(DOI): 10.22092/ISFJ.2025.134533 34(4) 55-67 Iranian Scientific Fisheries Journal

Effects of taurine supplementation in diet containing fat powder on hematological, immunological parameters antioxidant and hepatic enzymes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)

Norouzi F.[1]; Yeganeh S.[1*]; Firouzbakhsh F.[1]; Adhami B.[1]

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

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

Received: March 2025 Accepted: May 2025 Published: November 2025

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Introduction

Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) is one of the most important cultured species because of its high adaptability to various environmental conditions, rapid growth in intensive farming systems, and habituation to commercial aquafeeds (Parchami *et al.,* 2022). Fish oil had been a main raw ingredient in aquafeeds for a long time; however, its availability has become increasingly limited (Gasco *et al.,* 2018). In Iran, fat powder, a by-product of oil extraction, has potential for mass production. Nevertheless, the incorporation of fat powder into fish diets may adversely affect fish health due to the presence of saturated fatty acids, low digestibility, and associated side effects (Keramat Amirkolaie *et al.,* 2014; Adhami and Keramat Amirkolaie, 2016). The complete or partial replacement of fish oil with these saturated oils can negatively impact lipid lipolysis and immune function (Abedian Kenari *et al.,* 2010; Adhami and Keramat Amirkolaie, 2016). Furthermore, diets high in unsaturated fatty acids are associated with increased lipid peroxidation in mitochondria, leading to liver cell damage (Abedian Kenari *et al.,* 2011). Taurine plays a crucial role in fish physiology, including bile acid conjugation, immune regulation, osmoregulation, antioxidant effects, and the development and regeneration of the nervous system (Salze and Davis, 2015; Xu *et al.,* 2020). It also regulates liver oxidative status (Martins *et al.,* 2019), aids in detoxification, and stimulates immune responses in bony fish (Cheng *et al.,* 2018; Dehghani *et al.,* 2020). Recognized as a potent antioxidant, taurine mitigates oxidative stress by acting as a non-specific scavenger of harmful reactive oxygen species, thus protecting cells from oxidative damage and enhancing the synthesis of antioxidant enzymes (Hosseini *et al.,* 2017). This research aims to evaluate the potential of taurine as a valuable additive in aquaculture feed. The current study is designed to assess the effects of taurine on blood indices, immune system function,

antioxidant enzyme activity, and liver function in rainbow trout (*O. mykiss*) fed with a diet containing fat powder.

Methodology

A total of 225 rainbow trout with an average initial weight of 12.00±0.03 g was randomly assigned to 15 tanks, each containing 150 liters of water for 58 days. Five experimental diets were formulated: a fish oil and canola oil-based diet (positive control), fat powder-based diet (approximately 70% of the fat source was derived from fat powder) supplemented with 0% (negative control), 0.5%, 1%, and 2% taurine. The fish were fed three times daily at 8:00, 12:00, and 18:00 until apparent satiation. At the end of the trial, blood samples were taken from the caudal fin of each fish. The samples were allowed to clot and were subsequently centrifuged at 4600 rpm for 10 minutes to obtain serum. Hematological parameters, including red blood cell (RBC) and white blood cell (WBC) counts, hemoglobin concentration, and hematocrit levels, were measured. Additionally, serum biochemical parameters including cholesterol, triglycerides, total protein, glucose, albumin were determined. Hepatic enzyme (aspartate aminotransferase (AST) and alanine aminotransferase (ALT)), antioxidant indices (superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPx), catalase (CAT) and malondialdehyde (MDA)), and immune indices (complement, lysozyme and immunoglobulin) were also assessed to evaluate the health status of fish fed diet containing taurine and fat powder.

Results

According to the results, the fish fed with 2% taurine indicated the highest levels of WBC and RBC ($p<0.05$). The highest values of hematocrit and MCV were obtained in fish fed 1% taurine ($P<0.05$). MCH and MCHC amounts elevated in the negative control group and at the 0.5% taurine dietary level, respectively ($p<0.05$). In contrast, the concentrations of hemoglobin were not significantly affected by the experimental diets ($p>0.05$). The serum biochemical parameters showed that the inclusion of 2% taurine led to the highest levels of cholesterol, triglycerides, total protein, and glucose; However, the albumin content remained unaffected ($p>0.05$). The concentration of triglyceride reduced with the addition of 0.5% taurine to the diet, while the lowest levels of cholesterol and glucose were found in the negative control group ($p<0.05$). The highest concentration of total protein was observed with the supplementation of 2% taurine ($p<0.05$). Furthermore, the activities of AST and ALT in negative control were significantly higher than those of fish fed 2% taurine ($p<0.05$). Antioxidant indices demonstrated significant differences in SOD, GPx, CAT, and MDA among the experimental groups ($P<0.05$). The highest levels of SOD and GPx were obtained by inclusion of 1.5% and 2% taurine, while the lowest amounts were observed in the negative control ($p<0.05$). Immunological parameter indicated that the addition of 2% taurine to diet containing fat powder resulted in an improvement of immunoglobulin, ACH50 and Lysozyme compared to the negative control ($p<0.05$).

Discussion and conclusion

The results of the current study suggest that reduced damage to the blood cells of fish fed a diet supplemented with 2% taurine may lead to an increase in hematocrit, RBC and WBC counts. Previous research indicates that taurine deficiency can contribute to blood cell destruction (Takagi *et al.,* 2006, 2011). Furthermore, taurine plays a crucial role in synthesizing bile acids from cholesterol, which may reduce the need for bile acids and promote greater cholesterol reabsorption. This implies a decrease in hepatic absorption for bile acid synthesis in fish fed with 2% taurine, consistent with findings in rosy barb fish (*Pethia conchonius*), which taurine significantly increased triglyceride and cholesterol levels (Nejatizadegan *et al.,* 2020). Taurine also interacts synergistically with insulin and insulin-like substances to enhance glucose and amino acid uptake in fish cells (Michelato *et al.,* 2018). Additionally, taurine actively participates in glucose metabolism (Bañuelos-Vargas *et al.,* 2014). The reduction in ALT and AST levels indicates that there are no adverse effects when taurine added to diet containing fat powder, aligning with similar findings reported in common carp (*Cyprinus carpio L.*) (Liu *et al.,* 2024). At the same time, the improvement in antioxidant capacity and reduction in fat oxidation demonstrate the protective effects of taurine. In Asian swamp eel (*Monopterus albus*), the addition of 0.2% taurine to oxidized fish oil was shown to increase antioxidant enzyme activities (SOD, GPx, CAT) while reducing MDA levels (Zhang *et al.,* 2022). The enhancement of immune indices, including ACH50, Lysozyme, and immunoglobulin levels, underscores the importance of taurine in maintaining immune function. Conversely, taurine deficiency has been shown to disrupt immune function (Schuller-Levis *et al.,* 1990). In conclusion, the addition of 2% taurine positively affects bile salt production, fat digestion, and overall fat metabolism. It mitigates the negative effects of fat powder on liver function while improving blood parameters, immune function, and antioxidant activity.

Conflict of interest

There is no conflict of interest between authors.

Acknowledgment

This research was carried out with the assistance of the members of the Fisheries Department at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, who provided laboratory and workshop facilities for this experiment. We would also like to thank the esteemed management of the Livestock and Aquatic Feed Company for their sincere cooperation in providing the raw materials for the fish diet. Special thanks to the esteemed manager of Kimia Growth Industry for supplying the fat powder.

مجله علمی شیلات ایران ۳٤ (٤) ٥٥-٦٧ (DOI): 10.22092/ISFJ.2025.134533

مقاله علمی – پژوهشی:

تأثیر افزودن تائورین به جیره حاوی پودر چربی بر شاخص‌های خونی، ایمنی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کبدی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

فاطمه نوروزی[۱]، سکینه یگانه*[۱]، فرید فیروزبخش[۱]، بتول ادهمی[۱]

*skyeganeh@gmail.com ؛s.yeganeh@sanru.ac.ir

۱- گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ۱٤۰۳ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱٤۰٤ تاریخ چاپ: آبان ۱٤۰٤

چکیده

در مطالعه حاضر، تأثیر اسید آمینه تائورین بر شاخص‌های خونی، ایمنی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کبدی در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) تغذیه شده با جیره حاوی پودر چربی مورد بررسی قرار گرفت. جیره‌های آزمایشی شامل کنترل مثبت (حاوی روغن ماهی و روغن کانولا)، کنترل منفی (پودر چربی و بدون تائورین) و جیره‌های مبتنی بر پودر چربی حاوی ۰/۵، ۱ و ۲ درصد تائورین بودند. ۲۲۵ عدد قزل‌آلای رنگین‌کمان با میانگین وزنی اولیه ۰/۰۳±۱۲/۰۰ گرم، به مدت ۵۸ روز، روزانه سه بار در حد سیری با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. نتایج نشان داد، اختلاف معنی‌داری در هموگلوبین بین تیمارهای مختلف آزمایشی مشاهده نگردید ($p>۰/۰۵$) درحالی‌که گلبول سفید و قرمز با افزودن ۲ درصد تائورین بیشترین مقدار را نشان داد ($p<۰/۰۵$). هماتوکریت و متوسط حجم گلبول قرمز در جیره تائورین ۱ درصد و اما متوسط هموگلوبین در گلبول قرمز در جیره کنترل منفی و متوسط غلظت هموگلوبین در گلبول قرمز در جیره تائورین ۰/۵ درصد در بالاترین سطح قرار داشت ($p<۰/۰۵$). علاوه‌براین، افزودن تائورین ۲ درصد به جیره منجر به افزایش غلظت کلسترول، تری‌گلیسرید، پروتئین تام و گلوکز گردید. مقادیر آسپارتات آمینوترانسفراز و آلانین آمینوترنسفراز با افزودن ۲ درصد تائورین به جیره حاوی پودر چربی به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p<۰/۰۵$). همچنین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز در تیمار حاوی ۲ درصد تائورین و فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز در تیمارهای ۱ و ۲ درصد تائورین ارتقاء یافت و بالاترین فعالیت مالون دی‌آلدهید مربوط به جیره کنترل منفی بود ($p<۰/۰۵$). به‌علاوه، با افزودن ۲ درصد تائورین فراسنجه‌های ایمنی (ایمنوگلوبین، کمپلمان و لیزوزیم) بهبود یافتند. بر اساس یافته‌های مطالعه حاضر، افزودن تائورین ۲ درصد به منظور بهبود شاخص‌های خونی، بیوشیمیایی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ایمنی در قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با جیره مبتنی بر ۷۰ درصد پودر چربی پیشنهاد می‌گردد.

لغات کلیدی: آبزی‌پروری پایدار، اسید آمینه، جایگزینی، روغن ماهی، سیستم ایمنی

*نویسنده مسئول

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) به دلیل سازگاری با انواع شرایط زیست‌محیطی، رشد سریع در شرایط پرورش متراکم و قابلیت پذیرش غذای تجاری فرموله‌شده، مهم‌ترین گونه‌های پرورشی در ایران و جهان به‌شمار می‌رود (Parchami *et al.,* 2022). چربی نقش مهمی را به عنوان منبع تأمین‌کننده انرژی و اسیدهای چرب ضروری برای رشد و تکامل ماهیان ایفاء می‌کند (Sadeghi *et al.,* 2020). روغن ماهی برای مدت طولانی جزو مواد اولیه اصلی در خوراک آبزی‌پروری بوده، اما این منبع محدود و پایان‌پذیر است (Gasco *et al.,* 2018). به همین دلیل مطالعات مربوط به جایگزینی روغن ماهی با هدف دستیابی به آبزی‌پروری پایدار افزایش یافته است (Gesto *et al*., 2021). پودر چربی که از محصولات جانبی کارخانجات روغن‌کشی است، در کشور ایران پتانسیل زیادی برای تولید دارد، اگرچه پودر چربی به دلیل وجود اسیدهای چرب اشباع، هضم‌پذیری کم و اثرات جانبی، سلامت ماهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Keramat Amirkolaie *et al.,* 2014; Adhami *and* Keramat Amirkolaie, 2016). حذف کامل یا بخشی از روغن ماهی با این روغن‌های اشباع می‌تواند اثرات سوء بر لیپولیز چربی و ایمنی بدن ماهی بگذارد (Abedian Kenari *et al.,* 2010). به‌علاوه، جیره‌های دارای اسیدهای چرب غیر اشباع زیاد، مستعد آسیب به سلول‌های کبدی می‌شود (Abedian Kenari *et al.,* 2011). تائورین یک اسید آمینه نیمه ضروری برای اکثر ماهیان پرورشی محسوب می‌گردد (Wang *et al.,* 2016). و نقش‌های کلیدی را در فیزیولوژی ماهی مانند عملکردهای کونژوگاسیون اسیدهای صفراوی، تنظیم ایمنی، تنظیم اسمزی، اثرات آنتی‌اکسیدانی، توسعه و بازسازی سیستم عصبی، ایفاء می‌کند (Salze and Davis, 2015; Xu *et al.,* 2020). علاوه‌براین، وضعیت اکسیداتیو کبدی را تنظیم کرده، به کاهش التهاب روده‌ای (Martins *et al.,* 2019) و سم‌زدایی بدن کمک کرده و پاسخ‌های ایمنی را در ماهیان استخوانی ایجاد می‌کند (Cheng *et al*., 2018; Dehghani *et al.,* 2020). مالون دی‌آلدهید یکی از محصولات اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع است که شاخص مهمی برای تعیین میزان آسیب اکسیداتیو محسوب می‌شود (Hayyan *et al.,* 2016). افزودن تائورین به جیره ماهی باعث کاهش استرس اکسیداتیو می‌شود که می‌تواند به عنوان یک آنتی‌اکسیدان مهم در آبزی‌پروری استفاده شود (Hoseini, 2017). مطالعه حاضر، به منظور کاهش اثرات منفی استفاده از پودر چربی به عنوان جایگزین روغن ماهی در جیره ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به ارزیابی تأثیر اسید آمینه تائورین بر شاخص‌های خونی، ایمنی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کبدی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با جیره‌ی حاوی پودر چربی اجرا گردید.

مواد و روش کار

ذخیره‌سازی ماهی و تیماربندی

در مطالعه حاضر، ۲۲۵ عدد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با میانگین وزنی ۰/۰۳±۱۲/۰۰ گرم که پس از دوره سازگاری ۱۴ روزه، وزن‌کشی شده و سپس به صورت تصادفی به ۱۵ مخزن ۳۰۰ لیتری حاوی ۱۵۰ لیتر آب چاه، منتقل شدند. پنج جیره غذایی شامل جیره حاوی روغن ماهی و روغن کانولا (کنترل مثبت) و سایر جیره‌ها حاوی پودر چربی به همراه صفر (کنترل منفی)، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد تائورین (جدول ۱) با ۵ تیمار و سه تکرار طراحی شد. پودر چربی خالص نیکو رشد پایا یک مکمل بر پایه روغن پالم با چربی ۹۹/۵٪ از شرکت کیمیا رشد صنعت (البرز، ایران) و تائورین (سیگما) با درصد خلوص ۹۹٪ تهیه گردید. منابع چربی شامل حدود ۷۰ درصد پودر چربی و روغن ماهی و روغن کانولا تأمین گردید. همچنین میزان پودر چربی بر اساس تحقیق Adhami و همکاران (۲۰۲۱) انتخاب شده و سطوح اسید آمینه تائورین بر اساس مطالعه Huang و همکاران (۲۰۲۱) در چهار سطح صفر (کنترل منفی)، ۵، ۱۰، ۲۰g/kg افزوده شد. غذادهی روزانه سه بار در ساعات ۸، ۱۲ و ۱۸ تا حد سیری ظاهری غذادهی به مدت ۵۸ روز انجام شد (جدول ۲).

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
Fishmeal	380	380	380	380	380
Wheat flour	90	90	90	90	90
Soybean powder	150	150	150	150	150
Fish oil	55	17	17	17	17
Canola oil	55	17	17	17	17
Fat powder	0	76	76	76	76
Filler	20	20	15	10	0
Mineral supplement[a]	20	20	20	20	20
Vitamin supplement[b]	20	20	20	20	20
Binder	20	20	20	20	20
Taurine	0	0	5	10	20

مکمل معدنی شامل ۲۶۰۰ میلی‌گرم منگنز، ۶۰۰ میلی‌گرم مس، ۶۰۰۰ میلی‌گرم آهن، ۴۶۰۰ میلی‌گرم روی، ۵۰ میلی‌گرم سلنیوم، ۱۰۰ میلی‌گرم ید، ۵۰ میلی‌گرم کبالت و ۱۰۰۰۰۰ میلی‌گرم کولین کلراید است.

همچنین مکمل ویتامینی شامل ۱۲۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی بر کیلوگرم از ویتامین A، ۴۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی بر کیلوگرم از ویتامین D_3، و ۳۰۰۰ واحد بین‌المللی بر کیلوگرم از ویتامین E می‌باشد. ۵۴۰۰ میلی‌گرم ویتامین C ، ۲۰۰ میلی‌گرم ویتامین B_1، ۳۳۶۰ میلی‌گرم ویتامین B_2، ۷۲۰۰ میلی‌گرم ویتامین B_3 ، ۹۰۰۰ میلی‌گرم ویتامین B_5، ۲۴۰۰ میلی‌گرم ویتامین B_6، ۶۰۰ میلی‌گرم ویتامین B_9 و ۴ میلی‌گرم ویتامین B_{12} می‌باشد.

[a]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.

[b] A vitamin supplement consisting of 1,200,000 IU/kg of vitamin A; 400,000 IU/kg of vitamin D_3; 3,000 IU/kg 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.

جدول ۲: تجزیه‌وتحلیل تقریبی جیره (درصد وزن خشک) حاوی سطوح مختلف تائورین

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

نمونه‌برداری و آماده سازی نمونه‌ها

در انتهای آزمایش، پس از ۲۴ ساعت قطع غذادهی، از هر تانک ۴ عدد ماهی به صورت تصادفی نمونه‌برداری گردید و با پودر گل میخک (۵۰ تا ۷۰ میلی‌گرم در لیتر) بی‌هوش شدند (Bahrekazemi *et al.*, 2020). خونگیری با استفاده از سرنگ ۲/۵ میلی‌لیتری در سیاهرگ دمی انجام گردید. نمونه‌های خونی پس از لخته شدن با سرعت ۴۶۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شده و سرم جدا گردید و در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان استفاده نگهداری شد. بخش دوم به میکروتیوپ‌های حاوی هپارین برای اندازه‌گیری پارامترهای خون منتقل شدند. فراسنجه‌های خونی مورد بررسی شامل شمارش گلبول‌های قرمز و سفید که بر اساس روش Hoston (۱۹۹۰) با استفاده از لام هموسیتومتر صورت گرفت، غلظت هموگلوبین و درصد هماتوکریت (Hct) بر اساس Drabkin (۱۹۴۵) اندازه‌گیری شد، شاخص‌های متوسط حجم گلبول قرمز (MCV)، متوسط هموگلوبین در گلبول قرمز (MCH)، متوسط غلظت هموگلوبین در گلبول قرمز (MCHC) بر اساس روابط ذیل محاسبه گردید:

MCV (fL) = (Hematocrit × 10) / RBC
MCH (pg) = (Hemoglobin × 10) / RBC
MCHC (%) = (Hemoglobin × 100) / Hematocrit

شاخص‌های بیوشیمیایی و آنزیم‌های کبدی

شاخص‌های بیوشیمیایی شامل کلسترول، تری‌گلیسرید، پروتئین کل، گلوکز و آلبومین از طریق دستورالعمل درج‌شده در کیت‌های سنجش پارس آزمون به روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شدند. فعالیت آنزیم‌های آسپارتات آمینو ترنسفراز و آلانین آمینوترنسفراز براساس میزان جذب نوری و فرمول ارائه شده در دستورالعمل کیت‌ها محاسبه گردید (Moss and Henderson, 1999).

اندازه‌گیری شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز مطابق روش Winterbourn و همکاران (۱۹۷۵) اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش جهت سنجش آن، شامل بافر HEPES-KOH با pH:۷/۸ حاوی ۰/۱ میلی‌مولار EDTA، ۵۰ میلی‌مولار کربنات سدیم با pH:۷/۲، ۱۲/۷۰ میلی‌مولار متالوتیونین، ۷۵ میکرومولار نیتروبلوتترازیلوم، ۱ میکرومولار ریبوفلاوین و ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی بود نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در معرض نور قرار گرفت و سپس جذب آنها در طول موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز با استفاده از روش Lawrence و Burk (۱۹۷۶) ارزیابی شد. مخلوط واکنش شامل ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات پتاسیم (pH 7)، ۰/۲ میلی‌مولار NADPH، ۱ میلی‌مولار EDTA، ۱ میلی‌مولار سدیم آزید، ۲۰ میکرومولار گلوتاتیون ردوکتاز و ۱ میلی‌مولار GSH بود. پس از افزودن ۰/۲ میلی‌مولار هیدروژن پراکسید، جذب نوری در طول موج ۴۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم کاتالاز نیز مطابق روش Claiborn (۱۹۸۵) بررسی شد. نمونه آنزیمی در حضور هیدروژن پراکسید قرار گرفته و جذب نوری در طول موج ۲۴۰ نانومتر سنجش شد. سنجش مالون دی‌آلدئید طبق روش Baluchnejad mojarad و همکاران (۲۰۱۰) انجام شد. برای این ارزیابی، از تری‌کلرواستیک اسید ۱ درصد و معرف تیوباربیتوریک اسید ۰/۶ درصد استفاده شد. پس از حرارت‌دهی، سرد شدن و سانتریفیوژ، جذب نوری در ۵۳۵ نانومتر اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های ایمنی

به منظور اندازه‌گیری کمپلمان، سرم گلبول‌های قرمز خرگوش سه مرتبه با بافر اتیلن گلیکول و تترا استیک اسید - منیزیوم - ژلاتین ورنال (۰/۰۱ مولار) شسته شده و سلول‌های آن به کمک لام نئوبار به تعداد ۲×۱۰^{۸} سلول در هر میلی‌لیتر از بافر ذکر شده تنظیم شد. سپس نمونه‌های سرم ابتدا ۱۰۰ مرتبه با این بافر رقیق شده و حجم‌های متفاوتی از نمونه سرم به لوله آزمایش استریل ریخته شدند لوله‌ها به کمک بافر به حجم ۲۵۰ میکرولیتر رسانده شد. سرانجام به همه لوله‌ها ۱۰۰ میکرولیتر گلبول قرمز خرگوش اضافه شد. مخلوط مذکور در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۰ دقیقه انکوبه گردید و در پایان به هر کدام از لوله‌ها ۳/۱۵ میلی‌لیتر محلول ۰/۸۵ درصد کلرید سدیم اضافه شد. سپس لوله‌ها با دور ۱۶۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید و دانسیته نوری محلول رویی به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۱۴ نانومتر اندازه‌گیری گردید (Boesen *et al.,* 1999; Amar *et al.,* 2000).

برای اندازه‌گیری لیزوزیم، مقدار ۱۵۰ میکرولیتر از سوسپانسیون باکتری *میکروکوکوس لیزودیکتیکوس* با غلظت ۰/۲ میلی‌گرم در میلی لیتر در بافر سیترات سدیم ۰/۰۲ مولار (pH=۵/۵) به ۱۵ میکرولیتر نمونه سرم در چاهک‌های یک میکروپلیت ۹۶ خانه‌ای اضافه شد. بلافاصله جذب نوری نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه با فواصل ۳۰ ثانیه در طول موج ۴۵۰ نانومتر با الایزا ریدر (اوارنس، آمریکا) قرائت شد. طبق تعریف یک واحد فعالیت لیزوزیم برابر با میزان سرمی است که باعث کاهش جذب نوری به میزان ۰/۰۰۱ در دقیقه می‌شود (Clerton *et al.,* 2001).

به منظور اندازه‌گیری میزان ایمونوگلوبین به‌طور خلاصه، پروتئین کل از نمونه هموژنات با استفاده از روش

میکروپروتئین اندازه‌گیری شد؛ سپس، مولکول‌های ایمونوگلوبولین با محلول پلی اتیلن گلیکول ۱۲٪ رسوب داده شدند سطح پروتئین سرم مجدداً اندازه‌گیری شد. تفاوت در محتوای پروتئین به عنوان محتوای ایمونوگلوبولین کل در نظر گرفته شد (Siwicki et al., 1994).

روش تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

این تحقیق با کمک نرم افزار SPSS 19.0 در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون آنالیز واریانس یکطرفه استفاده گردید. مقایسه اختلاف میانگین‌ها با آزمون Duncan در سطح اطمینان ۹۵ درصد صورت گرفت.

نتایج

طبق جدول ۳، گلبول‌های سفید و قرمز ماهیان تغذیه‌شده با تائورین ۲ درصد اما هماتوکریت و متوسط حجم گلبول قرمز در تائورین ۱ درصد بیشترین مقدار را نشان داد (p<۰/۰۵). متوسط هموگلوبین در گلبول قرمز در جیره کنترل منفی و متوسط غلظت هموگلوبین در گلبول قرمز در تائورین ۰/۵ در بالاترین سطح قرار داشت (p<۰/۰۵). اما هموگلوبین تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت (p>۰/۰۵).

جدول ۳: فراسنجه‌های خونی ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با سطوح مختلف تائورین پس از ۵۸ روز

Table 3: Blood parameters of rainbow trout fed with different levels of taurine for 58 days

Blood parameters	Treatments				
	Positive Control	Negative Control	Taurine 0.5%	Taurine 1%	Taurine 2%
White Blood Cells ($\times10^3$ /mm^3)	10.57±0.37^{b}	7.34±0.15^{e}	8.65±0.05^{d}	9.50±0.20^{c}	11.26±0.50^{a}
Red Blood Cells ($\times10^6$ /mm^3)	1.13±0.06 ^{b}	0.90±0.04^{b}	0.98±0.03^{b}	1.08±0.07^{b}	1.25±0.03^{a}
Hemoglobin (g/dL)	7.55±0.62^{a}	8.00±0.26^{a}	8.04±0.29^{a}	7.83±0.43^{a}	8.13±0.91^{a}
Hematocrit (%)	31.94±1.14^{c}	30.34±4.12^{cd}	24.88±5.60^{d}	37.21±3.83^{a}	35.75±1.45^{b}
MCV (fl)	164.68±5.88^{ab}	168.56±22.88^{ab}	139.82±31.48^{b}	190.85±19.69^{a}	164.02±6.68^{ab}
MCH (pg)	66.91± 5.02^{c}	89.03±1.88^{a}	81.67±5.42^{b}	72.71±8.43^{bc}	57.03±5.51^{e}
MCHC (%)	26.68±3.52^{ab}	23.64±0.83^{ab}	33.78±6.78^{a}	21.18±2.15^{b}	22.75±0.94^{ab}

اعداد (میانگین ± انحراف معیار) در یک ردیف با حروف متفاوت تفاوت معنی‌داری دارند (p<۰/۰۵).

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

طبق جدول ۴، افزودن ۲ درصد اسید آمینه تائورین به جیره منجر به افزایش کلسترول، تری‌گلیسرید، پروتئین تام و گلوکز شد (p<۰/۰۵). درحالی‌که غلظت آلبومین تحت تأثیر جیره‌های آزمایشی قرار نگرفت (p>۰/۰۵). همچنین آسپارتات آمینوترانسفراز و آلانین آمینوترنسفراز به طور معنی‌داری با افزودن ۲ درصد تائورین در جیره حاوی پودر چربی کاهش یافت (p<۰/۰۵).

بر اساس جدول ۵، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، گلوتاتیون پراکسیداز و کاتالاز در کنترل منفی کمتر از کنترل مثبت بود، اما با افزودن ۲ درصد تائورین بهبود یافت (p<۰/۰۵). در مقابل، غلظت مالون دی‌آلدهید در کنترل منفی افزایش یافت، اما با افزودن ۲ درصد تائورین کاهش یافت و به سطح کنترل مثبت رسید (p<۰/۰۵).

طبق جدول ۶، جایگزینی پودر چربی بجای روغن ماهی در کنترل منفی باعث کاهش ایمنوگلوبین، کمپلمان و لیزوزیم شد (p<۰/۰۵). اما با افزودن تائورین به ویژه در میزان ۲ درصد این شاخص‌ها به طور معنی‌داری نسبت به کنترل منفی و حتی کنترل مثبت بهبود بخشید (p<۰/۰۵).

جدول ۴: فراسنجه‌های بیوشیمیایی سرم ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با سطوح مختلف تائورین پس از ۵۸ روز

Table 4: The biochemical parameters of serum from rainbow trout fed with different levels of taurine for 58 days

The biochemical parameters	Treatments				
	Positive Control	Negative Control	Taurine 0.5%	Taurine 1%	Taurine 2%
Cholesterol (mg/ml)	328.33±0.57^{c}	277.00±4.00^{e}	291±2.64^{d}	361.66±2.08^{b}	368.66±3.21^{a}
Triglycerides (mg/ml)	242.66±9.01^{d}	271.00±11.00^{b}	223.66±1.52^{e}	254.33±1.52^{c}	283.33±10.01^{a}
Total Protein (g/dl)	2.86± 0.01^{b}	2.57±0.04^{c}	2.68±0.03^{c}	2.83±0.08^{b}	3.05±0.10^{a}
Glucose (mg/dL)	91.00±1.00^{c}	74.66±4.50^{d}	98.66±0.57^{b}	100±1.00 ^{b}	112.66±6.65^{a}
Albumin (g/dl)	2.03± 0.05^{a}	1.70± 0.10 ^{a}	2.10±0.40^{a}	2.06± 0.10 ^{a}	1.80±0.53^{a}
AST (u/l)	1.33±0.66^{ab}	2.33±0.57^{a}	1.66±0.57^{ab}	1.33±0.88^{ab}	1.00±0.00^{b}
ALT (u/l)	4.00±0.00^{ab}	4.33±0.57^{a}	4.00±1.00^{ab}	3.00±0.00^{b}	2.66±0.57^{c}

اعداد (میانگین ± انحراف معیار) در یک ردیف با حروف متفاوت تفاوت معنی‌داری دارند (p<۰/۰۵).

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

جدول ۵: شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی سرم ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با سطوح مختلف تائورین پس از ۵۸ روز

Table 5: Antioxidant indices of serum in rainbow trout fed with different levels of taurine for 58 days

Antioxidant indices	Treatments				
	Positive Control	Negative Control	Taurine 0.5%	Taurine 1%	Taurine 2%
SOD (u/ml)	84.50±1.08^{b}	80.93±0.75^{c}	84.16±0.30^{b}	86.96±2.55^{ab}	88.66±1.65^{a}
GPx (u/ ml)	185.03±4.35^{b}	163.26±5.84^{c}	184.20±8.31^{b}	196.80±6.06^{a}	204.10±2.50^{a}
CAT (u/ ml)	34.13±2.47^{b}	25.90±0.30^{e}	29.46±1.15 ^{c}	31.43±0.97^{bc}	37.20±2.05^{a}
MDA (nmol/ ml)	100.06±2.55^{d}	138.16±4.26^{a}	117.86±4.15^{b}	109.76±2.5 5^{c}	99.86±3.46^{d}

اعداد (میانگین ± انحراف معیار) در یک ردیف با حروف متفاوت تفاوت معنی‌داری دارند (p<۰/۰۵).

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

جدول ۶: فراسنجه‌های بیوشیمیایی ایمنی ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با سطوح مختلف تائورین پس از ۵۸ روز

Table 6: Biochemical immune parameters of rainbow trout fed with different levels of taurine for 58 days

Immune parameters	Treatments				
	Positive Control	Negative Control	Taurine 0.5%	Taurine 1%	Taurine 2%
Total Immunoglobulin (mg/dl)	32.20±0.65^{d}	29.63±0.88^{e}	34.03±0.61^{c}	38.00±0.50^{b}	39.76±0.66^{a}
(u/ml) ACH50	136.80±1.05^{b}	132.90±1.21^{c}	140.63±1.33^{ab}	141.43±3.39^{ab}	144± 0.75^{a}
Lysozyme (u/ml/min)	29.66±0.80^{b}	26.80±0.90^{c}	32.46±0.70^{ab}	32.56±2.27^{ab}	35.50±2.75^{a}

اعداد (میانگین ± انحراف معیار) در یک ردیف با حروف متفاوت تفاوت معنی‌داری دارند (p<۰/۰۵).

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

بحث

در مطالعه حاضر، افزودن ۲ درصد تائورین به جیره‌ی غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان موجب بهبود معنی‌دار در شاخص‌های خونی از جمله افزایش گلبول‌های سفید، قرمز و هماتوکریت گردید. همچنین کمبود تائورین می‌تواند سبب افزایش تخریب سلول‌های خونی و تبدیل هموگلوبین آزاد به بیلی‌وردین شود (Takagi *et al.*, 2006; 2011). افزایش تعداد گلبول‌های سفید نیز می‌تواند بیانگر تقویت سیستم ایمنی از طریق تحریک تولید سلول‌های ایمنی است. در مطالعه Güroy و همکاران (۲۰۲۴) تائورین سبب افزایش گلبول‌های قرمز، هماتوکریت و هموگلوبین در ماهی بأس (*Argyrosomus regius*) گردید. همچنین این شاخص‌ها در ماهی طوطی (*Oplegnathus fasciatus*) روند افزایشی داشت (Lim *et al.*, 2013). در مقابل، افزودن تائورین غذایی تأثیر قابل‌توجهی بر شاخص‌های خون‌شناسی در ماهی سیم دریایی قرمز (*Pagrus major*) نداشت (Gunathilaka Peter و همکاران (۲۰۲۲) تفاوت *et al.*, 2019).

معنی‌داری در گلبول‌های سفید و قرمز در ماهی پنگاسیوس (*Pangasius pangasianodon*) تغذیه شده با تائورین مشاهده نکردند. از آن‌جایی‌که این وضعیت ممکن است با توجه به نوع، اندازه، فرمولاسیون غذایی، وضعیت فیزیولوژیک و شرایط محیطی ماهی متفاوت باشد، مطالعات عمیق‌تری باید انجام شود تا اثرات تائورین بر سلامت ماهی به طور دقیق روشن شود.

افزودن ۲ درصد تائورین همچنین سبب افزایش سطح تری‌گلیسرید و کلسترول می‌تواند به کاهش نیاز به سنتز اسیدهای صفراوی و افزایش بازجذب کلسترول مرتبط باشد. تائورین نقش کلیدی در تولید نمک‌های صفراوی دارد که برای هضم و جذب چربی‌ها ضروری است (Huxtable, 1992; Bouckenooghe *et al.,* 2006) مطالعاتی مانند Nejatizadegan و همکاران (۲۰۲۰) بر ماهی رزی بارب (*Pethia conchonius*) نیز افزایش این شاخص‌ها را تأیید کردند. اما در ماهی دریایی سفید (*Diplodus sargus*) کاهش سطح تری‌گلیسرید با افزودن تائورین را گزارش کردند اما بر کلسترول پلاسما تأثیری نداشت (Magalhães *et al.,* 2019) که می‌تواند ناشی از تفاوت‌های متابولیسم چربی در گونه‌های مختلف باشد.

در مطالعه حاضر، میزان پروتئین کل سرم در تیمار ۲ درصد تائورین بالاتر بود درحالی‌که میزان آلبومین تحت تأثیر قرار نگرفت. این افزایش می‌تواند به بهبود متابولیسم اسیدهای آمینه و سنتز پروتئین کل مرتبط باشد. در مطالعه Mozanzadeh و همکاران (۲۰۲۴) بر میگوی وانامی (*Penaeus vannnamei*) افزایش پروتئین کل با افزودن تائورین همراه بود. اما بررسی‌های Peter و همکاران (۲۰۲۲) بر *P. pangasianodon* و Bavi و همکاران (۲۰۲۲) بر استرلیاد (*A. ruthenus*) نشان داد که پروتئین کل و آلبومین تحت تأثیر سطوح تائورین قرار نگرفتند. دلیل عدم تطابق می‌تواند به ویژگی‌های فیزیولوژیک در گونه‌ها و شرایط محیطی مربوط باشد. علاوه‌براین، افزودن ۲ درصد تائورین باعث افزایش گلوکز سرم گردید. تائورین به طور تعاملی با انسولین و یا مواد شبه‌انسولین عمل می‌کند تا مصرف گلوکز و جذب اسیدهای آمینه در سلول‌ها را بیشتر کند (Michelato *et al.,* 2018). ممکن است افزایش تائورین فرایند گلیکولیز و گلوکونئوژنز را سرعت بخشد تا نیازهای انرژی را در بدن ماهی فراهم کند (Salze *et al.,* 2016). Bañuelos-vargas و همکاران (۲۰۱۴) به طور مشابه عنوان کردند، تائورین منجر به افزایش تولید گلوکز در بدن می‌شود. این روند نشان‌دهنده نقش تنظیم‌کننده تائورین در تعادل انرژی و مسیرهای متابولیک مرتبط با کربوهیدرات‌هاست. در مقابل، مقدار گلوکز در استرلیاد (*A. ruthenus*) تفاوت معنی‌داری در سطح گلوکز مشاهده نکردند (Bavi *et al.,* 2022). این امر می‌تواند به دلیل تفاوت گونه‌ای در تنظیم متابولیسم مورد نظر باشد.

کاهش فعالیت آسپارتات آمینوترانسفراز و آلانین آمینوترانسفراز با افزودن ۲ درصد تائورین نشان‌دهنده بهبود عملکرد کبد و کاهش آسیب‌های ناشی از جیره‌های حاوی پودر چربی است. این در حالی است که افزایش سطح این آنزیم‌ها معمولاً با آسیب‌های کبدی مرتبط است (Adeniyi *et al.,* 2010). نتایج مشابهی بر گربه ماهی (*Pelteobagrus fulvidraco*) تغذیه شده با ۲ درصد تائورین، مقادیر آسپارتات آمینو ترنسفراز و آلانین آمینوترنسفراز کاهش یافت (Zhang *et al.,* 2024). در مطالعه Shi و همکاران (۲۰۲۱) بر گربه ماهی کانال (*Ictalurus punctatus*)، کاهش فعالیت آسپارتات آمینو ترنسفراز و آلانین آمینوترنسفراز را با افزودن تائورین به جیره روغن ماهی اکسید شده گزارش کردند.

همچنین افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، گلوتاتیون پراکسیداز و کاتالاز و کاهش فعالیت مالون دی‌آلدئید با افزودن ۱/۵ و ۲ درصد تائورین، نشان‌دهنده این است که تائورین باعث بهبود وضعیت آنتی‌اکسیدانی شده و مانع از آسیب اکسیداتیو می‌گردد. نتایج مشابهی در مطالعه Liu و همکاران (۲۰۲۴) بر ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio* L.) و Zhang و همکاران (۲۰۲۲) بر مارماهی (*Monopterus albus*) گزارش شد. تائورین با مهار پراکسیداسیون چربی‌ها، کاهش آپوپتوز و محافظت از میتوکندری سلول در برابر اکسیداسیون می‌تواند ظرفیت

آنتی‌اکسیدانی بدن را افزایش دهد (Dong *et al.,* 2018).

شاخص‌های ایمنی شامل کمپلمان، لیزوزیم و ایمنوگلوبین با افزودن ۲ درصد تائورین به پودر چربی بهبود یافتند درحالی‌که کمبود تائورین باعث اختلال در عملکرد سیستم ایمنی می‌شود (Schuller-Levis *et al.,* 1990). برخی مطالعات همانند Li و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر مثبت تائورین را در فعالیت لیزوزیم و ایمونوگلوبین در گربه ماهی (*P. fulvidraca*) تأیید کردند. اما محققانی از جمله Gumathilaka و همکاران (۲۰۱۹) در سیم دریایی قرمز (*P. major*) و Bahrkazemi و Islami (۲۰۲۲) در فیل ماهی (*Huso huso*) تأثیر معنی‌دار تائورین را در عملکرد ایمنی مشاهده نکردند. مغایرت در نتایج این مطالعات احتمالاً به دلیل سطح تائورین مصرفی و گونه مورد نظر است.

به طور کلی، می‌توان اظهار داشت افزودن ۲ درصد تائورین باعث بهبود شاخص‌های خونی، ایمنی و آنتی‌اکسیدانی و کاهش اثرات منفی جیره حاوی پودر چربی بر عملکرد کبد شد. بنابراین، این سطح از تائورین به عنوان یک مکمل تغذیه‌ای در جیره غذایی ماهیان پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر با همکاری گروه شیلات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به سبب در اختیار قراردادن امکانات آزمایشگاهی و کارگاهی به انجام رسید. همچنین از مسئول محترم شرکت کیمیا رشد صنعت برای ارسال پودر چربی صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Abedian Kenari, A., Mozanzadeh, M.T. and Pourgholam, R., 2010. Effects of total fish oil replacement to vegetable oils at two dietary lipid levels on the growth, body composition, haemato immunological and serum biochemical parameters in Caspian brown trout (*Salmo trutta caspius* Kessler, 1877). *Aquaculture Research*, 42(8):1131-1144. DOI:10.1111/j.1365-2109.2010.02701.x

Abedian Kenari, A., Mozanzadeh, M.T. and Pourgholam, R., 2011. Effects of total fish oil replacement to vegetable oils at two dietary lipid levels on the growth, body composition, haemato-immunological and serum biochemical parameters in Caspian brown trout (*Salmo trutta caspius* Kessler, 1877). *Aquaculture Research*, 42(8): 1131–1144. DOI:10.1111/j.1365-2109.2010.02701.x

Adeniyi, T.T., Ajayi, G.O., Akinsanya, M.A. and Jaiyeola, T.M., 2010. Biochemical changes induced in rats by aqueous and ethanolic corm extracts of *Zygotritonia croceae*. *Scientific Research and Essays*, 5(1), 071-076.

Adhami, B. and Keramat Amirkolaie, A., 2016. Effect of different levels of phospholipid on growth performance, fat digestibility and lipase activity in diet containing fat powder in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). *Journal of Fisheries*, 69(3):275-283. DOI:10.22059/jfisheries.2016.61604

Adhami, B., Keramat Amirkolaie, 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*

20.1001.1.23225513.1400.10.3.4.8
170:18-25.
DOI:10.1016/j.cbpb.2014.01.003

Bavi, Z., Zakeri, M., Mousavi, S.M. and Yavari, V., 2022. Effects of dietary taurine on growth, body composition, blood parameters, and enzyme activities of juvenile Sterlet (*Acipenser ruthenus*). *Aquaculture Nutrition*, 2022(1):1713687. DOI:10.1155/2022/1713687

Boesen, J., Maganga, F.P. and Odgard, R., 1999. Norms, organizations and actual practices in relation to land and water management in Ruaha River Basin, Tanzania. In: Granfelt, T. (ed) Managing the Globalized Environment. Intermediate Technology Publlications, London. pp 88-113.

Bouckenooghe, T., Remacle, C. and Reusens, B., 2006. Is taurine a functional nutrient? *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 9(6):728-733. DOI:10.1097/01.mco.0000247469.26414.55.

Cheng, C.H., Guo, Z.X. and Wang, A.L., 2018. The protective effects of taurine on oxidative stress, cytoplasmic free-Ca^{2+} and apoptosis of pufferfish (*Takifugu obscurus*) under low temperature stress. *Fish and Shellfish Immunology*, 77:457-464. DOI:10.1016/j.fsi.2018.04.022

Claiborne, A., 1985. Catalase activity. In: Greenwald, R.A. (ed) Handbook of methods for oxygen free radical research. 1st ed. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp 283–284.

and Technology, 10 :272-285. DOI:

Amar, E.C., Kiron, V., Satoh, S., Okamoto, N. and Watanab, E.T., 2000. Effect of dietary betacarotene on the immune response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fisheries Science*, 66:1068-1075. DOI:10.1046/j.1444-2906.2000.00170.x

Bahrekazemi, M., Eslami, M. and Nikbakhsh, J., 2020. The effect of dietary coriander supplementation on growth performance, biochemical responses, carcass proximate composition, and heavy metal accumulation in beluga, (*Huso huso*). *Journal of Applied Aquaculture*, 34(1):1-20. DOI:10.1080/10454438.2020.1782798

Bahrkazmi and Islami, 2022. The effect of taurine on growth and feeding efficiency, digestive enzymes and immunity of elephant fish (*Huso huso*) in low water temperature. *Fisheries*, 75(1):49-62. DOI:10.22059/jfisheries.2021.329862.1279

Baluchnejad mojarad, T., Roghani, M. and Mafakheri, M., 2010. Neuroprotective effect of silymarin in 6-hydroxydopamine hemi-parkinsonian rat: involvement of estrogen receptors and oxidative stress. *Neuroscience letter*, 480:206-210. DOI:10.1016/j.neulet.2010.06.038

Bañuelos-vargas, I., López, L. M., Pérez-jiménez, A. and Peres, H., 2014. Effect of fishmeal replacement by soy protein concentrate with taurine supplementation on hepatic intermediary metabolism and antioxidant status of totoaba juveniles (*Totoaba macdonaldi*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, Part B,

Sector: Current Situation and Alternative Sources, pp. 49-61.

Gesto, M., Madsen, L., Andersen, NR., El Kertaoui, N., Kestemont, P., Jokumsen, A., and Lund, I. 2021. Early performance, stress- and disease–sensitivity in rainbow trout fry (*Onchorhyncus mykiss*) after total dietary replacement of fish oil with rapeseed oil. Effects of EPA and DHA supplementation. *Aquaculture*, 536: 736446. DOI:10.1016/j.aquaculture.2021.736446

Gunathilaka, G.L.B.E., Kim, M.G., Lee, C.h., Shin, J., Lee, B.J. and Lee, K.J., 2019. Effects of taurine supplementation in low fish meal diets for red seabream (*Pagrus major*) in low water temperature season. *Fisheries and Aquatic Science*, 22:23-33. DOI:10.1186/s41240-019-0138-z

Güroy, D., Karadal, O., Güroy, B., Emre, Y., Emre, N., Eraslan, D., Yallm, F., Mantoğlu, S. and Demir, A., 2024. Dietary taurine improves the growth performance, health status and liver histopathology of meagre (*Argyrosomus regius*) fed a reduced fish meal diet. *Annals of Animal Science*, *24*(3). DOI:10.2478/aoas-2024-0011

Hayyan, M., Hashim, M.A. and inashef, I.M., 2016. Superoxide ion: generation and chemical implications. *Chemical Review*, 116:3029-3085. DOI:10.1021/acs.chemrev.5b004070

Hoseini, M., 2017. A review on importance of taurine in aquaculture and it effect on fish growth and physiology**.** *Journal of Aquatic*

Clerton, P., Troutaud, D., Verlha, V., Gabraudan, J. and Deschaux, P., 2001. Dietary vitamin E and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) phagocyte functions: effect on gut and on head kidney leucocytes. *Fish and Shellfish Immunology*, 11:1-13. DOI:10.1006/fsim.2000.0287

Dehghani, R., Oujifard, A., Mozanzadeh, M.T., Morshedi, V. and Bagheri, D., 2020. Effects of dietary taurine on growth performance, antioxidant status, digestive enzyme activities and skin mucosal immune responses in yellowfin seabream, *Acanthopagrus latus*. *Aquaculture*, 517:734795. DOI:10.1016/j. aquaculture.2019.734795

Dong J., Cheng R., and Yang Y., 2018. Effects of dietary Taurine on growth, non-specific immunity, anti-oxidative properties and gut immunity in the Chinese Mitten Crab (*Eriocheir sinensis*). *Fish & Shellfish Immunology*. 82:212–219, DOI:10.1016/j.fsi.2018.08.029, 2-s2.0-85051756863

Drabkin, D.R., 1945. Crystallographic and optical properties of human hemoglobin: proposal for standardization of hemoglobin. *American Journal of Medicine Science*, 209:268-270. DOI:10.2331/ fishsci.62.938

Gasco, L., Gai, F., Maricchiolo, G., Genovese, L., Ragonese, S., Bottari, T., Caruso, G., Gasco, L., Gai, F., Maricchiolo, G. and Genovese, L., 2018. Sustainable alternatives for dietary fish oil in aquafeeds: actual situation and future perspectives. *Feeds for the Aquaculture*

juvenile yellow catfish, (*Pelteobagrus fulvidraco*) fed all-plant protein diets. *Aquaculture*, 450:349-355. DOI:10.1016/j.aquaculture.2015.08.013

Lim, S.J., Oh, D.H., Khosravi, S., Cha, J.H., Park, S.H., Kim, K.W., Lee, K.J., 2013. Taurine is an essential nutrient for juvenile parrot fish *Oplegnathus fasciatus*. *Aquaculture*, 414: 274–279. DOI:10.1016/j.aquaculture.2013.08.013

L**iu, D., Mi, J., Yan, X., Qin, C., Wang, J. and Nie, G., 2024.** Taurine alleviated the negative effects of an oxidized lipid diet on growth performance, antioxidant properties, and muscle quality of the common carp (*Cyprinus carpio L.*). *Aquaculture Nutrition*, 5205506. DOI:10.1155/2024/5205506

Magalhães, R., Martins, N., Martins, S., Lopes, T., Díaz-Rosales, P., Pousão-Ferreira, P., Oliva-Teles, A. and Peres, H., 2019. Is dietary taurine required for white seabream (*Diplodus sargus*) juveniles. *Aquaculture*, 502:296-302. DOI:10.1016/j.aquaculture.2018.12.019

Martins, N., Magalhaes, R., Castro, C., Couto, A., Díaz, P., Aires, R. and Teles, O., 2019. Taurine modulates hepatic oxidative status and gut inflammatory markers of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) fed plant feeds tuffs based diets. *Amino acids*, 51(9):1307-1321. DOI:10.1007/s00726-019-02769-4

Michelato, M., Furuya, W.M., Gatlin, D.M., 2018. Metabolic responses of Nile tilapia Oreochromis niloticus to methionine and *Utilization and Cultivation of Aquatics*, 6(3):51-59. DOI:10.22069/japu.2018.13422.1381.

Hoston, A.H., 1990. Blood and circulation. In: Shreck, C.B. and Moyle, P.B. (eds) Methods in fish biology. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, pp. 273-335.

Huang, M., Yang, X., Zhou, Y., Ge, J., Davis, D.A., Dong, Y., Gao, Q. and Dong, S., 2021. Growth, serum biochemical parameters, salinity tolerance and antioxidant enzyme activity of rainbow trout (*Onchorhyncus mykiss*) in response to dietary taurine levels. *Marine Life Science and Technology*, 1-14. DOI:10.1007/s42995-020-00088-2

Huxtable, R.J., 1992. Physiological actions of taurine, *Physiological Reviews*, 72(1):101-163. DOI:10. 1152/physrev.1992.72.1.101

Keramat Amirkolaie, A.K., Shahkolaie, M.D., Karimzadeh, S. and Khalesi, M., 2014. The potential of soya oil industry products as oil alternatives in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diet. *Aquaculture International*, 22:1093-1103. DOI:10.1007/s10499-013-9730-x

Lawrence, R.A. and Burk, R.F., 1976. Gluthatione peroxidase activity in selenium deficiency rat liver. *Biochemical and Biophysics Research Communications*, 71:952-958. DOI:10.1016/0006-291X(76)90747-6

Li, M., Lai, H., Li, Q., Gong, S. and Wang, R., 2016. Effects of dietary taurine on growth, immunity and hyperammonemia in

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(1):106-121. DDOI:10.1111/jwas.12778

Sadeghi, A., Pourmozaffar, S., Gozari, M., 2020. The effect of LivorGol medication on growth indices and gonadal development at different dietary fat levels in goldfish (*Carassius auratus*). *Animal Environment*, 12(1):323-330.

Salze, G.P. and 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

Schuller-Levis, G., Mehta, P.D., Rudelli, R. and Sturman, J., 1990. Immunologic consequences of taurine deficiency in cats. *Journal of Leukocyte Biolog*, 47:321-331. DOI:10.1016/j.aquaculture.2014. 12.006

Shi, Y., Hu, Y., Wang, Z., Zhou, J., Zhang, J., Zhong, H., Fu, G. and Zhong, L., 2021. The protective effect of taurine on oxidized fish-oil-induced liver oxidative stress and intestinal barrier-function impairment in juvenile *Ictalurus punctatus*. taurine supplementation. *Aquaculture*, 485: 66–72. DOI:10.1016/j.aquaculture.2017.11.003

Moss, D. and Henderson, A., 1999. Clinical enzymology. In: Burtis, C.A. and Ashwood, F.R. (eds) Tietz textbook of clinical chemisry. 3rd ed. WB Saunders Company, Philadelphia. 721 P.

Mozanzadeh, M.T., Bahabadi, M.N., Morshedi, V., Oujifard, A., Agh, N., Ghasemi, A., Maneii, K., Ebrahimi, H., Hamedi, S. and Tamadoni, R., 2024. Effects of dietary Taurine on maturation indices, antioxidant capacity, ovaries amino and fatty acids profile, and Vitellogenin gene transcription level in *Penaeus vannamei* Female Brooders. *Aquaculture Nutrition*, 2024(1):5532545. DOI:10.1155/2024/5532545

Nejatizadegan, P., Hayarati, P., Darafshan, S. and Morshedi, S., 2020. The effects of different levels of amino acid taurine in the diet on the colorability of pink barb fish (*Pethia conchonius*). *Aquatic Nutrition*, 6(2):48-39. DOI:10.22124/janb.2021.16792.1091

Parchami, A., Kabootari, J., Mohabi, A. and Pouyapur, V., 2022. Effects of aqueous extract of Panax ginseng on histomorphometric characteristics of liver and some biochemical parameters of blood serum in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Aquaculture Development*, 16(4):37–49.

Peter, N., Pradhan, C., Dileep, N., Musharraf, M. and Thazhakot

Japanese flounder. *Scientific Reports*, 6:21231. DOI:10.1038/srep21231

Winterbourn, C.C., Hawkins, R.E., Brian, M. and Carrell, R.W., 1975. The estimation of red cell superoxide dismutase activity. *The Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 85(2):337-341. DOI: 10.1016/0022-2143(75)90439-4

Xu, H., Zhang, Q., Kim, S.K., Liao, Z., Wei, Y., Sun, B., Jia, L., Chi, S. and Liang, M., 2020. Dietary taurine stimulates the hepatic biosynthesis of both bile acids and cholesterol in the marine teleost, tiger puffer (*Takifugu rubripes*). *British Journal of Nutrition*, 123:1345-1356. DOI:10.1017/S0007114520000161

Zhang, J., Che, C., Cai, M. and Hu, Y., 2022. Taurine improves health of juvenile rice field eel (*Monopterus albus*) fed with oxidized fish oil: Involvement of lipid metabolism, antioxidant capacity, inflammatory response. *Aquaculture Reports*, 27, 101388. DOI:10.1016/j.aqrep.2022.101388

Zhang, M., Qin, C., Sun, Z., Jiang, H., Wang, Z., Lin, Y. and Li, M., 2024. Taurine can play a positive role in growth, liver health and resistance to Aeromonas hydrophila of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) exposed to ammonia stress for a long time. *Aquaculture Reports*, 38:102347. DOI:10.1016/j.aqrep.2024.102347

Antioxidants, 10(11):1690. DOI:10.3390/antiox10111690

Siwicki, A.K., Anderson, D.P. and Rumsey, G.L., 1994. Dietary intake of immunostimulants by rainbow trout affects non-specific immunity and protects against furunculosis. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 41:125-139. DOI:10.1016/0165-2427(94)90062-0

Takagi, S., Murata, H., Goto, T., Ichiki, T., Endo, M., Hatate, H., Yoshida, T., Sakai, T.,Yamashita, H. and Ukawa, M., 2006. Efficacy of taurine supplementation for preventing green liver syndrome and improving growth performance in yearling red [sea bream (*Pagrus major*) fed low-fishmeal diet]. *Fisheries Science*, 72(6):1191-1199. DOI:10.1111/j.1444-2906.2006.01276.x

Takagi, S., Murata, H., Goto, T., Hatate, H., Endo, M., Yamashita, H., Miyatake, H. and Ukawa, M., 2011. Role of taurine deficiency in inducing green liver symptom and effect of dietary taurine supplementation in improving growth in juvenile red sea bream (*Pagrus major*) fed non-fishmeal diets based on soy protein concentrate. *Fisheries Science*, 77(2):235-244. DOI:10.1007/s12562-011-0322-2

Wang, X., He, G., Mai, K., Xu, W. and Zhou, H., 2016. Differential regulation of taurine biosynthesis in rainbow trout and