این بخش مهم وجود ندارد. از آنجا که گنجاندن روغن گیاهی در جیره‌های غذایی ماهیان خاویاری امری چالش‌برانگیز است، بنابراین، اطلاعات بیشتری درباره پیامدهای بالقوه ناشی از روغن‌های گیاهی غذایی و توان بالقوه تعامل و اثر متقابل آنها بر روی فرایندهای دخیل در هضم، جذب و انتقال چربی و گلوکز مورد نیاز است. از این‌رو، این مطالعه به معرفی و ارزیابی اثرات ناشی از منابع مختلف روغن‌های گیاهی بر ماهیان خاویاری به عنوان گونه‌های اقتصادی مهم پرورشی ایران، پرداخته است. مسلماً شناسایی روغن گیاهی مناسب که ضمن کاهش هزینه پرورش تضمین کننده همه نیازهای چربی ماهیان خاویاری باشد، هم برای کارآفرینان و سرمایه‌گذاران و هم برای توسعه پایدار پرورش و تکثیر این ماهیان ارزشمند، لازم و ضروری است.

روغن ماهی

روغن‌های ماهی آب شیرین و دریایی ترکیب و بیوشیمی متفاوتی از اسیدهای چرب دارند (Ackman and Eaton, 1967). تعداد محدودی از یافته‌های تحقیقاتی تفاوت‌هایی را در مشخصات اسیدهای چرب روغن ماهی‌های دریایی و آب شیرین نشان داده‌اند (Gruger et al. 1964; Ackman and Eaton, 1967). نسبت اسیدهای چرب n-3/n-6 ماهی سالیما (*Sarpa salpa*)، پیکارل (*Spicara smaris*)، گوبی سیاه (*Gobius niger*) و کیلکای معمولی (*Clupeonella cultriventris caspia*) به ترتیب ۲/۴۶، ۴/۴، ۵/۵۸ و ۶/۴۲ تعیین شده است (Pirestani et al. 2010; Prato and Biandolino, 2012). در زمینه میزان مصرف روغن ماهی، محققان اذعان داشتند که مصرف بالای PUFA، به‌خصوص n-3 LC-PUFA مانند اسید ایکوزاپنتانوئیک (EPA) و اسید دوکوزاهگزانوئیک (DHA)، ممکن است استرس اکسیداتیو را افزایش دهد (اگر هیچ ضداکسایشی به رژیم غذایی اضافه نشود) و

[1] Fish meal

[2] Fish oil

پیامدهای مخربی در ماهی به دنبال داشته باشد (Visioli, 2013). بنابراین، ارزیابی تأثیر انواع روغن های ماهی دریا و آب شیرین بر سازگاری فیزیولوژیک و سوخت و ساز چربی گونه‌های ماهیان خاویاری برای امکان تشخیص نحوه عملکرد و ترکیب سطح مناسب اسیدهای چرب مؤثر در جیره‌های غذایی آنها نقش مهمی در رشد بهینه و ارتقای کیفیت گوشت و خاویار خواهد داشت.

روغن های گیاهی

به رغم اینکه روغن های گیاهی غنی از C18 FA هستند، اما LC-PUFAs، یعنی DHA و EPA ندارند (Sargent et al. 2003). در نتیجه، مهم‌تر از شناسایی منبع جایگزین چربی برای تأمین انرژی، چالش اصلی در جایگزینی روغن ماهی، یافتن منبعی غنی از n-3 LC-PUFA است (Betancor et al. 2015). همچنین، از پیامدهای دیگر جایگزینی روغن ماهی با دیگر منابع چربی در رژیم غذایی ماهیان، می‌توان به تغییرات در مصرف بتا اکسایش در ماهی اشاره کرد (Turchini et al. 2009). در این راستا، معیارهایی را برای جایگزینی روغن ماهی با یک منبع جایگزین در جیره غذایی ماهی لحاظ کردند:

۱) تأمین انرژی کافی در قالب اسیدهای چرب غیراشباع با یک پیوند دوگانه (MUFA) برای حفظ رشد بالا و حفظ پروتئین.

۲) محدود کردن رسوب بیش از حد اسید لینولئیک (LA)،

۳) افزایش تبدیل اسید لینولنیک (LNA) به EPA و DHA (Hosseini et al. 2010a).

علاوه بر چربی‌های حیوانی که دارای همه انواع اسیدهای چرب به استثنای LC-PUFA هستند، انواع روغن‌های گیاهی نیز خواص و توان بالقوه متفاوتی دارند که بر این اساس در ۴ گروه طبقه‌بندی می‌شوند (Turchini et al. 2011):

۱) سرشار از اسیدهای چرب اشباع (SFA)، مانند روغن خرما و نارگیل

۲) سرشار از MUFA، مانند روغن کلزا، کانولا و روغن زیتون

۳) سرشار از PUFA از سری امگا ۶ (n-6 PUFA)، مانند روغن سویا و آفتاب‌گردان

۴) سرشار از PUFA از سری امگا ۳ (n-3 PUFA)، مانند روغن بذر کتان و روغن کاملینا.

نظر به این که شناسایی روغن‌های جایگزین مناسب به منظور فراهم کردن فرمول جیره غذایی مغذی، مقرون به صرفه و کم آلاینده با توجه به نیازهای تغذیه‌ای گونه‌های مختلف ماهیان خاویاری نیازمند رویکرد تحقیقاتی دقیق و برنامه‌ریزی منسجم است، برای تحقق این امر، لازم است که تأثیر روغن گیاهی جیره بر سوخت و ساز پایه، نرخ سوخت و ساز طبیعی، فیزیولوژیک و در نهایت، سلامت و رفاه ماهیان خاویاری در رویکردهای پژوهشی لحاظ شود.

روغن کلزا و روغن کانولا (کلزا دارای اسید اروسیک و گلوکوزینولات کم)

دارا بودن مؤلفه‌های مهم نظیر اسید اولئیک (OA) فراوان، سطوح مناسب و نسبت ۲:۱ اسیدهای LA/LNA، روغن کلزا را به یک جایگزین ارزشمند برای روغن ماهی در رژیم غذایی ماهی تبدیل کرده است (Ackman, 1990). *Brassica napus* (2n=38, AACC)، یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی جهان است. روغن کلزا از دانه‌های رسیده *B. napus* و دیگر انواع حاوی میزان کم اسید اروسیک به‌دست می‌آید (Yan et al. 2011). روغن کانولا از انواع روغن کلزاست که میزان اسید اروسیک (<۲٪) و گلوکوزینولات (<۳۰ میکرومول در گرم) آن پایین است (Tripathi and Mishra, 2007; Rzehak et al. 2011; SzydłOwska-Czerniak, 2013). در این راستا، جایگزینی روغن ماهی جیره غذایی با روغن کانولا و افزایش سطح چربی جیره غذایی، بهبود عملکرد رشد ماهیان بلوگا (*Huso huso*) (۰/۵ ± ۲۰۷ گرم) را در پی داشت (Falahatkar et al. 2018). در تحقیق Falahatkar و همکاران (۲۰۱۸) فیل‌ماهیانی که روغن کانولا را مصرف کرده بودند بالاترین MUFA، اسیدهای چرب n-6 مانند اسید LA و اسید آراشیدونیک (ARA) و اسیدهای چرب غیر اشباع کل را داشتند، اما تفاوت‌های مشخصی را در اسیدهای چرب n-3 حاوی اسیدهای LNA، EPA و DHA نشان ندادند. با وجود این، Imanpoor و همکاران (۲۰۱۱) با استناد به عدم تأثیر LC-PUFA جیره غذایی بر رشد تاسماهی ایرانی (*Acipenser Persicus*) جوان (۱/۹۸ ± ۴۸/۴ گرم)، جایگزینی روغن ماهی با روغن کانولا را در جیره غذایی آنها

بلامانع اعلام کردند. روغن کلزا و روغن ماهی به ترتیب موجب تولید بیشترین و کمترین میزان تری‌گلیسرید (TG)، کلسترول کل (TC) و لیپوپروتئین با چگالی پایین (LDL-C) در ماهیان خاویاری آمور (*A. schrenckii*) (۰/۱۹ ± ۹/۸۳ گرم) شدند (Huang et al. 2014). در ماهی بلوگا (۱۲ ± ۲۰۹ گرم) روغن سویا و روغن کانولا به طور قابل توجهی موجب تغییر پروفایل اسید چرب و کاهش نسبت n-3/n-6 شد، اما تأثیری بر رشد نداشت (Hosseini et al. 2010a,b). به همین ترتیب، نتایج Akyuz و همکاران (۲۰۱۶) امکان جایگزینی ۵۰٪ روغن ماهی با روغن کانولا یا روغن گلرنگ در جیره‌ها را بدون اثرات نامطلوب بر بازده خوراک (FE)، عملکرد رشد و ترکیب اسید چرب عضلات ماهیان خاویاری روسی (*A. gueldenstaedtii*) (۰/۴۸ ± ۲۰۰ گرم) نشان داد. بررسی Nikzad Hassankiadeh و همکاران (۲۰۱۳) نیز مؤید این بود که جایگزینی روغن کیلکا با ترکیبی از روغن‌های گیاهی (روغن آفتابگردان، روغن کانولا و روغن سویا) در جیره‌های غذایی اثر نامطلوبی بر عملکرد رشد بلوگای جوان (۰/۴۹ ± ۲۶/۹۷ گرم) نمی‌گذارد. اگرچه در بررسی آنها نسبت‌های n-3/OA و n-3/n-6 نیز تغییر نکرد. این در حالی بود که تأثیر گذاری جایگزینی روغن ماهی جیره غذایی با روغن کلزا بر بیان ژن‌های مرتبط با سوخت و ساز لیپید (PPARα، PPARγ و ApoE)، ترکیب اسید چرب تخم، وزن و درازای نوزاد، شاخص قطبیت هسته (GVM) مولدهای استرلیاد (*A. ruthenus*) توسط Pourhosein-Sarameh و همکاران (۲۰۱۹a,b) ثابت شد. مولدهای استرلیاد تغذیه شده با روغن کلزا یا ترکیب روغن ماهی با روغن کلزا به ترتیب پایین‌ترین و بالاترین عملکرد رشد را نشان دادند (Pourhosein-Sarameh et al. 2019a).

روغن سویا

روغن سویا (*Glycine max* L. Merrill) از خانواده Leguminosae است و به طور عمده از پنج اسید چرب پالمتیک (PA)، استئاریک (SA)، OA، LA و LNA تشکیل شده است که به‌ترتیب در غلظت‌های متوسط تقریبی ۱۰، ۴، ۱۸، ۵۵ و ۱۳٪ وجود دارد (Lee et al. 2007; Clemente and Cahoon, 2009). این روغن به دلیل غنی بودن از n-6 PUFA، به‌خصوص LA، داشتن مقادیر بیشتر MUFA و مقادیر کمتر PUFA، پایداری اکسیداتیو را افزایش می‌دهد (Clemente and Cahoon, 2009; Lee et al. 2012).

مناسب بودن روغن سویا به عنوان جایگزین روغن ماهی در نوزاد ماهیان خاویاری ایرانی توسط Abedian Kenari و Naderi (۲۰۱۶) تعیین شد. حسینی و همکاران (۲۰۱۰b) ترکیب مساوی از روغن سویا و روغن کانولا را در جیره غذایی بلوگا (۱۲ ± ۲۰۹ گرم) پیشنهاد کردند. یافته‌های Huang و همکاران. (۲۰۱۴) نشان داد که تغذیه ماهیان خاویاری جوان آمور (۰/۱۹ ± ۹/۸۳ گرم :IBW) با روغن سویا و آفتابگردان به ترتیب بالاترین افزایش وزن (WG) و کمترین کارایی تغذیه (FE) را ایجاد می‌کند. بررسی Ahmadi Fackjouri و همکاران (۲۰۱۱) نتایج مغایری را ارایه داد و بر اساس شاخص‌های رشد، *Huso huso* (۲۱۵ گرم) مناسب‌ترین رشد را با جیره‌های حاوی روغن ماهی با غلظت‌های بالا در یک آزمایش رشد ۶ هفته‌ای نشان داد. به همین ترتیب، Wu و همکاران (۲۰۱۴) استفاده از منابع مختلف چربی به ترتیب به صورت روغن ماهی، سپس روغن ذرت و روغن سویا را در جیره غذایی ماهیان خاویاری جوان چینی (*A. sinensis*) (۴۷/۵ گرم) پیشنهاد دادند. سطوح درجه‌بندی شده لسیتین سویا: صفر، ۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ در جیره غذایی، وزن نهایی بدن و WG ماهی ازون برون (*A. stellatus*) ۱۱/۳ گرم را به‌طور قابل توجهی بهبود بخشید، در حالی که افزایش سطح لسیتین سویا در رژیم غذایی بیش از ۶٪ تأثیر ضعیفی بر عملکرد رشد داشت (Jafari et al. 2018). جایگزینی کامل روغن ماهی با روغن بذر کتان یا روغن سویا هیچ اثر قابل توجهی بر رشد ماهیان خاویاری هیبرید جوان (*A. baeri* ♂ × *A. schrenckii* ♀؛ ۰/۵ ± ۷۰/۸ گرم) نداشت، اما میزان اسیدهای LA و LNA را تغییر داد (Liu et al. 2018). همچنین، جایگزینی روغن ماهی با ترکیبی از روغن‌های گیاهی مختلف (روغن آفتابگردان، سویا و کانولا) در جیره غذایی فیل ماهی جوان (۰/۴۹ ± ۲۶/۹۷ گرم) در طول یک آزمایش تغذیه ۶۰ روزه، تأثیری بر شاخص‌های رشد نشان نداد (Nikzad Hassankiadeh et al. 2013).

روغن بذر کتان

روغن بذر کتان از دانه‌های بذر کتان (*Linum usitatissimum* L) به دست آمده است (Bayrak et al. 2010) و دارای بیشترین میزان n-3 PUFA، عمدتاً LNA (۶۰ ± ۲۶٪) در مقایسه با دیگر روغن های گیاهی است (Gruia et al. 2012; Goyal et al. 2014). با توجه به اینکه روغن بذر کتان اغلب به عنوان منبع غذایی n-3 PUFA در خوراک گنجانده می شود و دارای سطوح LNA بالاتری نسبت به روغن ماهی است، اگر به درستی ذخیره یا نگهداری نشود، به راحتی اکسید خواهد شد (Łukaszewicz et al. 2004). تمایل به اکسایش روغن بذر کتان استفاده از آن را در تغذیه آبزیان با چالش مواجه کرده است، زیرا ممکن است ارزش غذایی خوراک را تحت تأثیر قرار دهد و طعم یا بویی را به ماهی منتقل کند (Nilson, 2008).

در این راستا، تغذیه تاسماهی سفید (*A. transmontanus*) (۳۰ تا ۶۰ گرم) با جیره های غنی از LA (روغن بذر کتان) افزایش سطوح EPA و DHA در بافت آنها را در پی داشت (Xu et al. 1993). علاوه بر این، هشت هفته تغذیه با جیره های آزمایشی (روغن سویا، روغن گلرنگ، روغن کانولا، روغن ذرت، چربی خوک، بذر کتان، روغن کبد ماهی)، روغن کبد ماهی و روغن بذر کتان منجر به بالاترین غلظت n-3 FA در کبد و ماهیچه تاسماهی سفید شد (Xu et al. 1993). تاسماهی جوان روسی (۰/۱۵ ± ۱/۳۹ گرم) نیز پس از تغذیه با جیره‌های غذایی حاوی منابع مختلف چربی (روغن ماهی، روغن بذر کتان، پیه گاو، روغن آفتاب‌گردان، و مخلوط مساوی از روغن ماهی، پیه گاو و روغن آفتاب‌گردان یا مخلوط مساوی از روغن بذرکتان، پیه گاو و روغن آفتاب‌گردان) بیشترین مقادیر n-3 PUFA را از مصرف جیره‌های غذایی حاوی روغن بذر کتان داشتند (Li et al. 2017a). اما Liu و همکاران (۲۰۱۸) پس از یک دوره آزمایش رشد ۸۴ روزه مشاهده کردند که مقادیر LA و LNA در هیبرید ماهیان خاویاری (*A. baeri* ♀×*A. schrenckii* ♂) جـــــوان (۰/۵ ± ۷۰/۸ g) به‌ترتیب با افزایش روغن بذر کتان و روغن سویا در جیره‌های غذایی آزمایشی افزایش یافت. این در حالی بود که هیبرید ماهیان خاویاری کمترین میزان غذای خورده شده (FI) را با مصرف روغن بذر کتان داشتند. در مطالعه Agradi و همکاران (۱۹۹۳) مکمل‌های روغن بذرکتان منجر به ضریب تبدیل غذایی (FCR) پایین و مهار رشد در ماهیان خاویاری آدریاتیک (*A. naccarii*) (۷۴/۶ گرم) شد. به همین ترتیب، نتایج بررسی Zhu و همکاران (۲۰۱۷) مؤید آن بود که روغن بذر کتان جایگزین مناسبی برای روغن ماهی در جیره غذایی ماهیان خاویاری جوان روسی نیست. آنها گزارش کردند که رژیم غذایی حاوی روغن بذر کتان با سطح بالایی از LNA منجر به کاهش رسوب چربی در ماهی می شود. هم‌راستا با این نتایج، Wang و همکاران (۲۰۱۹) با استناد به تأثیرپذیری پاسخ-های ضداکسایشی، هضم چربی و عملکرد رشد ماهیان خاویاری جوان روسی (۱۱/۶۸ گرم) از جیره‌های غذایی حاوی LNA و با درنظر گرفتن تأمین شدن قسمت عمده ای از LNA و LA جیره غذایی از روغن بذر کتان و روغن آفتاب‌گردان، بیشینه سطح LNA جیره غذایی را بر حسب نرخ رشد ویژه (SGR) و FCR، ۸۵/۶۹-۶/۱۰ گرم در کیلوگرم تعیین کردند. Ghiasi و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که گنجاندن بذرکتان در سطح ۱۵۰ گرم در کیلوگرم در جیره غذایی تاسماهی سیبری می‌تواند منجر به تسریع اووژنز (تخمک‌زایی) و افزایش میزان برخی استروئیدهای جنسی کلیدی شود. اگرچه تغذیه تاسماهی سیبری با آرد بذرکتان تأثیری بر رشد آنها نشان نداد.

روغن ذرت

ذرت یا *Zea mays* یکی از غلات قابل توجه و سومین محصول غذایی مهم در جهان، متعلق به خانواده Poaceae است (Rouf Shah et al. 2016). ذرت حاوی حدود ۴۵ تا ۵۰٪ روغن شامل ۱۴٪ اسید چرب اشباع، ۳۰٪ MUFA و ۵۶٪ PUFA است. روغن ذرت تصفیه شده حاوی ۶۰-۵۴٪ LA، ۳۱-۲۵٪ OA، ۱۳-۱۱٪ PA، 2-3٪ SA و ۱٪ LNA است (Jellum, 1970; Orthoefer et al. 2003). Wu و همکاران (۲۰۱۴) در کنار تأیید روغن ماهی به عنوان بهترین منبع لیپید برای ماهیان خاویاری چینی (۴۷/۵ گرم)، روغن ذرت و سویا را به عنوان منابع چربی مناسب جایگزین روغن ماهی در این گونه معرفی کردند. Palmegiano و همکاران (۲۰۰۸) خاطر نشان کردند که صرف نظر از تغییرات در پروفایل بافت اسید چرب، جایگزینی جزئی روغن ماهی با روغن سویا یا روغن ذرت تأثیر ناچیزی بر عملکرد رشد بچه‌ماهیان خاویاری سفید (۱۷/۵ گرم) دارد. در واقع، بچه ماهیان خاویاری سفید نه تنها مستعد ساختن DHA به جای

EPA از جیره غذایی اسید چرب هستند، بلکه می‌توانند در مقایسه با روغن سویا، از روغن ذرت بهتر برای تولید DHA استفاده کنند (Palmegiano et al. 2008). این یافته‌ها ما را به سمت این فرضیه سوق می‌دهد که نوع اسید چرب جیره غذایی تعیین کننده میزان عملکرد رشد ماهیان خاویاری است، به طوری که مقادیر فراوان LA در روغن ذرت و آفتاب‌گردان، و مقادیر کم و یا عدم حضور LNA به ترتیب در روغن ذرت و در روغن آفتاب‌گردان منجر شد که ماهیان خاویاری آمور جوان (۰/۱۹ ± ۹/۸۳ گرم) که با روغن سویا تغذیه شده بودند، عملکرد رشد بهتری نسبت به ماهیان تغذیه شده با روغن ذرت و آفتاب‌گردان داشته باشند (Huang et al. 2014)، اما عدم تأثیری پذیری عملکرد رشد ماهیان خاویاری جوان روسی (۲/۸۴ ± ۱۴۳/۸۹ گرم) از انواع مختلف جیره های غذایی حاوی نسبت‌های مختلف پروتئین و منابع چربی مانند روغن ماهی، روغن آفتاب‌گردان و روغن ذرت (Şener et al. 2006) و همچنین عدم تغییر عملکرد رشد، FE، ترکیب بدن و افزایش وزن بدن (BWI) ماهیان خاویاری سفید جوان (۳۰ تا ۶۰ گرم) تغذیه شده با منابع مختلف چربی جیره غذایی (روغن کانولا، خوک، روغن ذرت، روغن بذر کتان، روغن سویا، روغن کبد ماهی و گلرنگ) به مدت ۹ ماه (Xu et al. 1993)، عمومی سازی این فرضیه را به چالش کشیده است (اجازه نتیجه‌گیری قطعی را نمی‌دهد). با وجود این، مصرف روغن‌های ذرت، سویا و گلرنگ در جیره‌های غذایی، افزایش قابل‌توجه سطوح LA را در عضله ماهیان خاویاری سفید ایجاد کرد (Xu et al. 1993).

روغن آفتاب‌گردان

حدود ۹۰٪ روغن آفتاب‌گردان (*Helianthus annuus* L.) از OA و LA و ۱۰-۸٪ باقیمانده از SA و PA تشکیل شده است (Flagella et al. 2002; Mapelli-Brahm et al. 2020). پایداری اکسیداتیو بالاتر روغن آفتاب‌گردان نسبت به روغن‌هایی که دارای OA کمتری هستند، از دیگر مزایای این روغن است (Fuller et al. 1967). در این راستا، برخی از مطالعات روغن آفتابگردان را به عنوان جایگزین مناسبی برای روغن ماهی در جیره غذایی ماهیان خاویاری روسی معرفی کردند (Şener et al. 2005, 2006). جایگزینی ۵۰٪ روغن ماهی کیلکا با مقادیر مساوی روغن آفتاب‌گردان و کانولا در جیره غذایی ماهی بلوگا، بیشینه سطوح اسیدهای چرب ضروری n-3، n-6 و n-9 را فراهم کرد و منجر به بهبود رشد و کاهش هزینه خوراک شد (Nikzad Hassankiadeh et al. 2013) که مؤید نتایج مطالعات قبلی بود. در مطالعه Zhu و همکاران (۲۰۱۷) نیز روغن آفتاب‌گردان موجب عملکرد بهتر رشد در ماهیان خاویاری روسی شد. Li و همکاران (۲۰۱۷a) مخلوطی از بذر کتان، روغن آفتاب‌گردان و پیه گاو را به عنوان منبع چربی مناسب برای دستیابی به عملکرد رشد مطلوب در ماهیان خاویاری جوان روسی پیشهاد دادند. در تقابل با این نتایج، Huang و همکاران (۲۰۱۴) با استناد به مقایر پایین FE و نسبت کل n-3 PUFA در چربی کبد و عضله، و نسبت n-3/n-6 در کبد و عضله در ماهیان خاویاری جوان آمور تغذیه شده با جیره‌های غذایی حاوی روغن آفتاب‌گردان، اظهار داشتند که روغن آفتاب‌گردان افزودنی غذایی مناسبی برای جیره غذایی ماهیان خاویاری تلقی نمی‌شود.

روغن گلرنگ

گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) حاوی دو اسید چرب غیر اشباع اصلی OA و LA (بیش از ۷۰٪ به عنوان LA) است که حدود ۹۰٪ کل اسیدهای چرب را تشکیل می دهند و ۱۰٪ باقیمانده مربوط به SFA ها، PA و SA است. روغن گلرنگ معمولی تقریباً شامل ۸-۶٪ PA، ۳-۲٪ SA، ۲۰-۱۶٪ OA و ۷۵-۷۱٪ LA است (Velasco and Fernandez-Martinez, 2001). Xu و همکاران. (۱۹۹۶) تأثیرپذیری ترکیب فسفولیپیدها (PL) و TG بافت ماهیان خاویاری را از روغن‌های (بذر کتان، گلرنگ، ذرت، سویا، کلزا، خوک و روغن کبد ماهی) موجود در جیره غذایی را گزارش کردند. مطالعه Akyuz و همکاران (۲۰۱۶) نیز مقادیر بالاتر اسید چرب n-6 را در عضله ماهیان خاویاری روسی تغذیه شده با روغن گلرنگ در مقایسه با ماهیان خاویاری روسی تغذیه شده با روغن کانولا گزارش کرد. علاوه بر این، Xu و همکاران (۱۹۹۳) نشان دادند که استفاده از روغن گلرنگ در جیره غذایی تاسماهیان سفید جوان منجر به غلظت بالای ARA در بافت آنها می‌شود.

روغن خرما (روغن پالم)

روغن خرما (*Elaeis guineensis*) منبع غنی از MUFA و SFA است. روغن‌های هسته خرما و خرما از نظر خواص و مشخصات بسیار متفاوت هستند، در حالی که از یک گیاه به‌دست می‌آیند. روغن هسته خرما حاوی مقادیر بالای اسیدهای چرب ۱۴:۰ و ۱۲:۰ است، در حالی که روغن خرما دارای مقادیر بالای اسید چرب ۱۸:۰ و ۱۶:۰ است (Siew et al. 1995; Sambanthamurthi et al. 2000; Gibon et al. 2007). روغن خوراکی خرما که به‌طور گسترده در برخی مناطق کشت می‌شود و به عنوان ماده خام برای بسیاری از بخش‌های صنعتی استفاده می‌شود، از مزوکارپ (خمیر خرمایی (قرمز رنگ)) خرما به دست می‌آید (Uludamar et al. 2016). در حال حاضر، روغن ضایعات جامد خرما یکی از روغن‌های اساسی در جهان است (Mahidin et al. 2020). استفاده موفق از روغن خرما در جیره غذایی ماهی برای افزایش مقاومت اکسیداتیو در مقایسه با روغن ماهی گزارش شده است (Ng et al. 2001). مطالعات حاکی از آن بود که تغذیه ماهی با روغن خرما، تجمع بیشتر چربی و استفاده کمتر از چربی خالص را در مقایسه با تغذیه با روغن ماهی در پی دارد (Turchini et al. 2011). بر اساس بررسی‌های انجام شده، در حال حاضر تحقیقی در زمینه اثرات تغذیه با روغن خرما در ماهیان خاویاری انجام نشده است. لذا، می‌توان در برنامه تحقیقات آتی کاربرد روغن خرما در جیره غذایی گونه‌های ماهیان خاویاری را لحاظ کرد.

روغن زیتون

اسیدهای چرب در روغن زیتون (*Olea europaea*) شامل ترکیبات ۱۶:۰، ۱۶:۱، ۱۸:۰، OA (۸۰-۶۰٪ کل اسیدهای چرب و تقریباً ۹۰٪ MUFA)، PUFA یعنی LA و LNA (۸-۵٪ از کل اسیدهای چرب) هستند. اسیدهای میریستیک (۱۴:۰)، ایکوزانوئیک و هپتادکانوئیک در مقادیر کم یافت می‌شوند (Uceda et al. 1998). اطلاعات در زمینه اثرات تغذیه با روغن زیتون در ماهیان خاویاری بسیار محدود است. Banavreh و همکاران (۲۰۱۹) اثرات تفاله زیتون در جیره غذایی را بر روی ماهیان خاویاری سیبری با استفاده از جایگزینی آرد گندم جیره غذایی با مقادیر ۲، ۵، ۷/۵ و ۱۰٪ تفاله زیتون ارزیابی و توصیه کردند که تفاله زیتون را به دلیل خاصیت تحریکی و ضداکسایشی می‌توان به عنوان جایگزین برای آرد گندم در مقادیر کم در جیره غذایی ماهیان خاویاری لحاظ کرد. آنها تفاوت بسیار کمی را در شاخص کبدی، وزن نهایی، میزان بقا، FCR، نرخ رشد ویژه و همچنین شاخص رشد احشایی (VSI) در بین گروه‌ها گزارش کردند. حسین نیا و همکاران (۱۳۹۹) اثرات روغن زیتون و بوتیل هیدروکسی تولوئن جیره غذایی را در تاسماهی ایرانی بررسی و دریافتند که بافت روده تاسماهی ایرانی تغذیه شده با روغن زیتون، وضعیت مناسب‌تری نسبت به تاسماهیانی داشت که با هیدروکسی تولوئن تغذیه شده بودند.

روغن جلبک

موجودات دریایی، به‌خصوص جلبک‌ها، ممکن است شامل تعداد زیادی PUFA با درازای زنجیره‌ای C16، C18، C20 و C22 باشند (Sargent et al. 1995). گونه های مختلف ریزجلبک و درشت‌جلبک دریایی منابع بالقوه n-6 PUFA و n-3 هستند (Benemann, 1992; Borowitzka, 1997; Brown et al. 1997) که می‌توان در آبزیان استفاده کرد. به دلیل در دسترس بودن، ارزش غذایی و هزینه کم، جلبک ها منبع عالی برای تغذیه حیوانات هستند و اغلب به عنوان افزودنی‌های خوراک، مکمل‌ها در آبزی پروری برای تقویت دستگاه ایمنی موجودات آبزی استفاده می شوند (Hashim and Saat, 1992; Trichet, 2010). مکمل جیره غذایی *Sargassum ilicifolium* (۱۰٪) می‌تواند باعث تقویت ایمنی و رشد بچه ماهیان بلوگا (۴/۱ ± ۵۶/۸ گرم) شود (Yeganeh and Adel, 2019). هم‌سو با این نتایج، *Spirulina platensis* در جیره غذایی بلوگا (۰/۸۳ ± ۳۲/۱۶ گرم) به عنوان خوراکی برای ارتقای عملکرد رشد، افزایش فعالیت آنزیم‌های متابولیک، افزایش پاسخ‌های ایمنی و مقاومت در برابر بیماری شناسایی شد (Adel et al. 2016).

دیگر منابع روغنی

Cottrell و همکاران (۲۰۲۰) اعلام کردند که استفاده از خوراک‌های جدید حتی در مقادیر کم برای امنیت غذایی و رشد پایدار آبزی‌پروری بسیار مهم است. بدیهی است که شناسایی منابع جدید و پایدار روغن‌های گیاهی با کیفیت بالا برای درک نقش اسید چرب آنها در مراحل مختلف زندگی ماهیان خاویاری ضروری است. در این راستا، Wu

و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه خود روغن بادام زمینی را نامناسب‌ترین منبع چربی رژیم غذایی برای ماهیان خاویاری اعلام کردند. Ebrahimi و همکاران (۲۰۲۰) کمترین شاخص وضعیت (CF)، BWI و SGR را در ماهیان خاویاری تغذیه‌شده با روغن رزماری ۲٪ مشاهده کردند. این در حالی بود که در شاخص‌های رشد تأثیری مشاهده نکردند. با توجه به سطوح بالای کلسترول پلاسما، TG و LDL-C ماهیان خاویاری تغذیه شده با گوشت خوک، تأثیر منفی تغذیه با گوشت خوک بر سلامت ماهیان خاویاری به اثبات رسید (Wu et al. 2014). در نظریه‌ای ناهمسو، Huang و همکاران (۲۰۱۴) مناسب بودن جیره غذایی واجد گوشت خوک را برای ماهی خاویاری جوان (۹/۸۳ گرم) اعلام کردند. غلظت OA ماهیچه و کبد در ماهیان خاویاری سفید تغذیه شده با گوشت خوک و روغن کانولا نیز بالاترین میزان بود (Xu et al. 1993).

جایگزینی روغن ماهی با مخلوطی از پیه گاو، بذر کتان و روغن آفتاب‌گردان با بهبود سوخت و ساز چربی در بچه ماهیان خاویاری روسی (۱/۳۹ گرم) فعالیت ضداکسایشی بالاتر و عملکرد رشد بهتر منتهی شد (Li et al. 2017a). ماهیان خاویاری آدریاتیک تغذیه شده با جیره غذایی تجاری غنی شده با روغن ماهی (روغن منهادن به عنوان ۱۵٪ وزن خوراک خشک)، که با مقدار بالایی از اسیدهای چرب غیر اشباع از سری ω3 (LC-PUFA)، در مقایسه با ماهیان خاویاری که با جیره غذایی غنی شده با روغن نارگیل هیدروژنه با همان مقدار و مقدار زیادی SFA تغذیه می‌شدند، مصرف اکسیژن و نرخ سوخت و ساز استاندارد بسیار کمتر، اما رشد یکسان داشتند (McKenzie et al. 1999). مقایسه عملکرد رشد بچه ماهیان خاویاری روسی (۹/۵۹ گرم) که با ۱۰ جیره غذایی با منابع مختلف چربی به مدت ۵۶ روز تغذیه شده بودند، حاکی از آن بود که ماهیان تغذیه شده با جیره غذایی حاوی روغن پریلا با جیره غذایی شامل ۲ درصد LNA یا روغن نارگیل کمترین WG را داشتند (Li et al. 2017 b).

نتیجه‌گیری

مزایای روغن‌های گیاهی استفاده شده در مطالعات انجام شده بر روی ماهیان خاویاری تا حد زیادی بحث برانگیز و پیچیده می‌باشد. تناقضات نتایج به‌دست آمده در زمینه تأثیر منابع روغنی یکسان بر ماهیان خاویاری ممکن است به علت متفاوت بودن شرایط آزمایش و نسبت روغن‌های مصرفی باشد که کارآمدی نتیجه‌گیری آنها و توصیه‌ها در جیره‌های غذایی ماهیان خاویاری را محدود می‌کند، زیرا اندازه ماهی، دمای آب، تراکم ماهی در هر تکرار، فرمول‌بندی و نحوه تولید جیره‌های غذایی آزمایشی، تعداد حداقلی تکرارها، تعداد حداقلی ماهی در هر تکرار، مدت آزمایش، حتی تحلیل آماری و غیره عوامل مهم و تأثیرگذاری محسوب می‌شوند که باید در طراحی آزمایش و تحلیل نتایج لحاظ شوند. در این راستا، مطالعات تغذیه‌ای بیشتر باید با استفاده از انواع روغن های گیاهی با غلظت‌های متفاوت و در مراحل مختلف زندگی ماهیان خاویاری انجام شود تا سودمندی نتایج، دانش و درک تغذیه چربی در ماهی خاویاری را ارتقا و بهبود بخشد.

منابع

حسین نیا، ا.، خارا، ح.، فرخ روز، م.، یوسفی جوردهی، ا.، کاظمی، ر. ۱۳۹۸. اثرات روغن زیتون و بوتیل هیدروکسی تولوئن جیره بر آنزیم‌های گوارشی و کبدی و بافت‌های کبد و روده تاسماهی ایرانی جوان (*Acipenser persicus*) در آب لب‌شور. تغذیه آبزیان ۶: ۴۱-۲۷.

Abedian Kenari, A., Naderi, M. 2016. Effects of enriched Artemia by fish and soybean oils supplemented with vitamin E on growth performance, lipid peroxidation, lipase activity and fatty acid composition of Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) larvae. Aquaculture Nutrition 22: 382-391.

Ackman, R.G. 1990. Canola fatty acids-an ideal mixture for health, nutrition, and food use, in: Shahidi, F. (Ed.), Canola and Rapeseed: Production, Chemistry, Nutrition and Processing Technology. Springer US, Boston, MA, 81-98.

Ackman, R.G., Eaton, C.A. 1967. Fatty acid composition of the decapod shrimp, Pandalus borealis, in relation to that of the euphausid, *Meganyctiphanes norvegica*. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 24: 467-471.

Adel, M., Yeganeh, S., Dadar, M., Sakai, M., Dawood, M.A.O. 2016. Effects of

dietary Spirulina platensis on growth performance, humoral and mucosal immune responses and disease resistance in juvenile great sturgeon (*Huso huso* Linnaeus, 1754). Fish & Shellfish Immunology 56: 436-444.

Ahmadi Fackjouri, H., Falahatkar, B., Ershad Langroudi, H. 2011. The influence of different lipid sources and levels on growth, body composition and haematology of *Huso huso*. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 95: 632-641.

Aidos, L., Cafiso, A., Serra, V., Vasconi, M., Bertotto, D., Bazzocchi, C., Radaelli, G., Di Giancamillo, A., 2020. How different stocking densities affect growth and stress status of *Acipenser baerii* early stage larvae. Animals 10: 1289.

Akyuz, A.P., Kerim, M., Karayucel, I., Dernekbasi, S., Tiril, S.U. 2016. Effects of Canola and Safflower oil supplementation in diets, on growth performance and fatty acid composition of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1833). Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh 68: 1-12.

Banavreh, A., Soltani, M., Kamali, A., Yazdani-Sadati, M.A., Shamsaie, M. 2019. Immuno-physiological and antioxidant responses of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) fed with different levels of olive pomace. Fish Physiology and Biochemistry 45: 1419-1429.

Bayrak, A., Kiralan, M., Ipek, A., Arslan, N., Cosge, B., Khawar, K.M. 2010. Fatty acid compositions of Linseed (*Linum usitatissimum* L.) genotypes of different origin cultivated in Turkey. Biotechnology & Biotechnological Equipment 24: 1836-1842.

Benemann, J.R. 1992. Microalgae aquaculture feeds. Journal of Applied Phycology 4: 233-245.

Betancor, M.B., Sprague, M., Sayanova, O., Usher, S., Campbell, P.J., Napier, J.A., Caballero, M.J., Tocher, D.R. 2015. Evaluation of a high-EPA oil from transgenic *Camelina sativa* in feeds for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): Effects on tissue fatty acid composition, histology and gene expression. Aquaculture 444: 1-12.

Borowitzka, M.A. 1997. Microalgae for aquaculture: Opportunities and constraints. Journal of Applied Phycology 9: 393-401.

Brevé, N.W.P., Nagelkerke, L.A.J., Buijse, A.D., van Tuijn, T.J., Murk, A.J., Winter, H.V., Lenders, H.J.R. 2022. Historical reconstruction of sturgeon (Acipenser spp.) spatiotemporal distribution and causes for their decline in North-Western Europe. Biodiversity and Conservation 31: 1149-1173.

Brown, M.R., Jeffrey, S.W., Volkman, J.K., Dunstan, G.A. 1997. Nutritional properties of microalgae for mariculture. Aquaculture 151: 315-331.

Castro, C., Corraze, G., Basto, A., Larroquet, L., Panserat, S., Oliva-Teles, A. 2016. Dietary lipid and carbohydrate interactions: implications on lipid and glucose absorption, transport in Gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles. Lipids 51: 743-755.

Clemente, T.E., Cahoon, E.B. 2009. Soybean oil: genetic approaches for modification of functionality and total content. Plant Physiology 151: 1030-1040.

Cottrell, R.S., Blanchard, J.L., Halpern, B.S., Metian, M., Froehlich, H.E. 2020. Global adoption of novel aquaculture feeds could substantially reduce forage fish demand by 2030. Nature Food 1: 301-308.

Ebrahimi, E., Haghjou, M., Nematollahi, A., Goudarzian, F. 2020. Effects of rosemary essential oil on growth performance and hematological parameters of young great sturgeon (*Huso huso*). Aquaculture 521: 734909.

Falahatkar, B., Asheri, S., Safarpour Amlashi, A., Ershad Langroudi, H. 2018. Canola oil, as a good alternative dietary lipid source in sturgeon: Effects on growth, physiology and fatty acid profile

in Beluga sturgeon *Huso huso* L. Aquaculture Nutrition 24: 1263-1273.

Flagella, Z., Rotunno, T., Tarantino, E., Di Caterina, R., De Caro, A. 2002. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. European Journal of Agronomy 17: 221-230.

Fuller, G., Diamond, M.J., Applewhite, T.H. 1967. High-oleic safflower oil. Stability and chemical modification. Journal of the American Oil Chemists' Society 44: 264-266.

Ghiasi, S., Falahatkar, B., Sajjadi, M. 2023. Effect of dietary flaxseed meal on growth, blood biochemistry, reproductive hormones and oocyte development in previtellogenic Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869). Animal Feed Science and Technology 295: 115546.

Gibon, V., De Greyt, W., Kellens, M. 2007. Palm oil refining. European Journal of Lipid Science and Technology 109: 315-335.

Goyal, A., Sharma, V., Upadhyay, N., Gill, S., Sihag, M. 2014. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. Journal of Food Science and Technology 51: 1633-1653.

Gruger, E.H., Nelson, R.W., Stansby, M.E. 1964. Fatty acid composition of oils from 21 species of marine fish, freshwater fish and shellfish. Journal of the American Oil Chemists' Society 41: 662-667.

Gruia, A., Raba, D.N., Dumbrava, D., Moldovan, C., Bordean, D., Mateescu, C. 2012. Fatty acids composition and oil characteristics of linseed (*Linum Usitatissimum* L.) from Romania. Journal of Agroalimentary Processes and Technologies 18: 136-140.

Hachero-Cruzado, I., Rodríguez-Rua, A., Román-Padilla, J., Ponce, M., Fernández-Díaz, C., Manchado, M. 2014. Characterization of the genomic responses in early Senegalese sole larvae fed diets with different dietary triacylglycerol and total lipids levels. Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics 12: 61-73.

Hashim, R., Saat, M.A.M. 1992. The utilization of seaweed meals as binding agents in pelleted feeds for snakehead (*Channa striatus*) fry and their effects on growth. Aquaculture 108: 299-308.

Hernández, A.J., Román, D., Hooft, J., Cofre, C., Cepeda, V., Vidal, R. 2013. Growth performance and expression of immune-regulatory genes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles fed extruded diets with varying levels of lupin (*Lupinus albus*), peas (*Pisum sativum*) and rapeseed (*Brassica napus*). Aquaculture Nutrition 19: 321-332.

Hosseini, S.V., Abedian-Kenari, A., Rezaei, M., Nazari, R.M., Feás, X., Rabbani, M. 2010a. Influence of the in vivo addition of alpha-tocopheryl acetate with three lipid sources on the lipid oxidation and fatty acid composition of Beluga sturgeon, *Huso huso*, during frozen storage. Food Chemistry 118: 341-348.

Hosseini, S.V., Abedian Kenari, A., Regenstein, J.M., Rezaei, M., Nazari, R.M., Moghaddasi, M., Kaboli, S.A., Grant, A.A.M. 2010b. Effects of alternative dietary lipid sources on growth performance and fatty acid composition of Beluga sturgeon, *Huso huso*, juveniles. Journal of the World Aquaculture Society 41: 471-489.

Huang, F., Jiang, M., Wen, H., Liu, W., Yang, C.G., Wu, F., Tian, J., Wie, Q.W. 2014. Effects of different dietary lipid sources on growth performance, tissue fatty acid composition and serum lipid indices of juvenile Amur sturgeon, *Acipenser schrenckii* Brandt, 1869. Journal of Applied Ichthyology 30: 1602-1608.

Hung, S.S.O. 2017. Recent advances in sturgeon nutrition. Animal Nutrition 3: 191-204.

Imanpoor, M.R., Asghari, M., Asadi, R. 2011. Requirements for n-3 highly

unsaturated fatty acids in feeding juvenile Iranian sturgeon (*Acipenser persicus*) and its effects on growth, carcass quality, and fatty acid composition. Aquaculture International 19: 1035-1046.

Jafari, F., Agh, N., Noori, F., Tokmachi, A., Gisbert, E. 2018. Effects of dietary soybean lecithin on growth performance, blood chemistry and immunity in juvenile stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*). Fish & Shellfish Immunology 80: 487-496.

Jellum, M.D. 1970. Developmental changes in fatty acid composition of oil in kernel fractions of corn (*Zea mays* L.). Journal of the American Oil Chemists' Society 47: 245-248.

Lee, J.D., Bilyeu, K.D., Pantalone, V.R., Gillen, A.M., So, Y.S., Shannon, J.G. 2012. Environmental stability of Oleic acid concentration in Seed oil for Soybean lines with FAD2-1A and FAD2-1B Mutant genes. Crop Science 52: 1290-1297.

Lee, S.J., Ahn, J.K., Khanh, T.D., Chun, S.C., Kim, S.L., Ro, H.M., Song, H.K., Chung, I.M. 2007. Comparison of Isoflavone concentrations in Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) Sprouts grown under two different light conditions. Journal of Agricultural and Food Chemistry 55: 9415-9421.

Li, Q., Zhu, H., Li, E., Qin, J., Chen, L. 2017b. Growth performance, lipid requirement and antioxidant capacity of juvenile Russian sturgeon *Acipenser gueldenstaedti* fed various levels of linoleic and linolenic acids. Aquaculture Research 48: 3216-3229.

Li, Q., Zhu, H.Y., Wei, J.J., Zhang, F., Li, E.C., Du, Z.Y., Qin, J.G., Chen, L.Q. 2017a. Effects of dietary lipid sources on growth performance, lipid metabolism and antioxidant status of juvenile Russian sturgeon *Acipenser gueldenstaedtii*. Aquaculture Nutrition 23: 500-510.

Liu, C., Wang, J., Ma, Z., Li, T., Xing, W., Jiang, N., Li, W., Li, C., Luo, L. 2018. Effects of totally replacing dietary fish oil by linseed oil or soybean oil on juvenile hybrid sturgeon, *Acipenser baeri* Brandt ♀ × *A. schrenckii* Brandt ♂. Aquaculture Nutrition 24: 184-194.

Liu, Y., Yan, Y., Han, Z., Zheng, Y., Wang, X., Zhang, M., Li, H., Xu, J., Chen, X., Ding, Z., Cheng, H. 2022. Comparative effects of dietary soybean oil and fish oil on the growth performance, fatty acid composition and lipid metabolic signaling of grass carp, *Ctenopharyngodon idella*. Aquaculture Reports 22: 101002.

Łukaszewicz, M., Szopa, J., Krasowska, A. 2004. Susceptibility of lipids from different flax cultivars to peroxidation and its lowering by added antioxidants. Food Chemistry 88: 225-231.

Mahidin, M., Erdiwansyah, E., Husin, H., Hisbullah, H., Hayati, A.P., Zhafran, M., Sidiq, M.A., Rinaldi, A., Fitria, B., Tarisma, R. 2020. Utilization of oil palm biomass as a renewable and sustainable energy source in Aceh Province. Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences 67: 97-108.

Mapelli-Brahm, A., Sánchez, R., Pan, X., Moreno-Pérez, A.J., Garcés, R., Martínez-Force, E., Weselake, R.J., Salas, J.J., Venegas-Calerón, M. 2020. Functional characterization of Lysophosphatidylcholine: Acyl-CoA Acyltransferase genes from Sunflower (*Helianthus annuus* L.). Frontiers in Plant Science 11.

McKenzie, D.J., Piraccini, G., Agnisola, C., Steffensen, J.F., Bronzi, P., Bolis, C.L., Tota, B., Taylor, E.W. 1999. The influence of dietary fatty acid composition on the respiratory and cardiovascular physiology of Adriatic sturgeon (*Acipenser naccarii*): a review. Journal of Applied Ichthyology 15: 265-269.

Ng, W.-K., Lim, P.-K., Sidek, H. 2001. The influence of a dietary lipid source on growth, muscle fatty acid composition and erythrocyte osmotic fragility of

hybrid tilapia. Fish Physiology and Biochemistry 25: 301-310.

Nikzad Hassankiadeh, M., Khara, H., Yazdani Sadati, M.A., Parandavar, H., 2013. Effects of dietary fish oil substitution with mixed vegetable oils on growth and fillet fatty acid composition of juvenile Caspian great sturgeon (*Huso huso*). Aquaculture International 21: 143-155.

Nilson, S.A. 2008. Stabilization of linseed oil for use in aquaculture feeds (PhD Thesis). 115p.

Orthoefer, F., Eastman, J., List, G. 2003. Corn oil: composition, processing, and utilization. Corn: Chemistry and Technology 671-693.

Palmegiano, G.B., Gai, F., Daprà, F., Gasco, L., Pazzaglia, M., Peiretti, P.G., 2008. Effects of Spirulina and plant oil on the growth and lipid traits of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) fingerlings. Aquaculture Research 39: 587–595.

Pirestani, S., Sahari, M.A., Barzegar, M., Nikoopour, H., 2010. Lipid, cholesterol and fatty acid profile of some commercially important fish species from south caspian sea. Journal of Food Biochemistry 34: 886-895.

Pourhosein-Sarameh, S., Bahri, A.H., Falahatkar, B., Yarmohammadi, M., Salarzadeh, A., 2019b. The effect of fish and rapeseed oils on growth performance, egg fatty acid composition and offspring quality of sterlet sturgeon (*Acipenser ruthenus*). Aquaculture Nutrition 25: 543-554.

Pourhosein-Sarameh, S., Bahri, A.H., Salarzadeh, A., Falahatkar, B. 2019a. Effects of fish oil replacement with vegetable oil in diet of sterlet sturgeon (*Acipenser ruthenus*) broodstock on expression of lipid metabolism related genes in eggs. Aquaculture 505: 441-449.

Prato, E., Biandolino, F. 2012. Total lipid content and fatty acid composition of commercially important fish species from the Mediterranean, Mar Grande Sea. Food Chemistry 131: 1233-1239.

Rouf Shah, T., Prasad, K., Kumar, P. 2016. Maize-A potential source of human nutrition and health: A review. Cogent Food & Agriculture 2: 1-9.

Ruban, G.I. 2020. Exogenous feeding in the early life stages of sturgeon (Acipenseridae) (Review). Inland Water Biology 13: 613-619.

Rzehak, P., Koletzko, S., Koletzko, B., Sausenthaler, S., Reinhardt, D., Grübl, A., Bauer, C.P., Krämer, U., Bollrath, C., von Berg, A., Berdel, D., Wichmann, H.-E., Heinrich, J. 2011. Growth of infants fed formula rich in canola oil (low erucic acid rapeseed oil). Clinical Nutrition 30: 339-345.

Sambanthamurthi, R., Sundram, K., Tan, Y. 2000. Chemistry and biochemistry of palm oil. Progress in Lipid Research 39: 507–558.

Sargent, J.R., Henderson, R.J. 1995. Marine (n-3) polyunsaturated fatty acids, in: Hamilton, R.J. (Ed.), Developments in Oils and Fats. Springer US, Boston, MA, 32-65.

Sargent, J.R., Tocher, D.R., Bell, J.G. 2003. 4 - The Lipids, in: Halver, J.E., Hardy, R.W. (Eds.), Fish Nutrition (Third Edition). Academic Press, San Diego, 181-257.

Şener, E., Yildiz, M., Savaş, E. 2005. Effects of dietary lipids on growth and fatty acid composition in Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) juveniles. Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences 29: 1101-1107.

Şener, E., Yıldız, M., Savaş, E. 2006. Effect of vegetable protein and oil supplementation on growth performance and body composition of Russian sturgeon juveniles (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1833) at low temperatures. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 6: 23-27.

Siew, W.L., Ng, W.L. 1995. Diglyceride content and composition as indicators of palm oil quality. Journal of the Science of Food and Agriculture 69: 73-79.

Szydłowska-Czerniak, A. 2013. Rapeseed and its products-sources of bioactive

compounds: a review of their characteristics and analysis. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 53: 307-330.

Tocher, D.R. 2015. Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. Aquaculture 449: 94-107.

Trichet, V.V. 2010. Nutrition and immunity: an update. Aquaculture Research 41: 356-372.

Tripathi, M.K., Mishra, A.S. 2007. Glucosinolates in animal nutrition: A review. Animal Feed Science and Technology 132: 1-27.

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.

Turchini, G.M., Torstensen, B.E., Ng, W.K. 2009. Fish oil replacement in finfish nutrition. Reviews in Aquaculture 1: 10-57.

Uceda, M., Hermoso, M., Aguilera, M.P. 1998. La calidad del aceite de oliva. El cultivo del olivo, 547-572.

Uludamar, E., Karaman, V., Yildizhan, S., Serin, H. 2016. Improvement of density, viscosity and cold flow properties of palm oil biodiesel by alcohol addition. International Journal of Engineering Technologies 2: 64-67.

Velasco, L., Fernandez-Martinez, J.M. 2001. Breeding for oil quality in safflower. in: Proceedings of the 5th International Safflower Conference, Williston, North Dakota and Sidney, Montana, USA. Safflower: A Multipurpose Species with Unexploited Potential and World Adaptability. Department of Plant Pathology, North Dakota State University, 133-137.

Visioli, F. 2013. Pharma and nutrition: crossing the Rubicon. Pharma Nutrition. 1: 9-20.

Wang, X., Li, Q., Wang, J., Li, E., Qin, J.G., Chen, L. 2019. Effects of dietary alpha-linolenic acids on growth performance, lipid metabolism and antioxidant responses of juvenile Russian sturgeon *Acipenser gueldenstaedtii*. Aquaculture Nutrition 25: 184-193.

Wu, F., Liu, W., Wei, Q.W., Wen, H., Jiang, M., Yang, C.G., Tian, J. 2014. Effects of dietary lipid sources on growth performance, carcass composition, and blood parameters of juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray, 1835). Journal of Applied Ichthyology. 30: 1620-1625.

Xu, L.Z., Sánchez, R., Sali, A., Heintz, N. 1996. Ligand specificity of brain lipid-binding protein. Journal of Biological Chemistry 271: 24711-24719.

Xu, R., Hung, S.S.O., German, J.B. 1993. White sturgeon tissue fatty acid compositions are affected by dietary lipids. The Journal of Nutrition 123: 1685-1692.

Yan, X.Y., Li, J.N., Wang, R., Jin, M.Y., Chen, L., Qian, W., Wang, X.N., Liu, L.Z. 2011. Mapping of QTLs controlling content of fatty acid composition in rapeseed (*Brassica napus*). Genes & Genomics 33: 365-371.

Yeganeh, S., Adel, M. 2019. Effects of dietary algae (*Sargassum ilicifolium*) as immunomodulator and growth promoter of juvenile great sturgeon (*Huso huso* Linnaeus, 1758). Journal of Applied Phycology 31: 2093-2102.

Zhu, H., Li, Q., Wang, H., Zhu, T., Qin, J., Li, E., Chen, L. 2017. Growth, fatty acid composition and lipid deposition of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) fed different lipid sources. Aquaculture Research 48: 5126-5132.