



University of Guilan

University of Guilan with collaboration of Iranian
Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 11, No. 2, 2025, pages: 37-51
DOI: 10.22124/janb.2025.30129.1287



RESEARCH PAPER

OPEN ACCESS

Effects of adding taurine and fat powder to the diet on growth indices, body biochemical composition and fat digestibility of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* fingerlings

Fatemeh Norouzi, Sakineh Yeganeh*, Farid Firouzbakhsh, Batoul Adhami

Department of Fisheries, Faculty of Animal Science and Fisheries, Sari Agricultural Sciences
and Natural Resources University, Sari, Mazandaran, Iran

Received 08 April 2025

Revised 19 June 2025

Accepted 21 June 2025

Published online 04 November 2025

KEYWORDS ABSTRACT

Amino acid
Supplement
Fat
substitution
Saturated
fatty acids
Development
of aquaculture

Introduction: Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* belongs to the Salmonid family, one of the important domestic species in freshwater. High-energy diets with approximate levels of 45-50% protein and 18-24% fat are considered to meet their demands. However, due to the limited availability of fish oil, it cannot be considered a sustainable fat source in aquaculture. Meanwhile, fat powder can be used as an available and sustainable alternative in the diet, but due to the presence of saturated fatty acids, it has low digestibility, which may adversely affect fish health and growth. Thus, suitable additives might increase the possibility of replacing fat powder in the diet. Additionally, the amino acid taurine plays a crucial role in the formation of bile salts, which are essential for the digestion and absorption of intestinal fats. This study aims to investigate the effect of supplementary taurine on the growth, body composition, and fat digestibility of rainbow trout fed fat powder, with a focus on optimizing aquaculture productivity and sustainability.

Materials and Methods: Experimental diets included a positive control containing fish oil, canola oil and other diets containing fat powder (about 70% of the fat source was provided) supplemented with taurine at doses of 0 (negative control), 5, 10, and 20 g/kg (T₀, T₅, T₁₀ and T₂₀, respectively). A total of 225 rainbow trout with an average initial weight of 12 ± 0.03 g were distributed in 15 rearing tanks based on a completely randomized design for 58 days. Fish were fed three times a day at 8:00, 12:00 and 18:00 until apparent satiation. After 24 hours of stop feeding, the approximate amount of body composition (sampling of three fish from each tank at the end of the experiment) and items including protein, moisture, total fat and ash were measured followed by the procedure of

AOAC (2005). At the end of the experiment, in order to evaluate the apparent digestibility of nutrients, fish were fed with diets containing chromic oxide. Then, feed and feces were collected and analyzed according to the method described by Austreng (1978). SPSS software (version 19.0) was used for statistical analysis. Data were presented as the mean of 3 replicates $\pm$ standard deviation using the Duncan post-hoc test to compare means of each treatment.

Results: The results of growth parameters showed that T₂₀ exhibited a significant increase in final weight, percentage of weight gain and specific growth rate compared to the negative control (T₀; P<0.05). Feed conversion ratio, feed intake, protein efficiency, condition factor and survival rate were not affected by the experimental diets (P<0.05). According to the result of body composition, fat, protein and ash contents were affected by the different levels of taurine (P<0.05), but moisture did not show a significant difference between the experimental treatments (P<0.05). T₂₀ resulted in an increase in protein and fat compared to the negative control (P<0.05). Body fat content was higher in the positive control than in the other groups (P<0.05). The lowest body fat content was related to T₂₀. (P<0.05). Body protein was improved in T₂₀ similar to the positive control (P<0.05), and the lowest amount of protein was found in the negative control (P<0.05). The ash content in the positive control was significantly higher than in the negative control (P<0.05). Furthermore, T₂₀ led to an increase in protein digestion, while the lowest value was observed in the negative control (P<0.05). The fat digestibility was negatively affected by fat powder inclusion. However, it could be improved to some extent when taurine was supplemented. The highest ash content was found in T₂₀ whereas the lowest in the negative control (P<0.05).

Discussion: The results of the present study indicate that the addition of 20 g/kg taurine to a diet containing fat powder (T₂₀) improves the growth performance of fish. This improvement is likely due to the enhanced fat digestion and better fat utilization as an energy source. Furthermore, T₂₀ resulted in elevated body protein and fat content. Although the body fat in fish treated with the positive control was higher than in the other treatments, T₂₀ seems to fully compensate the body protein levels. The increased body fat suggests improved digestibility of fat powder under the influence of taurine. Taurine has a significant role in enhancing fat digestion by binding to bile acids, leading to the formation of bile salts. These bile salts are stored in the gallbladder and released into the intestine as required, facilitating the digestion and absorption of fats. Taurine increases protein synthesis by accelerating glycolysis and fulfills the growth requirements of the fish body through intense oxidative glucose breakdown or its conversion into amino acids. The current findings showed that protein digestibility improved by diets containing 10 and 20 g/kg taurine (T₁₀ and T₂₀). On the other hand, the inclusion of fish oil in the diet, due to its polyunsaturated fatty acids with multiple double bonds, demonstrates greater digestibility compared to fat powders. The observed reduction in digestibility in the negative control group can be attributed to the insufficiency of bile salts, but this could be compensated by the addition of taurine.

Conclusion: Given the results, it can be concluded that the addition of taurine successfully improved the digestibility of fat powder in the diet of rainbow trout. As a result, taurine enhanced fat absorption, and at the level of 20 g/kg taurine, it also improved protein digestibility. These improvements led to enhanced growth performance and increased body protein in rainbow trout.

*Corresponding author: skyeganeh@gmail.com; s.yeganeh@sanru.ac.ir





"مقاله پژوهشی"

اثر افزودن تورین و پودر چربی به جیره غذایی بر شاخص‌های رشد، ترکیب بیوشیمیایی بدن و هضم‌پذیری چربی قزل‌آلای رنگین کمان انگشت قد (*Oncorhynchus mykiss*)

فاطمه نوروزی، سکینه یگانه*، فرید فیروزبخش، بتول ادهمی

گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، مازندران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۸/۱۳

چکیده	کلمات کلیدی
پودر چربی به عنوان یک چربی با اسیدهای چرب اشباع و هضم‌پذیری کم است. لذا استفاده از مکمل‌های مناسب شاید بتواند امکان جایگزینی این منبع چربی را در جیره افزایش دهد. هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر تورین بر رشد، ترکیب بدن و هضم‌پذیری چربی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) تغذیه شده با پودر چربی بود. جیره‌های آزمایشی (۴۰٪ پروتئین و ۲۳٪ چربی) شامل کنترل مثبت حاوی روغن ماهی و روغن کانولا و دیگر جیره‌ها شامل پودر چربی ۷۶ g/kg و تورین در سطوح صفر (کنترل منفی)، ۵، ۱۰ و ۲۰ g/kg بود. ۲۲۵ قطعه قزل‌آلای رنگین کمان با میانگین وزنی 12 ± 0.3 گرم به مدت ۵۸ روز با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. نتایج حاصله نشان داد افزودن ۲۰ g/kg تورین به جیره حاوی پودر چربی منجر به افزایش معنی‌دار درصد افزایش وزن بدن و نرخ رشد ویژه در مقایسه با جیره کنترل منفی فاقد تورین شد ($P < 0.05$)؛ در حالی که ضریب تبدیل غذایی، غذای مصرف شده، کارایی پروتئین، فاکتور وضعیت و بازماندگی ماهیان تحت تأثیر جیره‌های آزمایشی قرار نگرفت ($P > 0.05$). همچنین، پروتئین و چربی بدن ماهیان تغذیه شده با ۲۰ g/kg تورین در مقایسه با کنترل منفی افزایش یافت ($P < 0.05$). خاکستر بدن در جیره کنترل مثبت به طور معنی‌داری بالاتر از جیره کنترل منفی بود ($P < 0.05$). علاوه بر این، هضم‌پذیری پروتئین و خاکستر در تیمارهای دارای تورین ۲۰ g/kg بیشترین مقدار و در تیمار کنترل منفی کمترین مقدار بود. با توجه به نتایج این تحقیق، افزودن ۲۰ g/kg تورین به عنوان مناسب‌ترین سطح مکمل به جیره حاوی ۷۰٪ پودر چربی در قزل‌آلا اثرات مثبت معنی‌داری بر رشد، ترکیب بدن و هضم‌پذیری چربی دارد.	اسید آمینه مکمل جایگزینی چربی اسیدهای چرب اشباع توسعه آبی‌پروری

مقدمه

بر اساس گزارش فائو در سال ۲۰۲۴، تولید جهانی آبزیان از طریق آبی‌پروری در سال‌های اخیر رشد چشم‌گیری داشته است. آبی‌پروری برای اولین بار از صید آبزیان پیشی گرفته و به عنوان منبع اصلی تولید حیوانات آبی شناخته شده است. این رشد نشان‌دهنده ظرفیت بالای آبی‌پروری در تأمین نیازهای غذایی جهانی و مقابله با ناامنی غذایی است.

ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) از خانواده آزادماهیان است که از گونه‌های مهم پرورشی در آب‌های شیرین محسوب می‌شود. برای ماهی قزل‌آلا، جیره‌های غذایی با چربی و انرژی نسبتاً بالا دارای حدود ۴۵ تا ۵۰٪ پروتئین و ۱۸ تا ۲۴٪ چربی در نظر گرفته می‌شود (Ghorbani and Yousefi Jourdehi, 2020).

روغن ماهی همچنان منبع اصلی تأمین چربی در جیره‌های آبزیان است، زیرا حاوی اسیدهای چرب غیر اشباع ضروری است که برای رشد و سلامت ماهی حیاتی هستند. با وجود این، به دلیل محدودیت‌های تولید روغن ماهی، صنعت آبی‌پروری به دنبال جایگزین‌های پایدار است (Carr et al. 2023). چربی یک منبع مهم انرژی در خوراک ماهی است و مقدار مناسب چربی می‌تواند استفاده مؤثرتر از پروتئین را بهبود ببخشد. با وجود این، محتوای بیش از حد چربی در خوراک می‌تواند منجر به تجمع غیرطبیعی چربی در ماهی شود که تأثیر منفی بر رشد آن دارد (Zhang et al. 2023). همچنین، خصوصیات 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 آبی‌پروری عرضه آن را در آینده با مشکل مواجه خواهد کرد (Pourhosein Sarmeh, 2022)، استفاده از چربی در حد بهینه موجب بهبود ضریب تبدیل غذایی می‌شود و در نهایت ذخیره پروتئین بدن افزایش می‌یابد (Ebrahimi Dorcheh and Zare, 2011). با وجود این، به دلیل محدود بودن روغن ماهی نمی‌توان آن را به عنوان منبع چربی دائمی در آبی‌پروری در نظر گرفت (Chen et al. 2020). در این میان، در کارخانه‌های روغن-کشی، پودر چربی، یکی از محصولات جانبی استخراجی است

و طی فرایندی از دانه‌های روغنی جداسازی شده و به کمک محلول قلیایی تولید می‌شود (Amirkolaie et al. 2014). در کشور با توجه به وابستگی بخش زیادی از روغن به واردات، ناپایداری روغن ماهی و تداخل روغن‌های گیاهی با مصارف انسانی، پودر چربی توان بالقوه زیادی برای استفاده و تولید دارد. این در حالی است که منابع روغن ماهی به دلیل محدودیت صید و تولید آبزیان و افزایش تقاضا رو به کاهش است (Tacon et al. 2006). پودر چربی از مواد اولیه مانند ضایعات کشتارگاهی (مانند چربی گاو، گوسفند، و مرغ)، چربی‌های لبنی و برخی چربی‌های گیاهی تولید شده و به دلیل عدم همپوشانی با مصارف انسانی به عنوان یک چربی جایگزین می‌توان آن را استفاده کرد. اگرچه، به دلیل وجود اسیدهای چرب اشباع از جمله ۱۸-۱۰٪ اسید اولئیک، ۴۵-۳۸٪ اسید پالمیتیک و ۴۰-۳۸٪ اسید استئاریک، هضم‌پذیری کم و اثرات جانبی آن سلامت و رشد ماهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Adhami et al. 2016; Amirkolaie et al. 2014)، لذا استفاده از مکمل‌های مناسب شاید بتواند امکان جایگزینی این منبع چربی را در جیره افزایش دهد. اسیدهای آمینه به عنوان مولکول‌های زیستی مهم شناخته می‌شوند. آن‌ها همچنین به عنوان مواد خام برای ساخت پروتئین‌ها و واسطه در مسیرهای سوخت و سازی مختلف عمل می‌کنند (Wu, 2010). تورین ($C_2H_7NO_3S$)، یک اسمولیت آلی بوده و در ساختار نمک‌های صفراوی نقش دارد (Ripps and Shen, 2012). مصرف مکمل‌های تورین در ماهی فواید زیادی از جمله افزایش بقا، افزایش وزن، حفظ پروتئین، انرژی، اثرات ضد اکسایشی، کاهش استرس و مقاومت در برابر بیماری‌ها نشان داده است (El-Sayed, 2013; Sundararajan et al. 2014; Sampath et al. 2020). علاوه بر این، تورین می‌تواند به کاهش میزان چربی در بافت‌های مختلف ماهی کمک کند و این اثر در بسیاری از مطالعات علمی گزارش شده است (Li et al. 2016; Koven et al. 2016; Garcia-Organista et al. 2021; Martins et al. 2019). اسید آمینه تورین در ساخت نمک‌های صفراوی در هضم و جذب چربی‌های روده‌ای نقش دارد (Salze and Davis, 2015). بنابراین، می‌تواند به صرفه‌جویی در پروتئین و تقویت عملکرد رشد کمک کند.

کانولا (بدون پودر چربی) و به دیگر جیره‌های حاوی پودر چربی، سطوح اسید آمینه تورین بر اساس تحقیق Huang و همکاران (۲۰۲۱) در چهار سطح صفر (کنترل منفی)، ۵، ۱۰، ۲۰ g/kg افزوده شد. مجموعاً ۵ تیمار و هر کدام در سه تکرار بودند. ترکیب اقلام غذایی تیمارهای مختلف بر اساس جدول ۱ تنظیم شد. برای ساخت جیره‌های آزمایشی، تمامی اقلام جیره تنظیم شده با ترازو توزین، و با هم مخلوط شدند. مقداری آب به اندازه‌ای که مخلوط حالت خمیری بگیرد، اضافه شد. سپس خمیر به دستگاه چرخ گوشت در آزمایشگاه منتقل و از مش ۲/۵ میلی متر برای ساخت غذا استفاده شد. رشته‌های ایجاد شده بر روی سینی‌های خشک‌کن گذاشته و در دمای اتاق به مدت ۴۸ تا ۷۲ ساعت خشک شد. پس از خشک شدن رشته‌های آنها تا به اندازه مورد نظر خرد شد. در نهایت، پلت‌های غذایی در کیسه‌های نایلونی بسته‌بندی، و تا زمان مصرف در فریزر با دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. غذادهی روزانه سه بار در ساعت‌های ۸، ۱۲ و ۱۸ تا حد سیری ظاهری و بر اساس اشتتهای ماهیان موجود در مخازن پرورشی محاسبه شد (Hardy, 2010).

تهیه ماهی و نحوه پرورش

مطالعه حاضر در کارگاه تکثیر و پرورش دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. در این مطالعه، از مخازن پرورشی فایبرگلاس با ظرفیت ۳۰۰ لیتر استفاده شد. مخازن قبل از استفاده به خوبی شسته و ضدعفونی شدند و آب مورد نیاز از منبع چاه تأمین شد و هر مخزن تا سطح ۱۵۰ لیتر آبگیری شد. این تحقیق در فضای سرپوشیده مجهز به دستگاه هوادهی مرکزی، که هوای مناسب و یکنواخت برای هوادهی ماهیان در مخازن فراهم می‌کرد، انجام شد. این پژوهش به مدت ۵۸ روز در شرایط کاملاً کنترل‌شده اجرا شد. در مجموع، ۲۲۵ قطعه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بعد از دو هفته سازگاری با محیط جدید، به تعداد ۱۵ قطعه در هر مخزن با میانگین وزنی 0.3 ± 12 g در قالب طرح کاملاً تصادفی ذخیره‌سازی شدند. آب مخازن به صورت روزانه به طور کامل تعویض می‌شد.

مطالعاتی در باره تأثیر تورین در جیره ماهیان مختلف از جمله Matsunari و همکاران (۲۰۰۸) در ماهی سیم دریایی قرمز (*Pagrus major*)، Salman و همکاران (۲۰۲۲) در بچه ماهیان کپور علفخوار (*Ctenopharyngodon idella*)، Ferreira و همکاران (۲۰۱۴) در ماهی آرواره چاقویی راه‌راه (*Oplegnathus fasciatus*)، Zhang و همکاران (۲۰۱۸) در ماهی کپور سیاه جوان (*Mylopharyngodon piceus*)، Moura و همکاران (۲۰۱۸) در سایه ماهی (*Argyrosomus regius*)، Shen و همکاران (۲۰۱۹) در ماهی هامور (*Epinephelus coioides*)، de Espe و همکاران (۲۰۱۲) در ماهی آزاد اقیانوس اطلس (*Salmo salar*)، Bahrekazemi و Eslami و همکاران (۲۰۲۲) در فیل ماهی (*Huso huso*)، Nguyen و همکاران (۲۰۲۱) در پومیانو (*Trachinotus blochii*) انجام شده است. همچنین، پژوهشگرانی همچون Peter و همکاران (۲۰۲۲) اثر تورین بر جیره‌های غذایی حاوی چربی بالا در ماهی پنگوسی (*Pangasianodon hypophthalmus*) را بررسی کردند. در مطالعه Wang و همکاران (۲۰۲۲) اثر ۱٪ تورین بر دو سطح چربی ۱۰ و ۱۵٪ باعث بهبود رشد و افزایش هضم چربی شده بود. مطالعه حاضر، برای بررسی کاهش اثرات منفی استفاده از پودر چربی به عنوان جایگزین روغن ماهی و ارزیابی تأثیر اسید آمینه تورین بر عملکرد رشد، ترکیب بدن و هضم‌پذیری چربی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌ی حاوی پودر چربی طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

تهیه جیره و غذادهی

در مطالعه حاضر، از پودر چربی حدود ۷۰٪ به عنوان منبع چربی استفاده، و مابقی از روغن ماهی و روغن کانولا تأمین شد. در این مطالعه پودر چربی خالص نیکو رشد پایا یک مکمل بر پایه روغن پالم با چربی ۹۹/۵٪ از شرکت کیمیا رشد صنعت (البرز، ایران) و تورین (سیگما) با درصد خلوص ۹۹٪ تهیه شد. میزان پودر چربی بر اساس تحقیق انجام شده قبلی انتخاب شد (Adhami and Keramat, 2021). به این ترتیب، پنج جیره غذایی شامل کنترل مثبت حاوی روغن ماهی و

سنجش اجزاء، جیره غذایی و ترکیب بدن ماهی

در انتهای آزمایش، پس از ۲۴ ساعت قطع غذادهی، از هر مخزن به تعداد سه ماهی نمونه‌برداری شد. ماهیان با پودر گل میخک (۵۰ تا ۷۰ mg/L) بیهوش شدند (Bahrekazemi et al. 2020). نمونه‌ها (خوراک و کل بدن ماهی) به قطعات کوچک‌تر خرد شدند. مقدار تقریبی ترکیب بدن و جیره (جدول ۲) شامل پروتئین، رطوبت، چربی کل و خاکستر با روش AOAC (۲۰۰۵) تعیین شد.

سنجش خاکستر با روش کوره الکتریکی با دمای °C ۵۵۰-۵۰۰ تا به دست آمدن رنگ خاکستر به رنگ روشن انجام شد. تعیین رطوبت به روش خشک کردن در آون در دمای °C ۱۰۵ به مدت ۲۴ ساعت، سنجش چربی کل به روش سوکسله با حلال اتر، سنجش پروتئین به روش کلدال با استفاده از دستگاه کلدال (مدل تقطیر K9840 شرکت Hanon، مدل V40 شرکت Bakhshi 5) انجام شد.

جدول ۱ ترکیب جیره‌های آزمایشی

Table 1 Composition of experimental diets

Ingredients (g/kg)	Treatments (g/kg)				
	Positive Control	Negative Control	5	10	20
Corn powder	70	70	70	70	70
Wheat gluten	120	120	120	120	120
Fish meal ^a	380	380	380	380	380
Wheat flour	90	90	90	90	90
Soybean meal ^a	150	150	150	150	150
Fish oil	55	17	17	17	17
Canola oil	55	17	17	17	17
Fat powder ^b	0	76	76	76	76
Filler ^c	20	20	15	10	0
Mineral supplement ^d	20	20	20	20	20
Vitamin supplement ^e	20	20	20	20	20
Binder ^c	20	20	20	20	20
Taurine ^f	0	0	5	10	20

^a Composition of ingredients [fish meal (58% crude protein, 9% crude lipid), Soybean meal (65% crude protein, 0.5% crude lipid)]

^b Purity percentage 99%, Kimia Roshd Sanat Alborz Company (Alborz, Iran)

^c Filler (Zeolite), Binder (Starch): Mazandaran Animal and Aquatic Feed Company (Sari, Iran)

^d A mineral supplement consisting of 2600 mg of manganese, 600 mg of copper, 6000 mg of iron, 4600 mg of zinc, 50 mg of selenium, 100 mg of iodine, 50 mg of cobalt, and 100000 mg of choline chloride.

^e A vitamin supplement consisting of 1200000 IU of vitamin A, 400000 IU of vitamin D₃, 3000 IU of vitamin E, 5400 mg of vitamin C, 200 mg of vitamin B₁, 3360 mg of vitamin B₂, 7200 mg of vitamin B₃, 9000 mg of vitamin B₅, 2400 mg of vitamin B₆, 600 mg of vitamin B₉, and 4 mg of vitamin B₁₂.

^f SIGMA (Sigma Aldrich)

جدول ۲ آنالیز تقریبی جیره (درصد وزن خشک) حاوی سطوح مختلف تورین

Table 2 Diet approximate composition (% dry weight) containing different levels of taurine

Proximate analysis	Treatments (g/kg)				
	Positive Control	Negative Control	5	10	20
Fat	23.80	24.03	24.01	23.82	22.77
Protein	40.77	40.87	40.95	40.96	41.12
Ash	13.28	14.14	13.57	13.24	12.21
Moisture	8.38	8.74	9.56	9.74	9.56

تعیین شاخص‌های رشد و تغذیه‌ای

جهت زیست‌سنجی، در ابتدا و انتهای دوره پرورش، ماهیان هر مخزن بعد از بیهوش شدن با ترازوی دیجیتال توزین شده و درازای آنها با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد.

وزن اولیه (g) - وزن نهایی (g) = BWI (g)

$100 \times \left[\frac{\text{وزن اولیه (g)}}{\text{وزن اولیه (g) - وزن نهایی (g)}} \right] = \text{PBWI (\%)}$

$\text{طول دوره‌ی آزمایش} \div [\ln(\text{وزن اولیه (g)}) - \ln(\text{وزن نهایی (g)})] \times 100 = \text{SGR (\%/day)}$

$K = \left[\frac{\text{درازای نهایی ماهی (cm)}}{\text{وزن نهایی ماهی (g)}} \right] \times 100$

$100 \times \left[\frac{\text{میزان افزایش وزن (g)}}{\text{میزان غذای مصرف شده (g)}} \right] = \text{FCR}$

$100 \times \left[\frac{\text{میزان پروتئین مصرف شده (g)}}{\text{میزان افزایش وزن (g)}} \right] = \text{PER}$

$\text{تعداد اولیه ماهیان} \div [100 \times \text{تعداد نهایی ماهیان در پایان آزمایش}] = \text{Survival rate}$

تعیین قابلیت هضم

در پایان آزمایش، برای تعیین هضم‌پذیری، تغذیه ماهیان به مدت دو هفته با جیره‌های غذایی محتوی ۰/۶ g/kg اکسید کرومیک انجام شد. برای سازگاری بدن ماهی به غذای مارک‌دار ابتدا دو روز ماهیان با غذای مارک‌دار تغذیه شدند. سپس، غذادهی روزانه برای جمع‌آوری مدفوع انجام شد. در

روز بعد نیم ساعت قبل از غذادهی، مدفوع ماهی به روش سیفون کردن از کف مخازن جمع‌آوری شد. سپس مدفوع جمع‌آوری شده در آون با دمای ۶۰ °C خشک، و بلافاصله در دمای ۱۸ °C - برای انجام آزمایش‌های بعدی منجمد شد. روش غیر مستقیم تعیین هضم‌پذیری با استفاده از مارکر اکسیدکروم بوده که با کمک رابطه زیر انجام شد (Austreng, 1978):

$$100 \times \left[1 - \frac{\text{درصد مارکر غذا} \times \text{درصد مواد مغذی در مدفوع}}{\text{درصد مارکر مدفوع} \times \text{درصد مواد مغذی در غذا}} \right] = \text{ضریب هضم‌پذیری مواد مغذی (ADC)}$$

سنجش آماری

این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار و سه تکرار انجام شد. داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS 19.0 تجزیه و تحلیل شد. ابتدا از آزمون شاپیروویلک برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. برای تعیین تأثیر مکمل تورین بر شاخص‌های مورد آزمایش، از آنالیز واریانس یکطرفه (One-Way ANOVA) استفاده شد و مقایسه بین تیمارها با استفاده از آزمون دانکن Duncan post-hoc در سطح معنی‌داری $P < 0.05$ انجام شد.

نتایج

نتایج حاصل از بررسی فراسنجه‌های رشد نشان داد که جایگزینی تورین ۲۰ g/kg حاوی پودر چربی منجر به افزایش معنی‌داری در وزن نهایی، درصد افزایش وزن و نرخ رشد ویژه در مقایسه با جیره کنترل منفی شد ($P < 0.05$) و با جیره کنترل مثبت حاوی روغن ماهی تفاوت معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$). ضریب تبدیل غذایی، غذای مصرف شده، کارایی پروتئین، فاکتور وضعیت و بازماندگی ماهیان تحت تأثیر جیره‌های آزمایشی قرار نگرفتند ($P > 0.05$).

جدول ۳ فراسنجه‌های رشد و مصرف غذایی ماهیان قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) تغذیه شده با سطوح مختلف تورین پس از ۵۸ روز

Table 3 Growth parameters and feed consumption of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed with different levels of taurine for 58 days

Growth parameters	Treatments (g/kg)				
	Positive Control	Negative Control	5	10	20
Initial Weight (g)	12.42 ± 0.10	12.29 ± 0.39	12.53 ± 0.13	12.46 ± 0.40	12.27 ± 0.45
Final Weight (g)	43.45 ± 3.00 ^{ab}	41.50 ± 1.37 ^b	44.15 ± 3.17 ^{ab}	43.33 ± 1.01 ^{ab}	46.91 ± 3.05 ^a
Body Weight Increasing Percentage (%)	249.69 ± 21.32 ^{ab}	237.94 ± 16.69 ^b	252.45 ± 32 ^{ab}	247.9 ± 13.8 ^{ab}	282.03 ± 12.25 ^a
Specific Growth Rate (%/day)	2.15 ± 0.1 ^{ab}	2.09 ± 0.08 ^b	2.16 ± 0.15 ^{ab}	2.14 ± 0.06 ^{ab}	2.30 ± 0.11 ^a
Feed Conversion Ratio	1.34 ± 0.04	1.34 ± 0.15	1.39 ± 0.11	1.27 ± 0.13	1.24 ± 0.07
Feed Consumed (g/fish)	40.42 ± 3.27	40 ± 5.03	41.91 ± 2.91	42.16 ± 5.99	43.86 ± 6.06
Protein Efficiency	1.92 ± 0.75	1.9 ± 0.23	1.86 ± 0.15	2 ± 0.22	1.95 ± 0.11
Condition Factor	1.00 ± 0.1	1.09 ± 0.11	0.89 ± 0.07	0.996 ± 0.12	0.995 ± 0.07
Survival Rate (%)	100	100	100	100	100

The numbers (mean ± standard deviation) in a row with different letters have a significant difference (P<0.05).

جدول ۴ سنجش بدن ماهیان قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) تغذیه شده با سطوح مختلف تورین پس از ۵۸ روز

Table 4 Analysis of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) body fed with different levels of taurine after 58 days

Analysis of body (% dry weight)	Treatments (g/kg)				
	Positive Control	Negative Control	5	10	20
Fat	20.18 ± 0.17 ^a	16.85 ± 0.34 ^d	17.67 ± 0.77 ^c	18.98 ± 0.35 ^b	16.18 ± 0.65 ^c
Protein	24.15 ± 0.6 ^a	23.79 ± 0.10 ^c	23.64 ± 0.17 ^c	23.91 ± 0.02 ^b	24.23 ± 0.13 ^a
Ash	12.22 ± 0.38 ^a	11.71 ± 0.24 ^b	11.72 ± 0.29 ^{ab}	11.7 ± 0.11 ^{ab}	11.29 ± 0.59 ^{ab}
Moisture	72.88 ± 0.20	77.82 ± 0.56	73.09 ± 0.12	72.92 ± 1.04	73.16 ± 0.36

The numbers (mean ± standard deviation) in a row with different letters have a significant difference (P<0.05).

جدول ۵ هضم‌پذیری مواد غذایی جیره ماهیان قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) تغذیه شده با سطوح مختلف تورین پس از ۵۸ روز

Table 5 Nutrient digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed with different levels of taurine after 58 days

Nutrient digestibility (%)	Treatments (g/kg)				
	Positive Control	Negative Control	5	10	20
Fat	88.96 ± 0.43 ^a	75.45 ± 1.69 ^b	83.65 ± 1.41 ^{ab}	82.52 ± 1.23 ^{ab}	83.37 ± 0.96 ^{ab}
Protein	90.87 ± 0.69 ^{bc}	89.53 ± 0.31 ^c	91.37 ± 0.7 ^{bc}	92.54 ± 0.19 ^b	94.08 ± 0.17 ^a
Ash	49.36 ± 1.06 ^{ab}	45.82 ± 2.28 ^b	50.7 ± 3.03 ^{ab}	51.23 ± 0.9 ^{ab}	59.5 ± 0.88 ^a

The numbers (mean ± standard deviation) in a row with different letters have a significant difference (P<0.05).

اسیدهای آمینه بهبود یافت، سنتز پروتئین و لیپید تقویت شد و در نهایت، منجر به تسریع رشد ماهی شد (Shen et al. 2019). تورین باعث تسهیل فعال شدن اسیدهای آمینه و بهبود عملکرد رشد حیوانات آبی می‌شود. تحقیق حاضر با نتایج این تحقیقات مشابه بود.

علاوه بر این، افزودن ۲۰ g/kg اسید آمینه تورین به جیره حاوی پودر چربی منجر به افزایش چربی و پروتئین بدن شد. اگرچه، چربی در بدن ماهیان تیمار کنترل مثبت بالاتر از دیگر تیمارها بود، ولی به نظر می‌رسد پروتئین بدن تحت تأثیر افزودن ۲۰ g/kg تورین به طور کامل جبران شد. تورین در حفظ پروتئین و تولید انرژی نقش دارد (Sampath et al. 2020). همچنین، جیره‌های غذایی حاوی تورین باعث افزایش برخی متابولیت‌های مرتبط با گلیسروفسفولیپید می‌شود که کاهش تجزیه پروتئین‌ها را به همراه دارد (Shen et al. 2019). افزایش چربی بدن می‌تواند نشان‌دهنده بهبود هضم‌پذیری پودر چربی تحت تأثیر تورین باشد که در بررسی هضم‌پذیری در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد. همچنین، تورین با اتصال به اسیدهای صفراوی، نقش مهمی در هضم چربی‌ها ایفا می‌کند. پس از اتصال تورین به اسیدهای صفراوی، نمک‌های صفراوی تشکیل و در کیسه صفرا ذخیره می‌شود تا در مواقع لزوم به روده راهسازی شوند. کمبود اسیدهای صفراوی منجر به کاهش هضم چربی‌ها می‌شود (Kim et al. 2008). بدین ترتیب چربی جیره که باید صرف انرژی در بدن شود، از طریق مدفوع دفع می‌شود. لذا کمبود تورین در جیره ممکن است منجر به کاهش هضم چربی و افزایش چربی بدن شود، به طوری که افزایش هضم چربی تا حد معین ممکن است انرژی لازم برای فرآیندهای سوخت و سازی را فراهم کرده و سبب صرفه‌جویی در مصرف پروتئین، افزایش عضله و در نهایت افزایش نسبت پروتئین به چربی بدن شود (Goto et al. 2001; Yun et al. 2012). مطالعه Peter و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که با افزودن سطوح ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ g/kg تورین به جیره ماهی پنگوسی محتوای چربی لاشه بدن به طور قابل توجهی کاهش یافت. Zhang و همکاران (۲۰۱۸) در ماهی کپور سیاه جوان گزارش کردند که محتوای چربی خام در کل بدن در تیمارهای حاوی تورین (۰/۵، ۱، ۲ و ۴ g/kg) به طور قابل توجهی

نتایج حاصل از بررسی ترکیب بدن طبق جدول ۴ نشان داد افزودن ۲۰ g/kg اسید آمینه تورین به جیره حاوی پودر چربی منجر به افزایش پروتئین و چربی در مقایسه با کنترل منفی شد ($P < 0.05$). اگرچه، بالاترین مقدار چربی در تیمار کنترل مثبت مشاهده شد ($P < 0.05$)، اما با تیمار حاوی ۲۰ g/kg تورین تفاوت معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$). مقدار خاکستر در جیره کنترل مثبت به طور معنی‌دار بالاتر از جیره کنترل منفی بود ($P < 0.05$)، درحالی‌که با دیگر تیمارها تفاوت معنی‌دار نداشت ($P > 0.05$). در مقابل، رطوبت اختلاف معنی‌داری را بین تیمارهای آزمایشی نشان نداد ($P > 0.05$). طبق نتایج حاصل از بررسی هضم‌پذیری مواد غذایی در جدول ۵، افزودن ۱۰ و ۲۰ g/kg تورین به جیره حاوی پودر چربی منجر به افزایش معنی‌دار در هضم‌پذیری پروتئین شد و این مقادیر از کنترل مثبت نیز بالاتر بود ($P < 0.05$). مقدار هضم‌پذیری چربی با جایگزینی پودر چربی کاهش یافت ($P < 0.05$)، اما با افزودن تورین جبران شد ($P > 0.05$). بیشترین مقدار خاکستر در جیره حاوی تورین ۲۰ g/kg و کمترین آن مربوط به جیره کنترل منفی بود ($P < 0.05$).

بحث

طبق مطالعه حاضر، عملکرد رشد ماهیان با افزودن ۲۰ g/kg تورین به جیره حاوی پودر چربی افزایش یافت. این بدان معنا است که سطوح یکسانی از رشد را در مقایسه با جیره حاوی روغن ماهی نشان دادند. احتمالاً تورین به دلیل بهبود هضم چربی و استفاده بهتر از انرژی و چربی، منجر به صرفه‌جویی در مصرف پروتئین شده و افزایش رشد را در پی داشته است. Salman و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که افزودن تورین (۱۰، ۲۰ و ۳۰ g/kg) سبب بهبود وزن بچه ماهیان کپور علفخوار شد. Ferreira و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که استفاده از مکمل تورین بر عملکرد رشد ماهی Rock Bream اثر گذار است و ماهیان تغذیه شده با جیره حاوی تورین (۵، ۱۰ و ۱۵ g/kg) به طور قابل توجهی افزایش وزن و کارایی پروتئین را نشان دادند. در ماهی هامور تغذیه شده با جیره‌های حاوی صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ g/kg مکمل تورین، سوخت و ساز ماهی به طور قابل توجهی تحت تأثیر مکمل تورین قرار گرفت، استفاده از انرژی و جذب

به طور معنی‌داری کاهش یافت، اما با افزودن تورین جبران شد. روغن ماهی در جیره به دلیل داشتن تعداد زیاد اسیدهای چرب غیر اشباع با پیوندهای مضاعف هضم‌پذیری بیشتر نسبت به پودر چربی دارد. کاهش هضم‌پذیری در کنترل منفی می‌تواند به دلیل ناکافی بودن نمک‌های صفراوی باشد که با افزودن تورین جبران شد. نمک‌های صفراوی محدودکننده هضم و جذب چربی‌ها مخصوصاً در چربی‌های اشباع بلندزنجیره هستند (Ketels, 1994). مطابق تحقیقات پیشین، تأثیر تورین بر سوخت و ساز لیپیدها به خوبی شناخته شده است (Espe, Ruohonen, and El-Mowafi, 2012; El-Sayed, 2013). اسیدهای صفراوی در بدن توسط اکسایش کلسترول تحت تأثیر آنزیم کلسترول ۱۷-آلفا هیدروکسیلاز تولید می‌شوند و تورین نقش تحریک‌کنندگی بر این آنزیم دارد (Maita et al. 2006). برای مثال، در ماهی سیم دریایی قرمز، افزودن ۵ g/kg مکمل اسید تاراکولیک برای بازیابی صفرا ناکافی بود، درحالی‌که اضافه کردن تورین با مقادیر ۱، ۳، ۵ و ۷ g/kg به جیره این کمپوها را برطرف کرد (Matsunari et al. 2008). Nguyen و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که افزودن ۱۵ g/kg تورین به جیره مبتنی بر پروتئین سویای هضم شده در پومپانو منجر به افزایش سطح اسیدهای صفراوی شد که به طور مؤثر هضم لیپید را بهبود بخشید. تحقیقات نشان داده که در جیره غذایی برخی ماهیان استخوانی افزودن تورین (۱، ۲، ۵ و ۱۵ g/kg) موجب افزایش مقدار املاح صفراوی می‌شود (Kim et al. 2007, 2014). Zhang و همکاران (۲۰۱۸) رابطه مستقیم تورین جیره با فعالیت آنزیم‌های پروتئاز در کپور سیاه را گزارش کردند که منجر به هضم-پذیری پروتئین شد.

نتیجه‌گیری نهایی

به طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که افزودن اسید آمینه تورین توانسته هضم‌پذیری پودر چربی را در جیره ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به تیمار حاوی روغن ماهی برساند، در نتیجه تورین جذب چربی را افزایش داده و در سطح ۲۰ g/kg تورین با بهبود هضم‌پذیری پروتئین سبب بهبود رشد به همراه افزایش پروتئین بدن شده است.

کاهش یافت. همچنین در تحقیق de Moura و همکاران (۲۰۱۸) هیچ تأثیری بر چربی کل بدن ماهی *A. regius* تغذیه شده با جیره حاوی تورین (۱۰ g/kg) گزارش نشد. نتایج مطالعه حاضر با تحقیقات پیشین مشابه است. این نتایج متناقض با تحقیق Moura و همکاران (۲۰۱۸) و احتمالاً به دلیل اختلاف در گونه ماهی است. در مطالعات قبلی، تأثیر تورین در افزایش محتوای پروتئین بدن در برخی از گونه‌ها مانند توربوت (*Scophthalmus maximus*) و دنتکس معمولی (*Dentex dentex*) گزارش شده است (Chatzifotis et al. 2008; Qi et al. 2012).

تورین یک اسید آمینه ضروری برای رشد ماهی است و به‌طور تعاملی با انسولین و یا مواد شبه‌انسولین عمل می‌کند تا مصرف گلوکز و جذب اسیدهای آمینه در یاخته‌ها را بیشتر کند (Michelato et al. 2018). افزایش تورین ممکن است گلیکولیز و گلوکونئوز را تسریع کند تا نیازهای انرژی را در بدن ماهی برآورده سازد (Salze et al. 2016). افزایش پروتئین خام و کاهش چربی خام در بدن ماهی هامور به فرآیند هضم چربی و سنتز پروتئین در بدن ارتباط داده شد (Shen et al. 2019). در تحقیق Espe و همکاران (۲۰۱۲) در ماهی آزاد اقیانوس اطلس تغذیه شده با جیره‌های مبتنی بر پروتئین گیاهی (۵۱/۶ g/kg پودر ماهی) افزودن تورین سبب کاهش محتوای چربی در کل بدن ماهی بدون افزایش تجمع پروتئین شد و در نتیجه، نسبت چربی به پروتئین بدن کاهش و اسید آمینه‌های آزاد کبد و ماهیچه افزایش یافتند. در تحقیق Bahrekazemi و Eslami (۲۰۲۲) با افزودن تورین در جیره، درصد چربی و خاکستر بدن در فیل ماهی کاهش یافته بود، در این تحقیق نیز به طور مشابه خاکستر جیره‌های حاوی پودر چربی نسبت به جیره کنترل مثبت کاهش یافت و با افزودن تورین به پودر چربی خاکستر بدن مشابه با کنترل مثبت شد. این امر می‌تواند به دنبال افزایش هضم‌پذیری خاکستر اتفاق افتاده باشد و در نتایج هضم‌پذیری در تحقیق حاضر نیز مشاهده شد.

طبق نتایج تحقیق کنونی هضم‌پذیری پروتئین در جیره حاوی ۱۰ و ۲۰ g/kg تورین هضم خاکستر در تیمار تورین ۲۰ g/kg نسبت به تیمار کنترل منفی افزایش یافت. از طرفی، زمانی که روغن ماهی با پودر چربی جایگزین شد، هضم‌پذیری چربی

ارتباط با مواد اولیه جیره ماهی تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از مسئول محترم شرکت کیمیا رشد صنعت برای ارسال پودر چربی بی‌نهایت سپاس‌گزاری می‌شود.

منابع

- Adhami, B., Karamat, A., Orji, H., Kazemifard, M., Mahjoob, S. 2021. Effect of lysophospholipid on growth performance, blood parameters, liver enzymes, and lysozyme activity of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* fed a diet containing fat powder. Fisheries Science and Technology 10: 272-285. DOI: 20.1001.1.23225513.1400.10.3.4.8.
- Amirkolaie, A.K., Shahkolaie, M.D., Karimzadeh, S., Khalesi, M. 2014. The potential of soya oil industry products as oil alternatives in rainbow trout *Onchorhyncus mykiss* diet. Aquaculture International 22: 1093-1103. DOI: 10.1007/s10499-013-9730-x.
- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.
- Austreng, E. 1978. Digestibility determination in fish using chromic oxide marking and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract. Aquaculture 13: 265-272. DOI: 10.1016/0044-8486(78)90008-X.
- Carr, I., Glencross, B., Santigosa, E., 2023. The importance of essential fatty acids and their ratios in aquafeeds to enhance salmonid production, welfare, and human health. Frontiers in Animal Science 4: 1147081. DOI: 10.3389/fanim.2023.1147081.
- Chatzifotis, S., Polemitou, I., Divanach, P., Antonopoulou, E. 2008. Effect of dietary taurine supplementation on growth performance and bile salt activated lipase activity of common dentex, *Dentex dentex*, fed a fish meal/soy protein concentrate-

تشکر و قدردانی

- از گروه شیلات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به سبب در اختیار قراردادن امکانات آزمایشگاهی و کارگاهی برای انجام این دوره آزمایشی و از مدیریت محترم شرکت خوراک دام و آبزیان مازندران به سبب همکاری صمیمانه در based diet. Aquaculture 275: 201-208. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2007.12.013.
- Chen, Y., Sun, Z., Liang, Z., Xie, Y., Su, J., Luo, Q., Zhu, J., Liu, Q., Han, T., Wang, A. 2020. Effects of dietary fish oil replacement by soybean oil and L-carnitine supplementation on growth performance, fatty acid composition, lipid metabolism and liver health of juvenile largemouth bass, *Micropterus salmoides*. Aquaculture 516: 734596. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.734596.
- Cotou, E., Miliou, H., Chatzoglou, E., Schoina, E., Politakis, N., Kogiannou, D., Fountoulaki, E., Androni, A., Konstantinopoulou, A., Assimakopoulou, G., Nathanailides, C. 2024. Growth performance and environmental quality indices and biomarkers in a co-culture of the European sea bass with filter and deposit feeders: a case study of an IMTA system. Fishes 9: 69. DOI: 10.3390/fishes9020069.
- De Moura, L.B., Diógenes, A.F., Campelo, D.A., de Almeida, F.L., Pousão-Ferreira, P.M., Furuya, W.M., Oliva-Teles, A., Peres, H. 2018. Taurine and methionine supplementation as a nutritional strategy for growth promotion of meagre *Argyrosomus regius* fed high plant protein diets. Aquaculture 497: 389-395. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2018.07.038.
- Ebrahimi Dorcheh, E., Zare, P. 2011. Effects of dietary lipid level on growth, feed utilization and survival of juvenile of Beluga *Huso huso*. Journal of Natural Environmental. Iranian Journal of Natural Resources 64: 93-106.
- El-Sayed, A.F.M. 2013. Is dietary taurine supplementation beneficial for farmed fish

- and shrimp? A comprehensive review. *Reviews in Aquaculture* 6: 241-255. DOI: 10.1111/raq.12042.
- Espe, M., Ruohonen, K., El-Mowafi, A. 2012. Effect of taurine supplementation on the metabolism and body lipid-to-protein ratio in juvenile Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture Research* 43: 349-360. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.02837.x.
- Eslami, M., Bahrekazemi, M. 2022. Effect of different dietary-aurine on growth, feeding performance, digestive enzymes and immunity of beluga, *Huso huso*, under the low water temperature. *Journal of Fisheries* 75: 49-62. DOI: 10.22059/jfisheries.2021.329862.1279.
- FAO. 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in Action. 1st ed. FAO. Rome, Italy.
- Ferreira, F.M., Yun, H., Park, Y., Park, G., Choi, S., Bai, S.C. 2014. Effects of taurine supplementation on the growth performance of juvenile rock bream *Oplegnathus fasciatus*. *Fisheries and Aquatic Science* 17: 255-261. DOI: 10.5657/FAS.2014.0255.
- Garcia-Organista, A.A., Mata-Sotres, J.A., Viana, M.T., Rombenso, A.N. 2019. The effects of high dietary methionine and taurine are not equal in terms of growth and lipid metabolism of juvenile California yellowtail *Seriola dorsalis*. *Aquaculture* 512: 734304. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.734304.
- Ghorbani, R., Yousefi Jourdehi, A. 2020. Comparison of nutritional requirements (crude protein, crude fat and carbohydrates) of sturgeon and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* in rearing conditions. *Sturgeon* 2: 1-7.
- Goto, T., Takagi, S., Ichiki, T., Sakai, T., Endo, M., Yoshida, T., Ukawa, M., Murata, H. 2001. Studies on the green liver in cultured red sea bream fed low level and non-fish meal diets: Relationship between hepatic taurine and biliverdin levels. *Fisheries Sciences* 67: 58-63. DOI: 10.1046/j.1444-2906.2001.00199.x.
- Hardy, R.W. 2010. Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture Research* 41: 770-776. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2009.02349.x.
- Huang, M., Yang, X., Zhou, Y., Ge, J., Davis, D.A., Dong, Y., Gao, Q., Dong, S. 2021. Growth, serum biochemical parameters, salinity tolerance and antioxidant enzyme activity of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* in response to dietary taurine levels. *Marine Life Science and Technology* 1-14. DOI: 10.1007/s42995-020-00088-2
- Ketels, E. 1994. The metabolizable energy values of fats in poultry diets. Master of Science, Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences, University of Gent, Belgium.
- Kim, S.K., Matsunari, H., Takeuchi, T., Yokoyama, M., Murata, Y., Ishihara, K. 2007. Effect of different dietary taurine levels on the conjugated bile acid composition and growth performance of juvenile and fingerling Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture* 273: 595-601. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2007.10.031.
- Kim, S.K., Matsunari, H., Takeuchi, T., Yokoyama, M., Furuita, H., Murata, Y., Goto, T. 2008. Comparison of taurine biosynthesis ability between juveniles of Japanese flounder and common carp. *Amino Acids* 35: 161-168. DOI: 10.1007/s00726-007-0600-6.
- Kim, S.K., Kim, K.G., Kim, K.D., Kim, K.W., Son, M.H., Rust, M., Johnson, R. 2014. Effect of dietary taurine levels on the conjugated bile acid composition and growth of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf). *Aquaculture Research* 46: 2768-2775. DOI: 10.1111/are.12431.

- Koven, W., Peduel, A., Gada, M., Nixon, O., Ucko, M. 2016. Taurine improves the performance of white grouper juveniles *Epinephelus aeneus* fed a reduced fish meal diet. *Aquaculture* 460: 8-14. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2016.04.004.
- Li, M., Lai, H., Li, Q., Gong, S., Wang, R. 2016. Effects of dietary taurine on growth, immunity and hyperammonemia in juvenile yellow catfish, *Pelteobagrus fulvidraco* fed all-plant protein diets. *Aquaculture* 450: 349-355. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.08.013.
- Maita, M., Maekawa, J., Satoh, K., Futami, K., Satoh, S. 2006. Disease resistance and hypocholesterolemia in yellowtail *Seriola quinqueradiata* fed a non-fishmeal diet. *Fisheries Sciences* 72: 513-519. DOI: 10.1111/j.1444-2906.2006.01179.x.
- Matsunari, H., Yamamoto, T., Kim, S.K., Goto, T., Takeuchi, T. 2008. Optimum dietary taurine level in casein-based diet for juvenile red sea bream *Pagrus major*. *Fisheries Science* 74: 347-353. DOI: 10.1111/j.1444-2906.2008.01532.x.
- Martins, N., Diógenes, A.F., Magalhães, R., Matas, I., Oliva-Teles, A., Peres, H. 2021. Dietary taurine supplementation affects lipid metabolism and improves the oxidative status of European seabass *Dicentrarchus labrax* juveniles. *Aquaculture* 531: 735820. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735820.
- Michelato, M., Furuya, W.M., Gatlin, D.M. 2018. Metabolic responses of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* to methionine and taurine supplementation. *Aquaculture* 485: 66-72. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.11.003.
- Nguyen, H.P., Van Do, T. 2021. Digested soybean protein and taurine influence bile acid level, lipase activity, lipid digestibility, and growth performance of pompano *Trachinotus blochii*. *Fish Physiology and Biochemistry* 47: 1199-1209. DOI: 10.1007/s10695-021-00972-3.
- Peter, N., Pradhan, C., Dileep, N., Musharraf, M., Thazhakot Vasunambisan, S. 2022. Dietary taurine improved growth performance, nutrient utilization, and antioxidant enzyme activities in pangasius *Pangasianodon hypophthalmus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 53: 106-121. DOI: 10.1111/jwas.12778.
- Peter, N., Pradhan, C., Dileep, N., Vineetha, V.P., Das, S., Mohanta, K.N. 2025. Effect of dietary taurine along with the different lipid levels on growth, antioxidant, innate immune responses, digestive, metabolic enzyme activity and health status of pangasius *Pangasianodon hypophthalmus*. *Aquaculture Science and Management* 2: 1-10. DOI: 10.1186/s44365-025-00014-6.
- Pourhosein Sarmeh, S. 2022. Application of various plant-based fat sources in sturgeon nutrition. *Aquatic Animals Nutrition* 8: 39-52. DOI: 10.22124/janb.2023.23773.1184.
- Qi, G., Ai, Q., Mai, K., Xu, W., Liufu, Z., Yun, B., Zhou, H. 2012. Effects of dietary taurine supplementation to a casein-based diet on growth performance and taurine distribution in two sizes of juvenile turbot *Scophthalmus maximus* L. *Aquaculture* 358-359: 122-128. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2012.06.018.
- Ripps, H., Shen, W. 2012. Taurine: A very essential amino acid. *Molecular Vision* 18: 2673-2686.
- Salman, A.S., Sultan, F.A. 2022. Effect of the amino acid taurine on some growth parameters of grass carp *Ctenopharyngodon idella* fingerlings. *Basrah Journal of Agricultural Sciences* 35: 291-301. DOI: 10.37077/25200860.2022.35.2.22.
- Salze, G.P., Davis, D.A. 2015. Taurine: a critical nutrient for future fish feeds. *Aquaculture* 437: 215-229. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2014.12.006

- Salze, G.P., Spangler, E., Cobine, P.A., Rhodes, M., Davis, D.A. 2016. Investigation of biomarkers of early taurine deficiency in Florida pompano *Trachinotus carolinus*. *Aquaculture* 451: 254-265. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.09.019.
- Sampath, W.W.H.A., Rathnayake, R.M.D.S., Yang, M., Zhang, W., Mai, K. 2020. Roles of dietary taurine in fish nutrition. *Marine Life Science and Technology* 2: 360-375. DOI: 10.1007/s42995-020-00051-1.
- Shen, G., Wang, S., Dong, J., Feng, J., Xu, J., Xia, F., Wang, X., Ye, J. 2019. Metabolic effect of dietary taurine supplementation on grouper *Epinephelus coioides*: a 1H-NMR-based metabolomics study. *Molecules* 24: 2253. DOI: 10.3390/molecules24122253.
- Sundararajan, R., Bharampuram, A., Koduru, R. 2014. A review on phytoconstituents for nephroprotective activity. *Pharmacophore* 5: 160-182.
- Tacon, A.G.J., Hasan, M.R., Subasinghe, R.P. 2006. Use of fishery resources as feed inputs for aquaculture development: trends and policy implications. *FAO Fisheries Circular*. No.1018. Rome, FAO. 99p.
- Wang, X., Bai, F., Niu, X., Sun, Y., Ye, J. 2022. The lipid-lowering effect of dietary taurine in orange-spotted groupers *Epinephelus coioides* involves both bile acids and lipid metabolism. *Frontiers in Marine Science* 9: 859428. DOI: 10.3389/fmars.2022.859428.
- Wu, G. 2010. Functional amino acids in growth, reproduction, and health. *Advances in Nutrition* 1: 31-37. DOI: 10.3945/an.110.1008.
- Yun, B., Ai, Q., Mai, K., Xu, W., Qi, G., Luo, Y. 2012. Synergistic effects of dietary cholesterol and taurine on growth performance and cholesterol metabolism in juvenile turbot *Scophthalmus maximus* L. fed high plant protein diets. *Aquaculture* 324: 85-91. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.10.012.
- Zhang, J., Hu, Y., Ai, Q., Mao, P., Tian, Q., Zhong, L., Xiao, T., Chu, W. 2018. Effect of dietary taurine supplementation on growth performance, digestive enzyme activities and antioxidant status of juvenile black carp *Mylopharyngodon piceus* fed with low fish meal diet. *Aquaculture Research* 49: 3187-3195. DOI: 10.1111/are.13783.
- Zhang, Y., Guo, F., Yang, X., Liu, Y., Bao, Y., Wang, Z., Hu, Z., Zhou, Q. 2023. Insights into the mechanism of growth and fat deposition by feeding different levels of lipid provided by transcriptome analysis of swamp eel (*Monopterus albus*, Zuiew 1793) liver. *Frontiers in Immunology* 14: 1118198. DOI: 10.3389/fimmu.2023.1118198.