کاربرد تائورین در تغذیه آبزیان

سید حسین مرادیان[1*]، اسماعیل کاظمی[1]، علیرضا قائدی[1]

۱-موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، مرکز تحقیقات ژنتیک و اصلاح نژاد ماهیان سردآبی شهید مطهری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران، صندوق پستی: ۵۷٤٥/۱۳۳

*moradian.s.h@gmail.com

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹٦ تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۹٦

چکیده

تائورین یا آمینو اتان سولفونیک -۲ محصول نهایی سوخت و ساز آمینو اسیدهای گوگردی است. تائورین در تخم مرغ، ماهی، گوشت و شیر وجود دارد ولی در پروتئین های گیاهی دیده نمی شود. غلظت تائورین در بافت‌هایی مثل قلب، قرنیه، عضله اسکلتی، مغز روده بزرگ، پلاسما، سلول های خونی و گلبول‌های سفید بالاست. بنابراین این اسیدآمینه نقش معنی داری در بیشتر فعالیت‌های فیزیولوژیک از جمله تثبیت غشاء، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، سم‌زدایی، تغییر پاسخ ایمنی، انتقال کلسیم، انقباضات عضلات قلبی، تکامل قرنیه، متابولیسم اسید صفراوی، تنظیم اسمزی و عملکردهای غدد درون ریز ایفا می کند. در گذشته تائورین به عنوان ماده غذایی ضروری در تغذیه ماهیان مطرح نبود. با این وجود مطالعات اخیر نشان می دهند که تفاوت های گسترده ای در قابلیت ساخت تائورین میان گونه های مختلف ماهیان مشاهده می شود و نقش کلیدی در تغذیه ماهیان و آبزیان ایفا می کند. آرد ماهی منبع اصلی پروتئین در صنعت غذای آبزیان بوده که به دلیل محدودیت منابع، فراهم نمودن آن هزینه بر است. طی سال های اخیر منابع پروتئین گیاهی، به صورت جزئی و یا کامل جایگزین آرد ماهی در این صنعت گردیده است. با این حال بیشتر اجزاء تشکیل دهنده غذا با منشاء گیاهی از نظر برخی آمینواسیدها از جمله تائورین که برای بهبود عملکرد سوخت و ساز آبزیان پرورشی به ویژه ماهیان گوشتخوار مطلوب هستند دارای محدودیت می باشند. منابع گیاهی همچنین از نظر تائورین یا واحدهای پیش سازنده آن مثل سیستئین یا متیونین دارای کمبود هستند. گنجاندن سطوح بالای منابع پروتئین گیاهی در تغذیه ماهیان، به دلیل ممانعت یا کاهش توانایی ساخت تائورین موجب اختلال در عملکرد ماهی می گردد. از سوی دیگر برخی ماهیان قادر به سنتز تائورین از سیستئین و متیونین هستند. در این مقاله مروری، منابع غذایی تائورین، نیازهای تغذیه ای در گونه های پرورشی و نقش های بیولوژیک تائورین شرح داده می شود.

کلمات کلیدی: آرد ماهی، تائورین، اسید آمینه، پروتئین گیاهی.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-08-19]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1396.4.4.5.7]

مقدمه

آرد ماهی منبع اصلی پروتئینی در صنعت غذای آبزیان بوده که به دلیل محدودیت منابع، دسترسی به آن بسیار پرهزینه و گران می باشد. در این میان منابع پروتئین گیاهی، به ویژه منابع روغن گیاهی، در طول چند دهه گذشته به صورت جزئی و یا کامل جایگزین آرد ماهی در این صنعت گردیده است. با این وجود بیشتر اجزاء تشکیل‌دهنده غذا با منشاء گیاهی در تعدادی از مواد مغذی همانند تائورین که برای بهبود عملکرد سوخت و ساز آبزیان پرورشی به ویژه ماهیان گوشتخوار مطلوب هستند دارای محدودیت می باشند. در طی چند دهه گذشته به طور گسترده ای اثرات سودمند تائورین بررسی شده است. با این حال اخیراً، تحقیقات مختلفی در زمینه اثرات تائورین بر فیزیولوژی، سوخت و ساز، پرورش و تغذیه در گونه های مختلف ماهیان دریایی و آب شیرین صورت گرفته است (El-Sayed, 2013). تائورین یا آمینو اتان سولفونیک -۲ محصول نهایی سوخت و ساز آمینو اسیدهای گوگردی است. تائورین در تخم مرغ، ماهی، گوشت و شیر وجود دارد ولی در پروتئین های گیاهی دیده نمی شود (دبیدی روشن و همکاران، ۱۳۹۰). در حال حاضر در متون علمی چاپ شده به زبان فارسی تقریباً هیچ گونه اطلاعاتی در مورد کاربرد و نقش های بیولوژیک تائورین در آبزیان وجود ندارد. بنابراین در این مقاله با بررسی پژوهش های مختلف صورت گرفته شده، منابع غذایی تائورین، نیازهای تغذیه ای در گونه های پرورشی طی مراحل مختلف رشد و تکامل ماهیان، انتقال و سنتز زیستی تائورین و نقش های بیولوژیک تائورین شرح داده می شود.

نیازهای تغذیه‌ای

نیاز غذائی مقداری از ماده مغذی است که جانور برای بقاء، حداکثر رشد، سلامت و غیره باید دریافت کند. احتمالاً ترکیب غذایی از طریق برهم کنش با سایر پارامترهای محیطی، دسترسی زیستی مواد مغذی و در نتیجه محتوی جیره مورد نیاز جهت بر آورده کردن نیازهای غذایی موجود را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اگرچه تغییر ترکیب غذایی نباید تأثیر زیادی بر نیازهای تغذیه‌ای موجود بگذارد. از سوی دیگر، بیماری، مرحله تکاملی و چرخه تولید مثلی ممکن است بر نیازهای تغذیه ای تأثیر گذار باشند. بنابراین، اصطلاح "نیازهای مشروط[1]" به معنی چنین تغییرات بیولوژیکی است نه استفاده از مواد غذایی ویژه. در مورد تائورین استفاده از منابع مختلف غذایی از محصولات نیمه تخلیص شده[2] مانند کازئین و ژلاتین گرفته تا پروتئین های گیاهی، آردماهی تهیه شده از طریق شستشوی اتانولی[3] که فاقد تائورین بوده و یا دارای مقدار تائورین به شدت پایینی هستند، ضرورت این ماده مغذی برای گونه های آسیب‌پذیر تایید شده است (Salze and Davis, 2015).

در ارتباط با اثرات ترکیب غذایی و سایر فاکتورهای زیست محیطی بر دسترسی زیستی و متابولیسم تائورین اطلاعات محدودی وجود دارد. با این وجود، مطالعات مختلف تاکید ویژه‌ای بر اهمیت چنین برهم کنش‌هایی دارند. به عنوان مثال غنی‌سازی جیره غذایی فاقد آرد ماهی با تائورین، منجر به بهبود رشد و کارایی تغذیه شد (Gaylord *et al*., 2006, 2007). علاوه بر این سطوح تائورین سرم نیز افزایش یافت. این نتایج قویاً به ضروری بودن تائورین در این گونه‌ها تاکید می‌کنند. در ماهی قزل‌آلای رنگین کمان تغذیه شده با جیره غذایی بر پایه کازئین غنی شده با متیونین یا سیستئین، میزان تائورین عضله افزایش پیدا کرد (Yokoyama and Nakazoe, 1992). همچنین جیره‌های غذایی بر پایه پروتئین گیاهی غنی‌سازی شده با ترکیب آمینواسید فاقد تائورین، منجر به افزایش تائورین عضله شد که حاکی از فعالیت سنتز زیستی قابل توجه تائورین است (Yamamoto *et al*., 2012). هنوز مشخص نیست که آیا استفاده از مکمل تائورین در جیره غذایی، نقص عملکرد رشد را به طور کامل مرتفع می سازد.

مرحله بچه ماهی[4]

از آنجا که تائورین به عنوان یک ماده مغذی ضروری مطرح است، باید نیازهای کمی گونه های مختلف تعیین شود. با مقایسه پژوهش‌های صورت گرفته شده در گونه‌های مختلف می‌توان به این نتیجه رسید که پاسخ به تائورین به نوع گونه بستگی دارد. بیشتر تحقیقات بر روی گونه‌های دریایی گوشتخوار از جمله کوبیا[5]، کفشک ژاپنی[6]، سیم دریایی قرمز[7]

[1] - Conditional requirement

[2] - Semi-purified products
[3] - Ethanol-washed fishmeal
[4] - Juvenile stage
[5] - Cobia
[6] - Japanese flounder
[7] - Red seabream

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-08-19]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1396.4.4.5.7]

یا دم زرد[8] صورت گرفته شده است که نتایج این تحقیقات حاکی از ضروری بودن تائورین در برخی گونه ها است. ضروری بودن تائورین در سایر گونه ها نیز تایید شده است. به عنوان مثال میزان مورد نیاز تائورین برای ماهی پمپانو ۰/۶۵ -۰/۵۴ درصد گزارش شده است (Salze *et al*., 2014a). میزان مورد نیاز تائورین در ماهی سی باس سفید[9] (*Atractoscion nobilis*) نیز، ۰/۹۹ درصد عنوان شده است (Jirsa *et al*., 2014).

اگرچه تقریباً تمام مطالعات ضروری بودن تائورین در گونه های دریایی را تایید کرده اند، الگو در گونه های آب شیرین به هیچ وجه واضح نیست. اضافه نمودن تائورین به جیره غذایی گربه ماهی کانالی و کپور معمولی برای رشد مفید نبوده در حالی که برخی شواهد نشان می‌دهند که قزل‌آلای رنگین کمان به تائورین نیاز دارد. تعیین سطوح مورد نیاز از روی عادات غذایی نیز مشکل است، با این وجود شواهد نشان می‌دهند که در جیره‌های بر پایه پروتئین گیاهی ماهی تیلاپیای نیل، تائورین به عنوان فاکتور محدودکننده مطرح است (Gonçalves *et al*., 2011)، در حالی که سطوح سنتز زیستی تائورین در ماهی تیلاپیای هیبرید قرمز حاکی از آن است که تولید درونی قادر است نیازهای این ماهی را برطرف سازد (Divakaran *et al*., 1992). همچنین در ماهی آزاد اطلس تناقضاتی در خصوص ضروری بودن تائورین در این گونه‌ها وجود دارد، اگرچه می‌توان این تناقضات را به مراحل تکاملی رشد و انتقال به زندگی دریایی توجیه نمود (Zarate and Bradley, 2007). علاوه بر این در تنها مطالعه صورت گرفته شده در خصوص تاثیر اندازه ماهی بر نیازهای تائورین، Qi و همکاران (۲۰۱۲)، نیاز ماهی ۶/۳ گرمی توربوت را ۱/۱۵ درصد و نیاز ماهی ۱۶۵/۹ گرمی را ۰/۶۴ درصد عنوان نموده‌اند. در مورد سایر گونه‌های آب شیرین اطلاعات محدودی وجود دارد ولی در گونه‌های دریایی که ارتباط نیاز تائورین و اندازه ماهی مطالعه شده است، الگوی مشابهی مشاهده نشده است. به طور کلی می‌توان گفت که ضروری بودن تائورین از اصول اکولوژیکی تبعیت نمی کند و به نوع گونه بستگی دارد.

مرحله لاروی

بخش زیادی از مطالعات لاروی بر روی گونه‌های گوشتخوار دریایی اجرا شده است. اندازه کوچک باعث شده است که پروش لاروی این گونه‌ها با چالش‌های خاصی همراه باشد. تا کنون جیره‌های تجاری مخصوص تغذیه آغازین توسعه خوبی نداشته و پرورش لاروی عموماً وابسته به تولید زئوپلانکتون‌هایی از جمله روتیفر و آرتمیا است. این غذاهای زنده با استفاده از ترکیبات تجاری حاوی مواد مغذی ضروری از جمله اسیدهای آمینه و اسیدهای چرب به شدت غیراشباع غنی‌سازی می‌شوند. غنی‌سازی غذای زنده با مکمل‌های تائورین در بیشتر گونه‌ها به استثنای سیم دریایی قرمز و باس دریایی سفید مفید بوده است. پیشرفت‌هایی در میزان رشد، بازماندگی و همچنین تکامل مورفولوژیکی و فعالیت آنزیم‌های گوارشی حاصل شده است (Salze and Davis, 2015).

منابع تائورین

همانند سایر مواد مغذی می‌توان تائورین مورد نیاز جیره را از دو طریق ترکیبات خالص‌سازی شده (مصنوعی) و یا استفاده از ترکیبات طبیعی حاوی تائورین تأمین نمود. در بیشتر مطالعات از شکل کریستاله تائورین، جهت آزمایشات تعیین سطوح مورد نیاز تائورین، استفاده شده است. با این وجود، از آنجا که تائورین تقریباً همیشه به شکل آزاد در ترکیبات طبیعی یافت می‌شود، در نتیجه تائورین مصنوعی به خوبی توسط جانوران مصرف می‌شود. این مسأله قویاً مناسب و موثر بودن تائورین کریستاله را در مرتفع ساختن نیازهای گونه های مختلف تایید می‌کند.

Spitze و همکاران (۲۰۰۳)، در مطالعه گسترده‌ای به بررسی غلظت تائورین در ترکیبات مختلف موجود در جیره های غذایی دامی از جمله گوشت جانوران خشکی‌زی، لبنیات، غذاهای دریایی و همچنین برخی گیاهان و قارچها پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که سطوح تائورین دارای اختلافات چشمگیری در انواع ترکیبات بود (به عنوان مثال mg/kg ۱۱۲ در مخمر[10] در مقابل mg/kg ۳۲۰۱ در آرد ماهی). بنابراین انتخاب ترکیبات اولیه، سطوح تائورین موجود در جیره را تحت تأثیر قرار می‌دهد که به نوبه خود مقدار تائورین خالص‌سازی شده که باید به جیره اضافه شود تا نیازهای ماهی

[8] - Yellowtail

[9] - White seabass

[10] - Yeast

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-08-19]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1396.4.4.5.7]

مرتفع گردد، را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. محتوی تائورین اجزاء مشخص جیره‌غذایی می‌تواند دارای اختلافات چشمگیری باشد، به عنوان مثال دامنه تغییرات میزان تائورین موجود در آرد ضایعات کشتارگاهی که یکی از منابع پروتئینی متداول است بر اساس وزن خشک بین mg/kg ۵۳۵۲- ۱۸۹۴ است (Spitze *et al*., 2003). در سایر اجزاء اساسی جیره از جمله آرد ماهی و دیگر آردهای حیوانی مورد استفاده نیز اختلافات معنی‌داری مشاهده شده است.

انتقال و سنتز زیستی تائورین

خصوصیاتی از جمله حلالیت در آب و شکل مولکولی آزاد سبب شده است که هدررفت تائورین زیاد باشد. با این حال، با توجه به مدت زمان کوتاه تماس غذا با آب در حین تغذیه بچه ماهیان سالم، میزان هدررفت تائورین ناچیز است. واکنش میلارد[11] نوعی واکنش غیر آنزیمی[12] بین اسید آمینه و یک قند کاهنده[13] است که یک کمپلکس اسیدآمینه - قند ایجاد می‌کند که قابلیت دسترسی زیستی ندارد[14]. گزارشاتی وجود دارد که تائورین در حضور گرما و آب، نسبت به واکنش میلارد آسیب پذیر است. بدلیل آنکه شرایط طی فرایند اکستروژن می‌تواند زمینه‌ساز وقوع واکنش میلارد تائورین باشد، آزمایشاتی به منظور مقایسه پایداری تائورین در غذاهای اکسترود و پلت سرد و همچنین فراهمی زیستی در ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (Gaylord *et al*., 2014) و رد درام (*S. ocellatus*) (Gatlin *et al*., 2014) اجرا شد. تغییری در میزان تائورین قبل و بعد از تولید اکسترود مشاهده نشد که نشانگر عدم هدررفت تائورین ناشی از فرآیند اکستروژن است. همچنین با نگهداری غذا بعد از ۲۱۴ روز هدررفت معنی‌داری مشاهده نشد.

تائورین از طریق یک انتقال‌دهنده Na^+/Cl^- اختصاصی وابسته به تائورین[15] (TauT) توسط اپیتلیوم روده جذب می‌شود. در پستانداران ترکیباتی شناسایی شده‌اند که به طور اختصاصی از جذب تائورین در روده ممانعت می‌کنند که به عنوان فاکتورهای ضدتغذیه ای قلمداد می‌شوند. از جمله آن‌ها می‌توان به آمینواسیدهای بتا از جمله بتا آلانین و هایپوتائورین یا ایزوفسفاتیدیل کولین که در دانه‌های کنجد[16] وجود دارد اشاره نمود. بنابراین احتمالاً فعالیت ضدتغذیه‌ای این مواد از جمله آمینواسیدهای بتا در ماهیان حفظ شده است[17] (Salze and Davis, 2015). مشاهدات نشان می‌دهند که میان تائورین و سایر فاکتورهای ضدتغذیه‌ای برهم کنش وجود دارد (Iwashita *et al*., 2008, 2009). اگرچه توجه کمی به تحقیقات در این زمینه شده است ولی درک عمیق‌تر بر هم کنش‌ها میان فاکتورهای ضد تغذیه‌ای (به تنهایی یا به صورت ترکیبی) و دسترسی زیستی و متابولیسم تائورین و سایر مواد مغذی می‌تواند نقش بسیار ارزشمندی در بهبود تخمین نیازهای تغذیه‌ای و سطوح ضروری مکمل‌سازی در خوراک‌های مختلف ایفاء کند (NRC, 2011).

با توجه به کوچک‌تر بودن و طولانی‌تر بودن زمان شناوری غذا در ستون آب در پرورش لاروی در مقایسه با بچه ماهیان، هدررفت یکی از دغدغه‌های اصلی طی این دوره است. یکی از روش‌های انتقال مواد مغذی حلال در آب، اضافه نمودن این مواد در محیط‌های کشت غذاهای زنده از جمله روتیفر و آرتمیا است. با این وجود، مصرف کم[18] و نرخ ماندگاری پایین مواد مغذی در بدن زئوپلانکتون‌ها[19] باعث ایجاد مقادیر زیاد هدررفت مواد مغذی می‌شود. یکی از راه‌های بهبود چشمگیر کارایی انتقال، کپسوله‌کردن مواد مغذی در حامل‌های آب دوست[20] از جمله اسپری واکس قبل از اضافه نمودن به محیط کشت پرورشی غذاهای زنده است. استفاده از این روش در مقایسه با روش سنتی غنی‌سازی از طریق حمام، مقدار تائورین مورد نیاز را به یک هشتادم روش سنتی کاهش داد، در حالی که رشد و بازماندگی لاروی حفظ شد. بنابراین، روش یاد شده انتقال می تواند نیازهای تائورین لاروی را برطرف

[11] - Maillard reaction

[12] - The non-enzymatic browning reaction

[13] - Reducing sugar

[14] - Non-bioavailable amino acid-sugar complex

[15] - Na^+/Cl^- dependent taurine transporter

[16] - Sesame seeds

[17] - Conserved

[18] - Low drinking

[19] - Nutrient retention rates of live prey

[20] - Hydrophobic carriers

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-08-19]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1396.4.4.5.7]

سازد. با این وجود میزان تائورین بدن لاروهای تغذیه شده با تائورین کپسوله شده نسبت به لاروهای تغذیه شده با روتیفرهای غنی شده با تائورین محلول کمتر بود که نشان می دهد که دسترسی تائورین کپسول شده کاهش یافته است (Salze and Davis, 2015).

نقش‌های بیولوژیک تائورین

در فیزیولوژی پستانداران وظایف متنوعی را به تائورین نسبت داده‌اند، ولی در واقع دانش کنونی از عملکردهای تائورین در ماهیان استخوانی عالی محدود است. در ماهیانی که تائورین به عنوان ماده مغذی ضروری شناخته شده است، در تمامی موارد رشد ضعیف و کاهش بازماندگی طی کمبود تائورین مشاهده شده است. با این حال این علائم اطلاعات کافی و واضحی از نقش‌های تائورین ارائه نمی‌دهند. در برخی گونه‌ها، کمبود تائورین منجر به سندرم کبد سبز[۲۱]، کاهش میزان هماتوکریت و تلفات بالا که معمولاً همراه با کاهش مقاومت به بیماری هستند، شده است. دو عامل کاهش ترشح رنگدانه‌های صفرا و تولید بیش از اندازه بیلی وردین همولیتیک[۲۲] در نتیجه کمبود تائورین منجر به ایجاد سندرم کبد سبز می‌شود (Kim *et al*., 2007; Takagi *et al*., 2005, 2010, 2011). علاوه بر این به نظر می رسد تائورین با تأثیر بر تنظیم اسمزی و تثبیت غشاء زیستی در ماهیان در سرکوب همولیتیک نقش دارد (Takagi *et al*., 2006a). نقش تائورین در فرایندهای متعدد بیولوژیکی، مشکلات فیزیولوژیکی و تغییرات بافت شناسی متعددی در زمان کاهش غلظت و یا کمبود تائورین در جیره غذایی گزارش شده است.

اثرات تائورین بر رشد

یکی از واضح‌ترین و متداول‌ترین علائم گزارش شده کمبود تائورین، کاهش رشد است. با این وجود، کاهش رشد از علائم متداول بسیاری از وضعیت‌های تغذیه نامناسب است و بنابراین شاخص خوبی در تشخیص کمبود تائورین نمی‌باشد. مواد مغذی بعد از اینکه در اختیار ماهی قرار می‌گیرند، بخشی از آن صرف متابولیک جهت بقاء، هضم و غیره می‌شوند و باقیمانده آن که در بافت‌ها ذخیره شده منجر به رشد می‌گردد. برخی از اسیدهای آمینه محرک اشتها هستند، لذا اگر تائورین دارای این اثر باشد، افزایش در میزان مصرف غذا توجیه کننده افزایش رشد خواهد بود. با این وجود، اضافه نمودن تائورین اغلب همراه با بهبود کارایی غذائی[۲۳] است. علاوه بر این، تائورین تنها اثرات تحریک کنندگی محدودی بر رشد در ماهی سی بریم قرمز[۲۴] (Fuke *et al*., 1981) داشته است و در ماهی مرمری صخره‌ای[۲۵] (*Sebasticus marmoratus*) (Takaoka *et al*., 1990) نقش بازدارنده داشته است. بنابراین بهبود رشد ناشی از تائورین باید از طریق مکانیسمی دیگر باشد. توجهات زیادی بر نقش تائورین در تنظیم اسمزی در ماهی و سایر گونه‌ها شده است (Huxtable, 1992; Takagi *et al*., 2006a). در ماهیان، تنظیم اسمزی غیرمستقیم ناشی از افزایش ضخامت پوست ماهیان تغذیه شده با جیره حاوی سطوح بالای تائورین توصیف شده است (Kato *et al*., 2014). علاوه بر این از آنجا که سایر اسیدهای‌آمینه آلفا از جمله گلایسین و آرژنین در تنظیم اسمزی ماهیان نقش دارند، می توان این فرضیه را مطرح کرد که تائورین با ایفای عملکرد تنظیم اسمزی باعث صرفه جویی در مصرف این اسیدهای آمینه می‌شود و متعاقباً گلایسین و آرژنین در ساخت پروتئین و تولید انرژی عمل می‌کنند. با این وجود تاکنون هیچ پژوهشی این فرضیه را بررسی نکرده است.

به طور کلی، کاهش رشد ناشی از کمبود تائورین همراه با کاهش کارایی غذائی و کارایی پروتئین گزارش شده است (Aksnes *et al*., 2006; Chatzifotis *et al*., 2008; Kim *et al*., 2003, 2005; Matsunari *et al*., 2008). علاوه بر این، تعداد کمی از مطالعات نیز به تغییرات ترکیب بدن در واکنش به سطوح مختلف تائورین جیره اشاره کرده‌اند. مقایسه مطالعات در گونه‌ها، جیره‌های غذایی و شرایط پرورشی گوناگون باید با دقت بالا صورت گیرد، با این حال روند کلی کاهش محتوی چربی بدن در زمان استفاده از سطوح مختلف تائورین مشاهده شده است (Espe *et al*., 2012a; Qi *et al*., 2012; Salze *et al*., 2014b; Yun *et al*., 2012). اگرچه در برخی گونه ها از جمله ماهی آزاد اطلس (Espe *et al*., 2012a, 2012b) و rodents (Tsuboyama-Kasaoka

[21] - Green liver syndrome

[22] - Hemolytic biliverdin overproduction

[23] - Feed efficiency

[24] - Red sea bream

[25] - Marbled rockfish

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-08-19]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1396.4.4.5.7]

et al., 2006) عکس این الگو مشاهده شده است. همچنین شواهد نشان‌دهنده وجود اختلاف ناشی از اندازه ماهی هستند. اگرچه اختلال در ذخیره مواد مغذی، توجیه کننده کاهش کارایی غذائی و پروتئین است، با این حال، مکانیسم دخیل در چنین اختلالی بواسطه کمبود تائورین (که توضیح دهنده مغایرت ذکر شده در بالاست) مبهم مانده است. Bañuelos-Vargas و همکاران (۲۰۱۴)، مشاهده کردند که در کبد بچه ماهیان ماهی Totoaba بعد از جایگزینی ۳۰ تا ۶۰ درصد آردماهی با کنسانتره پروتئین سویا، آنزیم‌های کلیدی میانجی در متابولیسم (کاتابولیسم آسیدهای آمینه و چرخه گلوکونئوژنز) کاهش معنی‌داری داشتند. افزودن تائورین به جیره فعالیت‌های آنزیمی را به طور کامل به سطوح مشابه جیره غذایی شاهد حاوی آرد ماهی احیاء نمود. این نتیجه بیانگر نقش چشمگیر تائورین به عنوان میانجی در متابولیسم و مصرف مواد مغذی است. یکی از احتمالات مفروض آن است که تائورین به عنوان مولکول سیگنال دهنده عمل می‌کند. این نقش در دستگاه گوارش موش مشاهده شده است، که جیره تائورین از طریق اتصال به گیرنده‌های گاما بوتیریک اسید[۲۶] (GABA) ترشح اسیدهای معدی را تحریک نموده است. به طور مشابهی، تائورین از طریق فعال‌سازی مسیر ERK[۲۷] باعث فعالیت آلکالین فسفاتاز و سنتز کالوژن در سلول‌های استخوان ساز کشت داده شده[۲۸] را تحریک می‌کند، اگرچه انتقال دهنده در این مورد، اختصاصی تائورین است. علاوه بر این مشاهده شده که تائورین از طریق استئوکلاست‌ها[۲۹] از تخریب استخوانی[۳۰] جلوگیری می‌کند. در جمع‌بندی می‌توان گفت که تائورین نقش مستقیم در متابولیسم استخوان دارد و تا اندازه‌ای توجیه‌کننده کاهش رشد مشاهده شده طی شرایط محدودیت تائورین است. قطعاً برای روشن شدن این مکانیسم‌ها در ماهیان به تحقیقات بیشتری نیاز است (Salze and Davis, 2015).

هضم چربی و سنتز نمک‌های صفراوی

اسید آمینه تائورین در ساخت و سنتز نمک‌های صفراوی (که برای هضم و جذب چربی‌های روده‌ای ضروری هستند) نقش دارد. اصطلاح نمک‌های صفراوی شامل ترکیب اسیدهای صفراوی و الکل صفراوی است که هر دوی آن از مسیرهای پیچیده کلسترولی مشتق می‌گردند. منشاء این ساختار در نتیجه خاصیت آبگریزی اولیه الکل صفراوی است. ویژگی دو خصلتی بودن که لازمه حل میسلی چربی‌های غذایی است از طریق ترکیب نمک (از طریق استری شدن) و سولفات برای الکل‌های صفراوی حاصل می‌شود یا از طریق N –آسیلاسیون با گلیسین، تائورین و یا آنالوگ‌های تائورین برای اسیدهای صفراوی ایجاد می‌شود(Salze and Davis, 2015).

نمک‌های صفراوی به عنوان مولکول‌های کوچک، دارای بیشترین تنوع ساختار شیمیایی در مهره‌داران هستند و ترکیب صفرا دارای ویژگی اختصاصی بودن در گونه‌ها است. بنابراین با وجود بیش از ۳۰۰۰۰ گونه ماهی، ترکیب صفرای ماهیان بیانگر این تنوع است. با این وجود، در ماهیان استخوانی، همه ترکیبات اسیدهای صفراوی توصیف شده، از طریق اتصال با تائورین حاصل شده‌اند و بیشتر گونه‌های ماهیان پرورشی تنها تمایل به ترشح اسیدهای صفراوی C_{24}، کولیک اسید و اسید کنودزوکسی الکلیک[۳۱] دارند. یک سری استثنائات مهم در ماهی‌هایی نظیر ماهیان خاویاری و پاروپوزه‌ها هستند که در آن‌ها نسبت‌های الکل صفراوی C_{27} یافت می‌شوند و در کپورماهیان نیز سولفات سیپرینول ۵ آلفا[۳۲] اصلی‌ترین منبع نمک‌های صفراوی هستند (Hofmann *et al*., 2010).

علاوه بر این، اسیدهای صفراوی ماهی سی بریم سر طلایی[۳۳] (*Sparus aurata*) و سی بریم قرمز (*P. major*) نیز با اسید

[26] - γ-aminobutyric acid

[27] -Extracellular signal regulated protein kinase

[28] - Cultured osteoblasts

[29] - Osteoclasts

استئوکلاست‌ها سلول‌ها چند هسته‌ای مسئول جذب استخوان هستند. اینها سلول-های استخوان‌خوار هستند. این سلول‌ها ماتریکس را جذب می‌کنند. سپس استخوان جدید به توسط استئوبلاست جایگزین می‌شود. استئوکلاست‌ها مانند رفتگرهایی هستند که مرتبا قسمت‌های معیوب از ماتریکس را برداشت می‌کنند تا قسمت‌هایی نو و سالم جایگزین آن شود

[30] - Bone resorption

[31] - Chenodeoxycholic acid

[32] - 5α-cyprinol sulfate

[33] - Gilthead sea bream

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-08-19]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1396.4.4.5.7]

دی- سیستنولیک متصل می‌شوند که از نظر ساختاری مشابه با تائورین بوده و به نظر می‌رسد منشاء آن جیره غذایی است. وقتی که عمل باند شدن صورت گرفت، قطب آب دوست از طریق سلول‌های روده‌ای[۳۴]، مانع از جذب مجدد غیرفعال شده و در این صورت، بیشتر املاح باند شده به طور فعال در روده بزرگ جذب می‌شوند و در نتیجه موجب حفظ غلظت کافی در روده می‌شود. بعد از باز جذب، نمک‌های صفراوی به کبد رفته و در آن جا به کیسه صفرا می‌روند. این فرایند چرخه ی روده‌ای کبدی[۳۵] گفته می‌شود. در طی این انتقال، نمک‌های صفراوی ممکن است تحت تأثیر فون روده دچار تغییراتی شوند (Hofmann *et al*., 2010). اگر چه اتصال اسیدها و الکل‌های صفراوی ممکن است توسط باکتری‌های روده‌ای جدا شوند و اسیدهای صفراوی به طور غیرفعال در این شکل قابلیت باز جذب داشته باشند ولی الکل‌های صفراوی این قابلیت را ندارند. بنابراین، انفصال بیش از حد، موجب اختلال در هضم لیپید می‌شود و این منجر به کاهش بیش از حد کلسترول در گونه‌هایی می‌شود که در آن‌ها الکل صفراوی یک نسبت زیادی از املاح صفراوی را شامل می‌شود.

شواهد تجربی نشان می‌دهند که اضافه نمودن تائورین در جیره غذایی برخی ماهیان استخوانی موجب افزایش مقدار املاح صفراوی می‌شود (Kim *et al*., 2007, 2014)، اگرچه به نظر می‌رسد املاح صفراوی ارتباطی با سطوح لیپید غذایی نداشته باشد. با این وجود، منبع پروتین غذایی نظیر آرد ماهی، کنجاله سویا و کنجاله سویای فرآوری شده بر مقدار مواد صفراوی و همچنین ترکیب املاح صفراوی اثر دارد و در قزل آلای رنگین کمان این اثر تایید شده است (Murashita *et al*., 2013)، به طوری که نسبت اسید تائوروکولیک[۳۶] به اسید تائورچنوداکسی کولیک[۳۷] بین ۰/۸۹ تا ۱۱/۹۰ متغیر است. احتمالاً در پرتو یافته‌های اخیر در مورد سایر نقش‌های صفرا از جمله نقش سیگنالی، فعالیت اسمزی یا فعالیت‌های هورمونی اهمیت کاربردی این نتایج مبهم مانده است. یاماماتو و همکاران (۲۰۰۷)، نشان داده‌اند که افزودن ۱/۵ درصد املاح صفراوی به جیره غذایی بدون آرد ماهی (جیره بر پایه ذرت و سویا) ماهی قزل آلای رنگین کمان موجب افزایش رشد، هضم‌پذیری لیپید و تغییرات ساختاری در روده می‌شود. با این حال در گونه‌های حساس به کمبود تائورین، نظیر(*p.major*) ، مکمل اسید تاراکولیک برای بازیابی رشد و محتوی املاح صفرا ناکافی بود در حالی که اضافه نمودن تائورین این نقیصه‌ها را بر طرف ساخت (Matsunari *et al*., 2008).

نقش تائورین در سلامت و ایمنی

شواهد نشان می‌دهد که تائورین به عنوان یک تنظیم کننده بالقوه پاسخ ایمنی و التهابی در پستانداران و انسان عمل می‌کند. تائورین در ارتباط با برخی شاخص‌های سلامتی می‌باشد که از آن جمله می‌توان به ترمیم بافتی، کاهش اثرات فلزات سمی[۳۸] و همچنین کاهش اثرات سمیت کبدی لیپو پلی ساکارید باکتریایی[۳۹] اشاره نمود. بسیاری از این فعالیت‌ها ناشی از دو مکانیسم پیوسته هستند. اولین مکانیسم با خنثی سازی گونه های اکسایشی است که محصولات آن از طریق تغییر بیان ژن لوکوسیت در تنظیم واکنش های التهابی نقش دارد. در این مکانیسم پیشنهادی، اسید هیپوکلوروس[۴۰] (HOCl) در طی فعالیت انفجار تنفسی لوکوسیت (معمولاً گرانولوسیت‌های نوتروفیل) از طرق مسیر میلوپراکسیداز[۴۱] تولید می‌شود. HOCL یک اکسیدان با قابلیت سمیت سلولی در از بین بردن عوامل بیماری‌زا است با این حال به همان اندازه برای سلول‌های میزبان سمی است. تائورین با HOCL برای تولید کلرآمین تائورین[۴۲] (Tau-Cl) واکنش می‌دهد و موجب کاهش استرس اکسیداتیو می‌شود. دومین مکانیسم از طریق کلرامین تائورین است که با ممانعت از تولید واسطه های پیش التهابی از جمله TNF-α، PGE_2 و نیتریک اکساید و همچنین تنظیم تکثیر لنفوسیت‌ها، فعالیت ماکروفاژها و گرانولوسیت‌ها و تولید اینترلوکین ۶ و ۸ در تغییر پاسخ

[34] - Enterocytes

[35] - Enterohepatic circulation

[36] -Taurocholic acid

[37] -Taurochenodeoxycholic acid

[38] -Alleviation of metal toxicity

[39] -Bacterial lipopolysaccharide hepatotoxicity

[40] -Hypochlorous acid

[41] -Myeloperoxidase pathway

[42] -Taurine chloramine

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-08-19]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1396.4.4.5.7]

التهابی عمل می‌کند. هنوز مشخص نیست که آیا این مکانیسم در ماهیان وجود دارد یا خیر. رابطه بین متیونین و ایجاد تیرگی چشم[۴۳] در ماهیان به خوبی مشخص شده است. با این حال، تائورین فاقد نقش حفاظتی در برابر ایجاد تیرگی چشم است. با این وجود، شواهد زیادی نشان می‌دهند تائورین نقش مهمی در سلامت و ایمنی ماهی ایفا می‌کند (Salze and Davis, 2015).

در برخی موارد از جمله در انسان تائورین با کاهش هماتوکریت همراه است. کاهش هماتوکریت در ماهی *S.quinderatiate* مشاهده شده است، به طوری که در ماهیان با کمبود تائورین، کم خونی همولوتیک و کاهش معنی‌داری غلظت‌های تائورین کبدی و پلاسما و همچنین کاهش اسمولاریتی سرم و تحمل اسمزی گلبول‌های سفید مشاهده شد. برعکس، کمبود تائورین در ماهی *P. major*، کاهش معنی‌داری در تعداد گلبول‌های قرمز، غلظت هموگلوبین یا هماتوکریت ایجاد نکرد، اگرچه روند کاهشی مشاهده شد (Takagi *et al*., 2011). علاوه بر این در ماهی کپور علفخوار اثرات مثبت تائورین بر سلامت مشاهده شده است. اگرچه تائورین اثری بر روی رشد این گونه‌ها ندارد، یانگ و همکاران (۲۰۱۳)، نشان دادند که سرعت همولیز کمتر در ارتباط با تحمل هیپوکسی حاد است. بنابراین علی رغم اینکه سطوح پایین تائورین در ماهی کپور علفخوار و سایر گونه‌های غیرگوشتخوار منجر به افزایش رشد نمی‌شود ولی با در نظر گرفتن جنبه‌های سلامتی آن، استفاده از تائورین در جیره غذایی این ماهیان توصیه می‌شود.

مطالعات خیلی کمی رابطه احتمالی بین تائورین و مقاومت به بیماری در ماهی را مورد بررسی قرار داده‌اند. مایتا و همکاران (۱۹۸۸)، مشاهده کرده‌اند که در ماهی *S.quinderatiate* تغذیه شده با جیره فاقد آرد ماهی رشد یکسانی نسبت به گروه شاهد با جیره حاوی آرد ماهی داشت، ولی نسبت به آلودگی‌های باکتریایی آسیب پذیرتر بودند. در دومین مطالعه، این محققین مشاهده کردند که اضافه نمودن تائورین در جیره‌های فاقد آرد ماهی موجب کاهش مرگ و میر شد به طوری که این میزان مشابه با مرگ و میر مشاهده شده در ماهی‌های تغذیه شده با جیره‌های شاهد حاوی آرد ماهی بعد از مواجهه باکتریایی بود (Maita *et al*., 2006). اینکه آیا بهبود مقاومت در برابر بیماری حاصل از تائورین ناشی از افزایش فعالیت لوکوسیت، کاهش استرس اکسیداتیو حاصل از التهاب و یا سایر مکانیسم‌ها است، هنوز مشخص نشده است، با این وجود این یافته ها موید این فرض هستند که تائورین دارای خواص تنظیم ایمنی در ماهی است.

نقش آنتی‌اکسیدان تائورین

یکی از متداول‌ترین مزیت‌های ذکر شده تائورین در منابع علمی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن می‌باشد که اغلب همراه با ویژگی‌های محافظت کنندگی سلولی است. علاوه بر نقش ذکر شده در واکنش با HOCl، تائورین سطوح پراکسیداسیون چربی‌ها را نیز کاهش می‌دهد. هر چند نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری مستقیم فعالیت به دام‌اندازی رادیکال‌های[۴۴] آزاد نشان می‌دهد که تائورین در حذف رادیکال‌های مختلف از جمله پراکسید هیدروژن، سوپراکسید اکسیژن یا پراکسی نیتریت ضعیف است.

احتمالا تائورین چه به صورت غیرمستقیم همراه با Tau-Cl یا مستقیم تولید گونه‌های فعال اکسیژن را در اولین مکان تنظیم و کنترل می‌کند. نمونه‌ای از تاثیر مستقیم تائورین در میتوکندری مشاهده شده است. وقتی که سلول‌های تشکیل دهنده قلب یا کاردیومیوسیت‌ها[۴۵] در محیط حاوی تائورین کم کشت داده شدند، اختلال در زنجیره انتقال الکترونی میتوکندریایی باعث ایجاد استرس اکسیداتیو و تولید آنیون-های سوپراکسیداز شد. اضافه نمودن دوباره تائورین به محیط کشت باعث انسجام زنجیره انتقال الکترونی و در نتیجه کاهش تولید آنیون‌های سوپراکسیداز شد. یکی از مکانیسم‌های احتمالی دخیل در این پدیده تغییر tRNA میتوکندرایی توسط تائورین در سطح آنتی کدون وابل[۴۶] است، به طوری که در صورت عدم تغییر توسط تائورین، ترجمه پروتئین‌های میتوکندریایی (شامل زیرواحدهای آنزیمی دخیل در زنجیره انتقال الکترونی) به شدت مختل می‌شود.

[43] -Cataract

[44] -scavenging activity

[45] -cardiomyocytes

[46] - wobble anticodon

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-08-19]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1396.4.4.5.7]

ارتباط بین تائورین و استرس اکسیداتیو در ماهی دم زرد[۴۷] *Seriola quinqueradiata* گزارش شده است (Sakai *et al*., 1998). علاوه بر این، تائورین منجر به ترمیم فعالیت کاتالازی و کاهش سطوح پراکسیداسیون چربی در ماهی *Totoaba macdonaldi* شده است (Bañuelos-Vargas *et al*., 2014). در گونه *Trachinotus carolinus* کمبود تائورین در رژیم غذایی به مدت ۱۶ روز، سبب کاهش معنی‌داری در محتوای پروتئین میتوکندریایی کبد همراه با کاهش محتوای تائورین گردید (Salze *et al*., 2014b).

عملکرد کبدی

تائورین به طور عمده در کبد ساخته می‌شود، اگرچه در مغز نیز تولید می‌گردد. بنابراین تعجب‌آور نیست که بیشتر داده‌های موجود حاکی از آن است که کمبود تائورین بیشترین تاثیر را بر کبد ایجاد می‌کند. سطوح تائورین کبدی متناسب با سطوح تائورین رژیم غذایی می‌باشد (Espe *et al*., 2012a; Matsunari *et al*., 2008) و در غلظت‌های بالاتر تائورین جیره به صورت ثابت باقی می‌ماند (Matsunari *et al*., 2006). با استدلال می‌توان ادعا کرد که عارضه کبد سبز بارزترین علامت کمبود تائورین در ماهی می‌باشد، اگر چه در همه گونه‌ها تایید نشده است. Takagi و همکاران در سال (۲۰۰۵) ارتباط بین کبد سبز و کمبود تائورین را در گونه *Seriola quinqueradiata* تایید کردند و کم خونی، افزایش رنگدانه‌های صفرا و مشاهدات بافت‌شناسی از رسوب هموسیدرین (فرم ذخیره شده آهن در کبد) در طحال نیز گزارش شد. بعدها مشخص شد که کبد سبز از انباشت رنگدانه صفراوی بیلی وردین حاصل می‌شود. کاهش تائورین سبب افزایش تخریب سلول‌های خونی می‌شود و هموگلوبولین آزاد شده به بیلی‌وردین تبدیل می‌گردد (Takagi *et al*., 2006b, 2011). با این حال، اگرچه در در گونه *Pagrus major*، وقوع بیماری کبد سبز در ارتباط با تولید رنگدانه‌ها است، ولی شواهد نشان می‌دهند که در گونه *Seriola quinqueradiata* کاهش دفع رنگدانه‌های صفراوی از کبد به صفرا منجر به افزایش دوبرابری تولید رنگدانه است (Takagi *et al*., 2005). Watanabe و همکاران (۱۹۹۸)، برخی از نشانه‌های عملکرد غیرعادی کبد از جمله کمبود فسفولیپید، کلسترول کل و سطوح کلسترول آزاد در خون را به عنوان ویژگی‌های عارضه کبد سبز در گونه *Seriola quinqueradiata* عنوان نموده‌اند که مشابه با مشاهدات گزارش شده در گونه *Pagrus major* است (Goto *et al*., 2001).

تولید مثل و رشد و نمو

در خصوص اثرات مکمل تائورین بر عملکرد تولیدمثلی مولدین در ماهی تنها یک مطالعه گزارش شده است (Matsunari *et al*., 2006). در این مطالعه ماهی مولد گونه *Seriola quinqueradiata* با رژیم غذایی حاوی ۴۰ درصد آرد ماهی و ۲۴ درصد آرد سویا به مدت ۵ ماه تغذیه شد و در ادامه با تزریق هورمون گنادوتروپین جفت انسانی تخم‌گیری و لقاح مصنوعی صورت گرفت. در گروه شاهد که با رژیم غذایی حاوی ۰/۱۷ درصد تائورین تغذیه شدند، تخم‌های بالغ مشاهده نشد و در نتیجه داده‌های تولیدمثلی در این گروه ثبت نشد. در مقابل دو گروه دیگر با اضافه نمودن ۰/۷۳ درصد و ۱/۲۳ درصد تائورین در جیره‌غذایی تخمک‌ها بالغ شدند و تخمریزی موفق بود، به طوری که در ماهیان تغذیه شده با غذای حاوی ۱/۲۳ درصد تائورین بهبود مشهود در کیفیت تخم مشاهده شد. شناوری، لقاح و تفریخ افزایش یافت ولی قطر تخم و قطر ذرات چربی اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. اگر چه در این تحقیق اثرات ضدتغذیه‌ای آرد سویای استفاده شده بررسی نشد، ولی نقش عمده تائورین در بلوغ این گونه به وضوح مشخص گردید. با این وجود با توجه به اینکه محتوی تائورین تخمک‌ها گروه‌های مختلف اختلافی با هم نداشتند، مکانیسم‌های تعیین کننده نقش تائورین در رسیدگی جنسی مشخص نشد. در آزمایشات بر روی موش (هم در شرایط آزمایشگاهی و هم در بدن) نقش عمده تائورین در تحریک ترشح تستوسترون به خوبی نشان داده شد (Yang *et al*., 2010). هر چند این اثرات در ماهی تایید نشده است.

یکی دیگر از مباحث مبهم نقش تائورین در تکامل جنینی و لاروی است که گزارشات نسبت به بچه ماهیان محدودتر است. ضروری بودن تائورین جیره در لارو برخی از ماهیان استخوانی عالی تایید شده است که همگی در ماهیان دریایی است. در تمام مطالعات گزارش شده در مراحل لاروی میزان محتوای تائورین لاروی متناسب با سطوح تائورین رژیم غذایی می‌باشد و اثرات مثبت بر رشد و بازماندگی بعد از تغییر جیره غذایی از غذای زنده به غذای دستی حاوی تائورین دیده شد.

[47] -jaundiced

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-08-19]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1396.4.4.5.7]

همچنین اثرات مثبتی در فعالیت آنزیم‌های گوارشی در گونه *Rachycentron canadum* مشاهده شده است (Salze *et al*., 2012). به ویژه فعالیت‌های اختصاصی آنزیم‌های آمیلاز و تریپسین در لاروهای تغذیه شده با مکمل تائورین به مدت ۲۰ روز پس از تخم‌گشایی بالاتر بود که احتمالاً دسترسی به مواد مغذی را در این ماهیان بهبود می‌دهد. علاوه بر این فعالیت آنزیم پپسین هم به دنبال استفاده از مکمل تائورین افزایش یافت، اگرچه تغییری در زمان شروع فعالیت آنزیم پپسین به وسیله رژیم غذایی ایجاد نشد. تاثیر بر تکامل مورفولوژیکی و دگردیسی در گونه‌های *Rachycentron canadum* و *Solea senegalensis* نیز به تائورین جیره نسبت داده شده است (Pinto *et al*., 2010; Salze *et al*., 2011). همانند سایر اثرات مشاهده شده تائورین، مکانیسم‌های دخیل در ایجاد اثرات تائورین بر رشد، بازماندگی و تکامل لاروی هنوز مبهم است. قطعاً نقش‌هایی که در بخش‌های قبلی بحث شده‌اند می‌توانند تا اندازه‌ای این نتایج را تفسیر کنند.

در پستانداران ارتباط میان کمبود تائرین با تخریب شبکیه چشم[48]، ناهنجاری-های سیستم اعصاب مرکزی[49] و سرکوب رشد مشخص شده است. اگر این اثرات در ماهیان وجود داشته باشند می‌توانند تا اندازه‌ای در مشخص نمودن اثرات تائورین در لارو ماهیان کمک کننده باشند.

نتیجه گیری

تائورین یک ماده مغذی با ساختار ساده است که تاکنون نقش‌های پیچیده بی‌شماری به آن نسبت داده شده است. اطلاعاتی در خصوص مکانیسم‌های سوخت و سازی و فیزیولوژی مرتبط با این نقش‌ها در پستانداران ارائه شده است، اما در ماهیان بویژه در مولدین و لاروها اطلاعات محدودی وجود دارد. با این وجود، شواهد نشان می‌دهند که تعداد گونه‌هایی که به این ماده مغذی نیاز واضح و واقعی دارند، رو به افزایش است. از جمله ویژگی‌های کمبود تائورین می‌توان به کاهش رشد، بازماندگی پایین، افزایش آسیب‌پذیری به بیماری‌ها و همچنین اختلال در رشد لاروها اشاره نمود. علاوه بر این در برخی از گونه‌ها ممکن است کمبود تائورین به صورت ایجاد سندرم کبد سبز ظاهر شود. هیچ کدام از این اثرات به طور کامل شرح داده نشده‌اند، اگرچه برخی فرضیه‌های ابتدایی بیان شده است. با این وجود با توجه به اینکه دانش نقش فیزیولوژی تائورین در ماهی جزئی و محدود است بنابراین، برای روشن شدن مکانیسم‌های دخیل در ایجاد نقش‌های تائورین باید تحقیقات بیشتری صورت گیرد.

با حذف ترکیبات غنی از تائورین از فرمولاسیون جیره‌های تجاری (کاربردی)، اضافه نمودن مکمل تائورین در جیره غذایی گونه‌های آسیب پذیر به منظور بهینه‌سازی تولید مورد نیاز خواهد بود. این مساله مستلزم ثبت و تایید تائورین به عنوان یکی از اجزاء مجاز جیره غذایی توسط نهادهای مرتبط است که در برخی کشورها از جمله چین اجرا شده است. انجام این کار به کارخانجات تولید غذای ماهی اجازه می‌دهد که با کم کردن محتوای آرد ماهی علاوه بر ارتقاء رشد و سلامت آبزی سبب بهبود وضعیت زیست محیطی و پایداری اقتصادی آبزی پروری گردد.

منابع

دبیدی روشن، و.ا.، کدخدایی، م. و چوبینه، س.و.، ۱۳۹۰. اثر مکمل تائورین بر پاسخ برخی بیومارکرهای آسیب قلبی به پروتکل تشخیصی بروس در بیماران با نارسایی قلبی. کومش- جلد ۱۳، شماره ۱.

Aksnes, A., Hope, B., Jönsson, E., Björnsson, B.T. and Albrektsen, S., 2006. Size-fractionated fish hydrolysate as feed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed high plant protein diets. I: Growth, growth regulation and feed utilization. Aquaculture, 261(1): 305–317.

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

[48] - Retinal degeneration

[49] - Central nervous system abnormalities

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-08-19]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1396.4.4.5.7]

(*Totoaba macdonaldi*). Comp. Biochem. Physiol. B Biochem. Mol. Biol. 170: 18–25.

Chatzifotis, S., Polemitou, I., Divanach, P. and 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-based diet. Aquaculture 275(1–4): 201–208.

Divakaran, S., Ramanathan, S. and Ostrowski, A.C., 1992. Endogenous production of taurine in two teleost fish: *Coryphaena hippurus* and red hybrid tilapia. Comp. Biochem. Physiol. B Comp. Biochem. 101(3): 321–322.

El-Sayed, A.M., 2013. Is dietary taurine supplementation beneficial for farmed fish and shrimp? a comprehensive review. Rev Aquac, 5: 1–15.

Espe, M., Ruohonen, K. and El-Mowafi, A., 2012a. Effect of taurine supplementation on the metabolism and body lipid-to-protein ratio in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquac. Res. 43(3): 349–360.

Espe, M., Ruohonen, K. and El-Mowafi, A., 2012b. Hydrolysed fish protein concentrate (FPC) reduces viscera mass in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed plant-protein-based diets. Aquac. Nutr. 18(6): 599–609.

Fuke, S., Konosu, S. and Ina, K., 1981. Identification of feeding stimulants for red sea bream in the extract of marine worm *Perinereis brevicirrus*. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 47(12): 1631–1635.

Gatlin III, D.M., Velasquez, A., Barrows, F.T. and Gaylord, T.G., 2014. Assessment of taurine bioavailability in pelleted and extruded diets with red drum *Sciaenops ocellatus*. Aquaculture America 2014, Seattle, WA.

Gaylord, T.G., Barrows, F.T., Teague, A.M., Johansen, K.A., Overturf, K.E. and Shepherd, B., 2007. Supplementation of taurine and methionine to all-plant protein diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 269(1–4): 514–524.

Gaylord, T.G., Gatlin III, D.M., Barrows, F.T., Nistler, A. and Pohlenz, C., 2014. Stability of synthetic taurine through extrusion processing and subsequent bioavailability to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture America 2014, Seattle, WA.

Gaylord, T.G., Teague, A.M. and Barrows, F.T., 2006. Taurine supplementation of all-plant protein diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). J. World Aquacult. Soc. 37(4): 509–517.

Gonçalves, G.S., Ribeiro, M.J.P., Vidotti, R.M. and Sussel, F.R., 2011. Taurine supplementation in diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. World Aquaculture 2011, Natal, Brazil, Meeting Abstract, 639 p.

Goto, T., Takagi, S., Ichiki, T., Sakai, T., Endo,M., Yoshida, T., Ukawa, M. and 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. Fish. Sci. 67(1): 58–63.

Hofmann, A.F., Hagey, L.R. and Krasowski, M.D., 2010. Bile salts of vertebrates: structural variation and possible evolutionary significance. J. Lipid Res. 51(2): 226–246.

Huxtable, R.J., 1992. Physiological action of taurine. Physiological Reviews, 72: 101–163.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-08-19]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1396.4.4.5.7]

Iwashita, Y., Suzuki, N., Yamamoto, T., Shibata, J.-i., Isokawa, K., Soon, A., Ikehata, Y., Furuita, H., Sugita, T. and Goto, T., 2008. Supplemental effect of cholyltaurine and soybean lecithin to a soybean meal-based fish meal-free diet on hepatic and intestinal morphology of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Fish. Sci. 74(5): 1083–1095.

Iwashita, Y., Suzuki, N., Matsunari, H., Sugita, T. and Yamamoto, T., 2009. Influence of soya saponin, soya lectin, and cholyltaurine supplemented to a casein-based semipurified diet on intestinal morphology and biliary bile status in fingerling rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Fish. Sci. 75(5): 1307–1315.

Jirsa, D.O., Davis, D.A., Salze, G.P., Drawbridge, M.A. and Rhodes, M.A., 2014. Taurine requirement for juvenilewhite seabass (*Atractoscion nobilis*) fedsoy-based diets. Aquaculture, pp: 422–423, 36–41.

Kato, K., Yamamoto, M., Peerapon, K., Fukada, H., Biswas, A., Yamamoto, S., Takii, K. and Miyashita, S., 2014. Effects of dietary taurine levels on epidermal thickness and scale loss in red sea bream, *Pagrus major*. Aquac. Res. 45(11): 1818–1824.

Kim, S.K., Takeuchi, T., Yokoyama, M. and Murata, Y., 2003. Effect of dietary supplementation with taurine, β-alanine and GABA on the growth of juvenile and fingerling Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). Fish. Sci. 69(2): 242–248.

Kim, S.-K., Takeuchi, T., Akimoto, A., Furuita, H., Yamamoto, T., Yokoyama, M. and Murata, Y., 2005. Effect of taurine supplemented practical diet on growth performance and taurine contents in whole body and tissues of juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). Fish. Sci. 71(3): 627–632.

Kim, S.K., Matsunari, H., Takeuchi, T., Yokoyama, M., Murata, Y. and 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(4): 595–601.

Kim, S.K., Kim, K.G., Kim, K.D., Kim, K.W., Son, M.H., Rust, M. and Johnson, R., 2014. Effect of dietary taurine levels on the conjugated bile acid composition and growth of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) (Hilgendorf). Aquac. Res. http://dx.doi.org/10. 1111/are.12431.

Maita, M., Maekawa, J., Satoh, K., Futami, K. and Satoh, S., 2006. Disease resistance and hypocholesterolemia in yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) fed a non-fishmeal diet. Fish. Sci. 72(3): 513–519.

Matsunari, H., Hamada, K., Mushiake, K. and Takeuchi, T., 2006. Effects of taurine levels in broodstock diet on reproductive performance of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). Fish. Sci. 72(5): 955–960.

Matsunari, H., Yamamoto, T., Kim, S.-K., Goto, T. and Takeuchi, T., 2008. Optimum dietary taurine level in casein-based diet for juvenile red sea bream (*Pagrus major*). Fish. Sci. 74(2): 347–353.

Murashita, K., Akimoto, A., Iwashita, Y., Amano, S., Suzuki, N., Matsunari, H., Furuita, H., Sugita, T. and Yamamoto, T., 2013. Effects of biotechnologically processed soybean meals in a nonfishmeal diet on

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-08-19]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1396.4.4.5.7]

growth performance, bile acid status, and morphological condition of the distal intestine and liver of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Fish. Sci. 79(3): 447–457.

NRC, 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. The National Academies Press, Washington, D.C. (360 p).

Pinto, W., Figueira, L., Ribeiro, L., Yúfera, M., Dinis, M.T. and Aragão, C., 2010. Dietary taurine supplementation enhances metamorphosis and growth potential of *Solea senegalensis* larvae. Aquaculture, 309(1–4): 159–164.

Qi, G., Ai, Q., Mai, K., Xu, W., Liufu, Z. and Yun, B., 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, pp: 358–359, 122–128.

Sakai, T., Murata, H., Endo, M., Shimomura, T., Yamauchi, K., Ito, T., Yamaguchi, T., Nakajima, H. and Fukudome, M., 1998. Severe oxidative stress is thought to be a principal cause of jaundice of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). Aquaculture, 160(3–4): 205–214.

Salze, G.P. and Davis, D.A., 2015. Taurine: a critical nutrient for future fish feeds. Aquaculture, 437: 215-229.

Salze, G., Craig, S.R., Smith, B.H., Smith, E.P. and McLean, E., 2011. Morphological development of larval cobia (*Rachycentron canadum*) and the influence of dietary taurine supplementation. J. Fish Biol. 78(5): 1470–1491.

Salze, G., McLean, E. and Craig, S.R., 2012. Dietary taurine enhances growth and digestive enzyme activities in larval cobia. Aquaculture, pp: 362–363, 44–49.

Salze, G.P., Davis, A.D. and Rhodes, M.A., 2014a. Quantitative requirement of dietary taurine in Florida pompano (*Trachinotus calorinus*). Aquaculture America, 2014, Seattle, WA.

Salze, G.P., Spangler, E., Cobine, P.A., Rhodes, M.A. and Davis, D.A., 2014b. Investigation of biomarkers of taurine deficiency in Florida pompano (*Trachinotus carolinus*). Aquaculture America 2014, Seattle, WA.

Spitze, A.R., Wong, D.L., Rogers, Q.R. and Fascetti, A.J., 2003. Taurine concentrations in animal feed ingredients; cooking influences taurine content. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 87(7–8): 251–262.

Takagi, S., Murata, H., Goto, T., Ichiki, T., Munasinghe, D., Endo, M., Matsumoto, T., Sakurai, A., Hatate, H., Yoshida, T., Sakai, T., Yamashita, H., Ukawa, M. and Kuramoto, T., 2005. The green liver syndrome is caused by taurine deficiency in yellowtail, (*Seriola quinqueradiata*) fed on diets without fishmeal. Suisan Zoshoku, 53(3): 279–290.

Takagi, S., Murata, H., Goto, T., Hayashi, M., Hatate, H., Endo, M., Yamashita, H. and Ukawa, M., 2006a. Hemolytic suppression roles of taurine in yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) fed non-fishmeal diet based on soybean protein. Fish. Sci. 72(3): 546–555.

Takagi, S., Murata, H., Goto, T., Ichiki, T., Endo, M., Hatate, H., Yoshida, T., Sakai, T., Yamashita, H. and Ukawa, M., 2006b. Efficacy of taurine supplementation for preventing green liver syndrome and improving growth performance in yearling red

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-08-19]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1396.4.4.5.7]

sea bream (*Pagrus major*) fed low-fishmeal diet. Fish. Sci. 72(6):1191–1199.

Takagi, S., Murata, H., Goto, T., Hatate, H., Endo, M., Yamashita, H., Miyatake, H. and Ukawa, M., 2010. Necessity of dietary taurine supplementation for preventing green liver symptom and improving growth performance in yearling red sea bream (*Pagrus major*) fed nonfishmeal diets based on soy protein concentrate. Fish. Sci. 76(1): 119–130.

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. Fish. Sci. 77(2): 235–244.

Takaoka, O., Takii, K., Nakamura, M., Kumai, H. and Takeda, M., 1990. Identification of feeding stimulants for marbled rockfish. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 56(2): 345–351.

Tsuboyama-Kasaoka, N., Shozawa, C., Sano, K., Kamei, Y., Kasaoka, S., Hosokawa, Y. and Ezaki, O., 2006. Taurine (2-aminoethanesulfonic acid) deficiency creates a vicious circle promoting obesity. Endocrinology 147(7): 3276–3284.

Watanabe, T., Aoki, H., Shimamoto, K., Hadzuma, M., Maita, M., Yamagata, Y., Kiron, V. and Satoh, S., 1998. A trial to culture yellowtail with non-fishmeal diets. Fish. Sci. 64(4): 505–512.

Yamamoto, T., Suzuki, N., Furuita, H., Sugita, T., Tanaka, N. and Goto, T., 2007. Supplemental effect of bile salts to soybean meal-based diet on growth and feed utilization of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Fish. Sci. 73(1): 123–131.

Yamamoto, T., Matsunari, H., Sugita, T., Furuita, H., Masumoto, T., Iwashita, Y., Amano, S. and Suzuki, N., 2012. Optimization of the supplemental essential amino acids to a fish meal-free diet based on fermented soybean meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Fish. Sci. 78(2): 359–366.

Yang, J., Wu, G., Feng, Y., Sun, C., Lin, S. and Hu, J., 2010. CSDmRNA expression in rat testis and the effect of taurine on testosterone secretion. Amino Acids, 39(1): 155–160.

Yokoyama, M. and Nakazoe, J.I., 1992. Accumulation and excretion of taurine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets supplemented with methionine, cystine and taurine. Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol. 102(3): 565–568.

Yun, B.A., Ai, Q.H., Mai, K.S., Xu, W., Qi, G.S. and Luo, Y.W., 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.

Zarate, J.M. and Bradley, T.M., 2007. Molecular cloning and characterization of the taurine transporter of Atlantic salmon. Aquaculture, 273(2–3): 209–217.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-08-19]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1396.4.4.5.7]