بهره‌برداری و پرورش آبزیان
جلد ششم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۶
http://japu.gau.ac.ir

مروری بر اهمیت تورین در آبزی‌پروری و نقش آن در رشد و فیزیولوژی ماهی

سید مرتضی حسینی*

استادیار پژوهشی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی ایران،
مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی، گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/٤/۱۵

چکیده

تورین یک اسید آمینه است که به میزان زیاد در بدن ماهی وجود دارد ولی در ساختار پروتئین شرکت نمی‌کند. مقدار تورین در منابع گیاهی کم است و استفاده از این منابع در جیره ماهی نیاز به استفاده از تورین در جیره را افزایش می‌دهد. این ماده دارای نقش‌های زیادی در ماهی است که می‌توان به متابولیسم چربی، پایداری غشاء سلولی، افزایش ایمنی و بهبود وضعیت آنتی‌اکسیدانی اشاره کرد. در این مقاله، مطالعات انجام شده روی اثر تورین بر ماهی جمع‌بندی شده است و نتیجه حاکی از این است که افزودن تورین اثرات مثبتی بر ماهی دارد. همچنین، نتایج مطالعات اخیر نشان می‌دهد که مقادیر بالای تورین باعث اثر منفی بر رشد و سلامت ماهی می‌شوند. در مجموع، اثر تورین بر ماهی وابسته به شرایط مختلف است و نوع گونه ماهی و ترکیب جیره غذایی باید مدنظر قرار گیرد؛ زیرا اگرچه افزودن تورین باعث افزایش رشد، بهبود متابولیسم چربی، وضعیت آنتی‌اکسیدانی و وضعیت اسمزی می‌شود، مقادیر بالای تورین باعث کاهش رشد، تضعیف ایمنی، استرس اکسیداتیو و آسیب به کبد می‌شود.

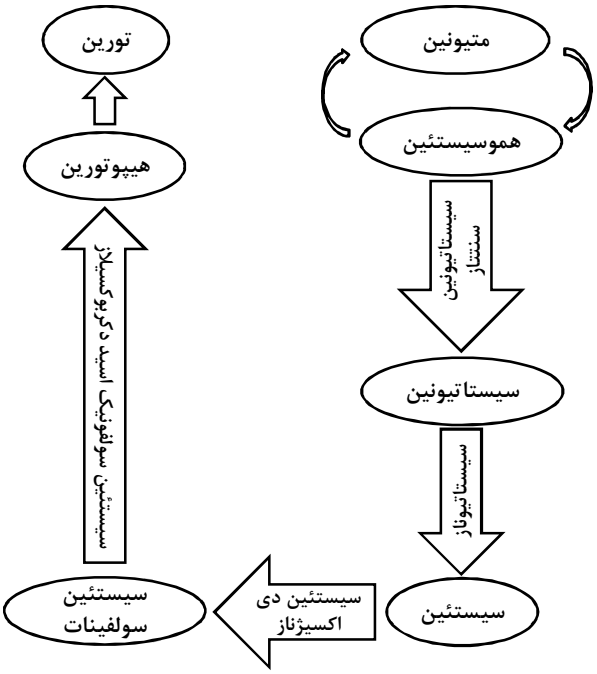
واژه‌های کلیدی: تورین، رشد، تغذیه، فیزیولوژی

مقدمه

در آبزی‌پروری، تعادل مواد مغذی در جیره آبزیان تضمین کننده رشد بهینه و ارتقاء سلامت آن‌ها می‌باشد. تورین یک ماده نیتروژنی مشابه اسیدهای آمینه است که در ساختار خود، به جای گروه کربوکسیل، سولفینیک اسید دارد. این ماده در ساختار پروتئین شرکت نمی‌کند ولی به میزان زیاد در محیط بین سلولی جانوران یافت می‌شود. تورین دارای نقش‌های فیزیولوژیک مهمی مانند مسمومیت‌زدایی، انتقال کلسیم، انقباض میوکارد، نمو مغز و شبکیه چشم، اتصال به رنگدانه‌ها و نمک‌های صفراوی، تنظیم اسمزی، پایداری غشاء در پستانداران می‌باشد. منابع پروتئین گیاهی دارای تورین کمی هستند. لذا وقتی در جیره غذایی ماهی، از میزان زیادی پروتئین گیاهی استفاده شود، میزان تورین جیره بسیار پایین خواهد بود. از طرفی، به‌دلیل کاهش تولید پودر ماهی نسبت به تقاضای آن در صنعت تولید خوراک آبزیان،

*مسئول مکاتبه: seyyedmorteza.hoseini@gmail.com

استفاده از منابع پروتئین گیاهی مثل سویا، گلوتن گندم و گلوتن ذرت در تولید خوراک آبزیان معمول شده و رو به افزایش است. به همین دلیل، بررسی نقش تورین بر عملکرد و سلامت ماهی ضروری به‌نظر می‌رسد.



شکل ١- مسیر سنتز تورین در بدن ماهی (کیم و همکاران، ٢٠٠٨).

تورین موردنیاز جانداران می‌تواند از طریق غذا یا سنتز داخلی (از متیونین و سیستئین) تأمین شود (شکل ١). تورین در منابع غذاهای دریایی (سخت پوستان و ماهیان) زیاد است. در بدن جانداران، تورین می‌تواند از متیونین و سیستئین ساخته شود. بدین ترتیب که متیونین تبدیل به هوموسیستئین شده و این ماده تحت تأثیر سیستاتیونین سنتتاز و دخالت اسید آمینهٔ سرین به سیستاتیونین تبدیل می‌شود. سیستاتیونین تحت تأثیر سیستاتیونیناز به سیستئین تبدیل می‌شود. سیستئین تحت تأثیر آنزیم سیستئین دی اکسیژناز به سیستئین سولفینات تبدیل شده و این ماده تحت تأثیر آنزیم سیستئین سولفینیک اسید دکربوکسیلاز به هیپوتورین و در نهایت به تورین تبدیل می‌شود (کیم و همکاران، ٢٠٠٨).

این مقاله به جمع‌بندی اطلاعات موجود در خصوص اهمیت و نقش تورین در آبزی‌پروری و ضرورت افزودن آن به جیره آبزیان پرداخته است.

نقش تورین در رشد ماهی: با توجه به مقدار زیاد تورین در بدن ماهیان، این طور استنباط می‌شود که این ماده برای آن‌ها ضروری است. همچنین، با در نظر گرفتن توانایی پایین ماهیان در سنتز تورین از منابع آن (متیونین و سیستئین)، باور بر این است که ماهیان به تورین جیره وابسته باشند (کیم و همکاران، ٢٠٠٨). مطالعات زیادی نشان می‌دهند که افزودن تورین به جیره ماهیان مختلف (٣-٠/١ درصد جیره؛ جدول ١) باعث افزایش رشد آن‌ها شده است (گوتو و همکاران، ٢٠٠١؛ مارتینز و همکاران، ٢٠٠٤؛ تاکاجی و همکاران، ٢٠٠٦؛ تاکاجی و همکاران، ٢٠١١؛ مایتا و همکاران

۲۰۰٦؛ گیلورد و همکاران، ۲۰۰۷؛ کیم و همکاران، ۲۰۰۸؛ کی و همکاران، ۲۰۱۲؛ جیسرا و همکاران، ۲۰۱٤؛ بونیانگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ واتسون و همکاران، ۲۰۱۳ و ۲۰۱٤؛ وو و همکاران، ۲۰۱۵؛ چاتزیفوتیس و همکاران، ۲۰۰۸؛ ماتسوناری و همکاران، ۲۰۰۸). این درحالی است که مطالعات معدودی نیز نشان داده‌اند که افزودن تورین به غذای برخی ماهیان تأثیری بر رشد آن‌ها ندارد (ساکاگوچی و همکاران، ۱۹۸۸؛ کیم و همکاران، ۲۰۰۸؛ اسپه و همکاران، ۲۰۱۲؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱۳). از طرفی، اخیراً مشخص شده که افزودن تورین می‌تواند باعث کاهش غذاگیری و رشد ماهی شود. افزودن ۰/۲۵ درصد تورین به جیره حاوی مقادیر بالای پروتئین گیاهی اثری بر رشد تاس ماهی ایرانی ندارد ولی مقادیر بالاتر تورین باعث کاهش غذاگیری و رشد می‌شود (حسینی و همکاران، ۲۰۱۷a). با در نظر گرفتن تمامی مطالعات فوق می‌توان عنوان نمود که اثر تورین جیره بر رشد ماهیان تحت تأثیر عوامل دیگری مانند گونه ماهی، مرحله زیستی، اجزای جیره و میزان سایر اسیدهای آمینه جیره می‌باشد.

جدول ۱- مطالعات انجام شده روی اثر تورین بر رشد گونه‌های مختلف ماهی.

گونه	مقدار تورین (درصد جیره)	اثر تورین بر رشد	منبع
Seriola quinqueradiata	۳-۱/۳	مثبت	ماتسوناری و همکاران (۲۰۰۵)
Paralichthys olivaceus	۰/۵-۱/۵	مثبت	کیم و همکاران (۲۰۰۸)
Pagrus major	۱-۲	مثبت	تاکاجی و همکاران (۲۰۱۱)
Dentex dentex	۰/۲	مثبت	چاتزیفوتیس و همکاران (۲۰۰۸
Scophthalmus. maximus	۱-۰/۵	مثبت	کی و همکاران (۲۰۱۲)
Atractoscion nobilis	۰/۵-۱/۵	مثبت	جیسرا و همکاران (۲۰۱٤)
Totoaba macdonaldi	۱	مثبت	لوپز و همکارن (۲۰۱۵)
Oncorhynchus mykiss	۰/۵-۱/۵	مثبت	گیلورد و همکاران (۲۰۰٦)
	۰/۲	بی اثر	بونیانگ و همکاران (۲۰۱۳)
Rachycentron canadum	۰/۵-۱/۵	مثبت	واتسون و همکاران (۲۰۱۳)
	۰/۵-۵	بی اثر	واتسون و همکاران (۲۰۱٤)
Cyprinus carpio	۳-۱/۳	بی اثر	کیم و همکاران ۲۰۰۸
Salmo salar	۰/۱	بی اثر	اسپه و همکاران (۲۰۱۲)
Ctenopharyngodon idella	۰/۵-۲/۵	بی اثر	یانگ و همکاران (۲۰۱۳)
Trachinotus ovatus	۰/۵	بی اثر	وو و همکاران (۲۰۱۵)
Acipenser persicus	۰/۲۵-۱/٦	اثر منفی	حسینی و همکاران (۲۰۱۷a)
	۰/۱	مثبت	حسینی و همکاران (۲۰۱۷b)

برخی مطالعات نشان می‌دهند که احتمالاً برهمکنشی بین تورین و متیونین جیره وجود دارد. در این خصوص، گیلورد و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که زمانی‌که ماهی قزل‌آلا با جیره مبتنی‌بر پروتئین گیاهی تغذیه شود، افزایش متیونین جیره از حدود ۰/۷ درصد به ۱/٦ درصد باعث کاهش رشد می‌شود. همچنین، مشخص شد که زمانی‌که متیونین ۰/۷ درصد باشد، تورین (۰/۵ درصد جیره) باعث افزایش رشد می‌شود. اسپه و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که وقتی ماهی آزاد اطلس (*S. salar*) با جیره مبتنی‌بر پروتئین

گیاهی تغذیه شود که متیونین آن در سطح بهینه باشد (١/٢ درصد)، رساندن تورین جیره از ٠/١١ درصد به ٠/١٧ درصد، اثر مثبتی بر رشد نداشت و تا حدودی باعث کاهش رشد شد. این نتیجه در ظاهر نشان می‌دهد که ٠/١١ درصد تورین برای ماهی آزاد اطلس کافی است و افزایش آن اثر منفی بر رشد خواهد داشت. ولی در همان تحقیق، وقتی که ماهی با جیره تجاری (حاوی مقادیر زیاد پروتئین حیوانی) دارای ١/٤٦ درصد متیونین و ٠/٣٤ درصد تورین تغذیه شد، رشد آن از ماهیان دو گروه ذکر شده در بالا، بیشتر بود. در اینجا نیز مجدداً می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تورین با متیونین (و شاید دیگر اجزای جیره) برهمکنش دارد. در مطالعه‌ای که توسط حسینی و همکاران (٢٠١٧b) روی تاس ماهی ایرانی صورت گرفت مشخص شد که افزایش تورین از ٠/٠٤ درصد به ٠/١٤ درصد و افزایش متیونین از ٠/٧ درصد به ٠/٩ درصد، هر کدام به تنهایی باعث افزایش رشد این‌گونه شدند. دلیل افزایش رشد به احتمال قوی رسیدن سطح هر یک از این مواد به حد بهینه می‌باشد. این فرضیه توسط اثر تجمعی تورین و متیونین بر رشد ماهیان حمایت می‌شود.

تولید اسیدهای صفراوی، کلسترول و هضم چربی: مطالعات پیشین نشان دادند که تورین نقش بسیار مهمی در ترشح اسیدهای صفراوی در ماهیان دارد (ساکای و همکاران، ١٩٨٧؛ گوتو و همکاران، ٢٠٠١). اسیدهای صفراوی در بدن توسط اکسیداسیون کلسترول تحت تأثیر آنزیم کلسترول ١٧- آلفا هیدروکسیلاز تولید می‌شوند و تورین نقش تحریک کنندگی بر این آنزیم دارد (مایتا و همکاران، ٢٠٠٦). از طرفی، تورین بر آنزیم ٣- هیدروکسیل-٣- متیل گلوتاریل- کوآنزیم آ ردوکتاز که مسئول سنتز کلسترول است نیز اثر تحریک کنندگی دارد (مایتا و همکاران، ٢٠٠٦). تورین با اتصال به اسیدهای صفراوی، نقش مهمی در هضم چربی‌ها دارد. پس از اتصال تورین به اسیدهای صفراوی، آن‌ها در کیسه صفرا ذخیره و به روده رها می‌شوند. کمبود اسیدهای صفراوی منجر به کاهش هضم چربی‌ها می‌شود (کیم و همکاران، ٢٠٠٨). بدین ترتیب چربی جیره که باید صرف سوخت و ساز در بدن شود، از طریق مدفوع دفع می‌شود. لذا کمبود تورین در جیره ممکن است منجر به کاهش رشد، کاهش هضم چربی و کاهش چربی لاشه گردد. در سیم دریایی و کفشک ماهی افزودن تورین به جیره باعث کاهش کلسترول سرم شده است (گوتو و همکارن، ٢٠٠١؛ یون و همکاران، ٢٠١٢) که دلیل آن جذب کلسترول توسط کبد جهت سنتز اسیدهای صفراوی ذکر شده است. از طرفی، مایتا و همکاران (٢٠٠٦) نشان دادند که در کفشک ماهی، افزودن تورین به جیره باعث افزایش بیان ژن آنزیم ٣- هیدروکسیل-٣- متیل گلوتاریل- کوآنزیم آ ردوکتاز و افزایش کلسترول سرم می‌شود. از طرفی، حسینی و همکاران (٢٠١٧) و حسینی و همکاران (٢٠١٧b) نشان دادند که افزودن مقادیر بالای تورین (١/٦-٠/٢٥ درصد جیره) به جیره تاس ماهی ایرانی باعث کاهش کلسترول و تری‌گلیسرید سرم می‌شود ولی مقدار کمتر تورین (٠/١ درصد جیره) باعث افزایش آن‌ها می‌شوند.

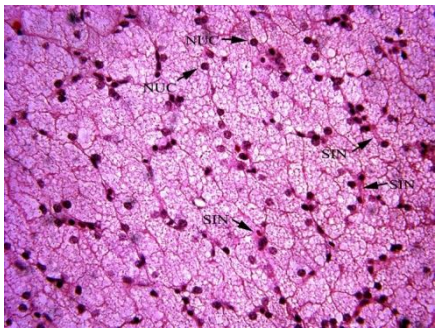
پایداری غشاء و جلوگیری از کم‌خونی: تحقیقات نشان داده است که ماهی دم زرد که توسط جیره مبتنی‌بر سویا تغذیه شده است، دچار کم‌خونی (افت هماتوکریت) می‌شوند (تاکاجی و همکاران، ٢٠٠٦). اما زمانی‌که به این جیره‌ها تورین افزوده شد، این مشکلات بر طرف گردید. تورین یک اسمولیت مهم در خون این ماهیان محسوب می‌شود. اسمولالیته خون ماهیانی که جیره‌های حاوی مقادیر کم تورین دریافت کرده بودند، پایین است (تاکاجی و همکاران، ٢٠٠٦). کاهش فشار اسمزی خون باعث تورژسانس و

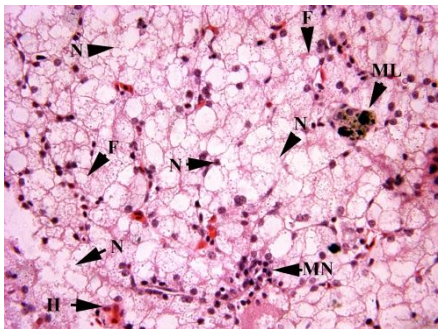
ترکیدن گلبول‌های قرمز خون می‌شود. همچنین، تورین به عنوان یک آنتی‌اکسیدان از اکسیداسیون چربی‌های غشاء اریتروسیت‌ها جلوگیری نموده و مقاومت آن‌ها را به فشار اسمزی افزایش می‌دهد (ناکامورا و همکاران، ۱۹۹۳). از طرفی دیگر، تورین به واسطه نقش خود در متابولیسم چربی، بر اسیدهای چرب غشاء اریتروسیت‌ها مؤثر است. تاکاجی و همکاران (۲۰۰٦) دریافتند که اریتروسیت‌های ماهی دم زرد که با جیره حاوی تورین پایین تغذیه شده باشد، دارای اسیدهای چرب کمتری در غشاء خود هستند و این نقصان با افزودن تورین به جیره برطرف می‌شود. همچنین، یانگ و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که افزودن تورین به جیره کپور علفخوار باعث پایداری اریتروسیت‌ها در برابر تنش اسمزی می‌شود. این در حالی است که مایبل و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که اسیدهای چرب غیراشباع نقش مهمی در عملکرد غشاءهای زیستی و سیالیت و سلامت آن‌ها ایفا می‌کنند.

متابولیسم کربوهیدرات: شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد تورین در متابولیسم کربوهیدرات نقش دارد. مطالعات پیشین، نقش ضد دیابتی تورین را در موش‌های مبتلا به دیابت نشان داده‌اند (هیساشی و همکاران، ۱۹۷۹). مطالعات متناقضی در خصوص اثر تورین بر انسولین خون وجود دارد. کولاکوفسکی و ماتورو (۱۹۸٤) گزارش نمودند که تورین باعث افزایش جذب گلوکز می‌شود ولی، اثری بر میزان انسولین ندارد. این درحالی است که کارنیرو و همکاران (۲۰۰۹) افزایش تولید انسولین و ترشح آن را به همراه افزایش متابولیسم گلوکز در پانکراس انسان تحت تیمار تورین مشاهده کردند. تحقیقات انجام شده روی ماهی نشان می‌دهند که افزودن تورین به جیره می‌تواند باعث کاهش گلوکز خون شود. در ماهی شوریده، کفشک ماهی، سوکلا و تاس ماهی ایرانی افزودن تورین به جیره باعث کاهش گلوکز خون شد و از آنجایی که این کاهش گلوکز با افزایش رشد نیز همراه بوده، نتیجه‌گیری می‌شود که کمبود تورین باعث استرس تغذیه‌ای و افزایش گلوکز خون در ماهی می‌شود (لوپز و همکاران، ۲۰۱۵؛ هان و همکاران، ۲۰۱٤؛ واتسون و همکاران، ۲۰۱٤؛ حسینی و همکاران، ۲۰۱۷b).

سیستم ایمنی: تورین بر عملکرد ایمنی سلولی اثرگذار است. تورین به تنهایی نیمی از اسیدهای آمینه آزاد لنفوسیت‌ها شامل می‌شود. این سلول‌ها دارای مکانیسم‌های انتقال فعال تورین به داخل هستند (ردموند و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین مشخص شده که لنفوبلاست‌های انسان وقتی در محیط حاوی تورین قرار دارند، قابلیت زنده‌مانی بیشتری را در مواجهه با اکسنده‌ها از خود نشان می‌دهند. این افزایش زنده‌مانی را به توانایی تورین در افزایش پایداری غشاء نسبت داده‌اند (ردموند و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین غلظت تورین در نوتروفیل‌های انسان بسیار بالاست (فوکودا و همکاران، ۱۹۸۲). از طرفی دیگر، گزارش شده که تورین به واسطه نقش کاهش دهنده چربی خود در خون، باعث افزایش فعالیت فاگوسیتوز در نوتروفیل‌ها می‌شود (ماسودا و همکاران، ۱۹۸٦). در ماهی، مایتا و همکاران (۲۰۰٦) نشان دادند که کمبود تورین جیره در کفشک ماهی باعث همولیز و کاهش مقاومت ماهی در برابر عفونت باکتریایی می‌شود. از طرفی، حسینی و همکاران (۲۰۱۵a) نشان دادند که مقادیر بالای تورین در جیره تاس ماهی ایرانی علاوه‌بر کاهش رشد، باعث کاهش ایمنی غیراختصاصی (لیزوزیم، کمپلمان و ایمونوگلبولین سرم) می‌شود.

عملکرد کبد: کمبود تورین در ماهی باعث نوعی عارضه موسوم به سندرم کبد سبز می‌شود (تاکاجی و همکاران، ٢٠٠٦). این آسیب کبدی ناشی از ورود رنگدانه‌ها و اسیدهای صفراوی در بافت کبد می‌باشد که ظاهری سبز رنگ به آن می‌دهد. از آنجا که کبد، اسیدهای صفراوی را پس از اتصال به تورین به کیسه صفرا منتقل می‌کند، در صورت کمبود تورین، این اتصال انجام نمی‌شود و رنگدانه‌های صفراوی در کبد تجمع می‌شوند و ظاهر سبز به کبد می‌دهند. همچنین بیلی‌روبین و بیلی‌وردین (از رنگدانه‌های صفراوی) محصولات ناشی از کاتابولیسم پروتئینِ "هِم" هستند. از آنجا که کمبود تورین باعث افزایش همولیز و آزاد شدن هِم می‌شود، میزان تولید بیلی‌روبین و بیلی‌وردین در کبد افزایش یافته و باعث تجمع آن‌ها در کبد و آسیب به آن می‌شود (تاکاجی و همکاران، ٢٠٠٦). اما مقادیر بالای تورین اثر منفی بر کبد دارد به طوری که حسینی و همکاران (٢٠١٧a) نشان دادند که افزودن ١/٦-٠/٥ درصد تورین به جیره تاس ماهی ایرانی علاوه‌بر کاهش رشد موجب آسیب‌های بافتی در کبد می‌شود (شکل ٢).





شکل ٢- تصویر بافت کبد تاس ماهی ایرانی تغذیه شده با جیره شاهد (سمت راست) و جیره حاوی ١/٦ درصد تورین (سمت چپ). تجمع چربی (F)، نکروز (N)، تجمع ملانوماکروفاژ (ML)، پرخونی (H) و نفوذ گلبول‌های سفید (MN) در تیمار تورین مشهود است (حسینی و همکاران، ٢٠١٧a).

جلوگیری از استرس اکسیداتیو: تورین به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان از اکسیداسیون چربی‌های غشاء اریتروسیت‌ها جلوگیری نموده و مقاومت آن‌ها را به فشار اسمزی افزایش می‌دهد (ناکامورا و همکاران، ١٩٩٣). این خاصیت تورین باعث حفاظت از بافت عصبی می‌شود. در واقع تورین با تبدیل به هیپوتورین نقش آنتی‌اکسیدانی خود را ایفا می‌کند (آروما و همکاران، ١٩٨٨). تحقیقات انجام شده در ماهی نشان می‌دهند که تورین باعث بهبود وضعیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود. در ماهی شوریده افزودن تورین به جیره باعث افزایش فعالیت کاتالاز و کاهش اکسیداسیون چربی شده است (بانولوس وارگاس و همکاران، ٢٠١٤). در ماهی کپور افزودن تورین به جیره باعث افزایش فعالیت سوپرکسید دیسموتاز و کاتالاز و کاهش مقدار مالون دی آلدهید شد (کیو و همکاران، ٢٠٠٨). در تاس ماهی ایرانی مشخص شد که افزودن ٠/٢٥ درصد تورین باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپرکسید دیسموتاز و کاتالاز شد ولی مقادیر بالاتر تورین (١/٦-٠/٥) باعث استرس اکسیداتیو و کاهش فعالیت این آنزیم‌ها شد (حسینی و همکاران، ٢٠١٥b).

جمع‌بندی

تحقیقاتی که تا کنون انجام شده نشان می‌دهند که کمبود تورین باعث کاهش رشد ماهی می‌شود ولی افزودن تورین به جیره باید با توجه به شرایط مختلف (گونه ماهی و نوع جیره غذایی) انجام شود. اطلاعات موجود نشان می‌دهد که تورین به احتمال زیاد با برخی اجزای جیره (مثلاً متیونین) برهمکنش دارد و این می‌تواند نتایج تحقیقات را تغییر دهد. تورین یک اسمولیت مهم در آبزیان محسوب می‌شود و کاهش مقدار آن در بدن باعث بروز تنش اسمزی و ترکیدن گلبول‌های قرمز و کم‌خونی می‌شود. همچنین، تورین نقش مهمی در متابولیسم چربی و تولید اسیدهای صفراوی دارد. اگرچه مطالعات فعلی نشان می‌دهند که تورین در متابولیسم کربوهیدرات و ایمنی نقش دارد، این موضوع کمتر در آبزیان مورد مطالعه قرار گرفته است و نیاز به تحقیقات بیشتری در این زمینه وجود دارد. افزودن تورین به جیره ماهی باعث کاهش استرس اکسیداتیو می‌شود و بنابراین تورین می‌تواند به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان مهم در آبزی‌پروری استفاده شود. با این حال، افزودن تورین در مقادیر بیش از نیاز ماهی، اثر منفی داشته و باعث کاهش رشد، ضعف ایمنی، استرس اکسیداتیو و آسیب به کبد می‌شود.

منابع

1. Aruoma, O.I., Halliwell, B., Hoey, B.M., and Butler, J. 1988. The antioxidant action of taurine, hypotaurine and their metabolic precursors. Biochemiatry Journal, 256: 251-255.
2. Assem, H., and Hanke, W. 1983. The significance of the amino acids during osmotic adjustment in teleost fish-I. Changes in the euryhaline *Sarotherodon mossambicus*. Comparative Biochemistry and Physiology, 74A: 531-536.
3. 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: Biochemistry and Molecular Biology, 170: 18-25.
4. Boonyoung, S., Haga, Y., and Satoh, S. 2013. Preliminary study on effects of methionine hydroxy analog and taurine supplementation in a soy protein concentrate-based diet on the biological performance and amino acid composition of rainbow trout [*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)]. Aquaculture Research, 44: 1339-1347
5. Carneiro, E.M., Latorraca, M.Q., Araujo, E., Beltrá, M., Oliveras, M.J., Navarro, M., Berná, G., Bedoya, F.J., Velloso, L.A., Soria, B., and Martín F. 2009. Taurine supplementation modulates glucose homeostasis and islet function. Journal of Nutritional Biochemistry 20: 503–511.
6. 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: 201-208.
7. Espe, M., Ruohonen, K., and El-Mowafi, A. 2012. Effect of taurine supplementation on the metabolism and body lipid-to-protein ratio in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture Research, 43: 349-360.
8. Fukuda, K., Hirai, Y., Yoshida, H., Nakajima, T., and Usai, T. 1982. Free amino acid content of lymphocytes and granulocytes compared. Clinical Chemistry, 28: 1758-1761.
9. Gaylord, G.T., 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: 514-524.

10. 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. Fisheries Sciences, 67: 58–63.
11. Han, Y., Koshio, S., Jiang, Z., Ren, T., Ishikawa, M., Yokoyama, S., and Gao, J. 2014. Interactive effects of dietary taurine and glutamine on growth performance, blood parameters and oxidative status of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture, 434: 348-354.
12. Hisashi, T., Yukio, Y., and Kinya, K. 1979. Protective actions of taurine against streptozotocin-induced hyperglycemia. Biochemical Pharmacology 28: 2807-2811.
13. Hoseini, S.M., Hosseini, S.A., and Soudagar, M. 2016. Effect of dietary taurine and methionine on blood serum lipids, glucose and proteins levels in Persian sturgeon (*Acipenser persicus*, Borodin, 1897) fed plant-based diets. Journal of Animal Environment, 8: 129-136
14. Hoseini, S.M., Hosseini, S.A., Eskandari, S., and Amirahmadi, M. 2017b. Effect of dietary taurine and methionine supplementation on growth performance, body composition, taurine retention and lipid status of Persian sturgeon, *Acipenser persicus* (Borodin, 1897), fed with plant-based diet. Aquaculture Nutrition. (In press)
15. Hoseini, S.M., Hosseini, S.A., Eskandari, S., Amirahmadi, M., and Soudagar, M. 2017a. The effect of dietary taurine on growth performance and liver histopathology in Persian sturgeon, *Acipenser persicus* (Borodin, 1897) fed plant-based diet. Aquaculture Research. (In press)
16. Hosseini, S.A., Hoseini, S.M., and Abolhasani, M.H. 2015a. Study on the effect of dietary taurine on serum lipoproteins and non-specific immune response in Persian sturgeon (*Acipenser persicus*). Final report of research project. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
17. Hosseini, S.A., Hoseini, S.M., and Ghelichpour, M. 2015b. Study on the effect of dietary taurine on serum hepatic and antioxidant enzymes and hepatic histopathological alterations in Persian sturgeon (*Acipenser persicus*). Final report of research project. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
18. Jirsa, D., Davis, D.A., Salze, G.P., Rhodes, M., and Drawbridge, M. 2014. Taurine requirement for juvenile white seabass (*Atractoscion nobilis*) fed soy-based diets. Aquaculture, 422: 36-41
19. Kim, S.K., Matsunari, H., Takeuchi, T., Yokoyama, M., Furuita, H., Murata, Y., and Goto, T. 2008. Comparison of taurine biosynthesis ability between juveniles of Japanese flounder and common carp. Amino Acids, 35: 161–168.
20. Kulakowski, E.C., and Maturo, J. 1984. Hypoglycemic properties of taurine: not mediated by enhancement insulin release. Biochemical Pharmacology, 33: 2835-2838.
21. López, L.M., Flores-Ibarra, M., Bañuelos-Vargas, I., Galaviz, M.A., and True, C.D. 2015. Effect of fishmeal replacement by soy protein concentrate with taurine supplementation on growth performance, hematological and biochemical status, and liver histology of totoaba juveniles (*Totoaba macdonaldi*). Fish Physiology and Biochemistry, 41: 921-936.
22. Mabile, L., Piolot, A., Boulet, L., Fortin, L.J., Doylen, N., Rodriguez, C., Davignon, J., Blache, D., and Lussier-Cacan, S. 2001. Moderate intake of n-3 fatty acids is associated with stable erythrocyte resistance to oxidative stress in hypertriglyceridemic subjects. American Journal of Clinical Nutrition, 74: 449–456.
23. 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. Fisheries Sciences, 72: 513–519.
24. Martinez, J.B., Chatzifotis, S., Divanach, P., and Takeuchi, T. 2004. Effect of dietary taurine supplementation on growth performance and feed selection of sea bass *Dicentrarchus labrax* fry fed with demand-feeders. Fisheries Sciences, 70: 74–79.
25. Masuda, M., Horisaka, K., and Koeda, T. 1986. Effects of taurine on neutrophil function in hyperlipidemic rats. Japanese Journal of Pharmacology, 1986: 40:47.

26. 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*. Fisheries Sciences, 74: 347–353.
27. Nakamura, T., Ogasawara, M., Koyama, I., Nemoto, M., and Yoshida, T. 1993. The protective effect of taurine on the biomembrane against damage produced by oxygen radicals. Biological and Pharmaceutical Bulletin, 16: 970–972.
28. Nakamura, T., Ogasawara, M., Koyama, I., Nemoto, M., and Yoshida, T. 1993. The protective effect of taurine on the biomembrane against damage produced by oxygen radicals. Biological and Pharmaceutical Bulletin, 16: 970–972.
29. Qi, G., Ai, Q., Mai, K., Xu, W., Liufu, Z., Yun, B., and Zhou, H. 2012. Effects of dietary taurine supplementation to a casein-based diet on growth performance and taurine distribution in two sizes of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). Aquaculture 358: 122-128.
30. Qiu, X.C., Zhao, H.X., Wang, Y.J., and Bai, W.X. 2008. Effect of taurine on the non-specific immunity and antioxidative competence of carp. Journal of Shanghai Fisheries University, 17: 429-434.
31. Redmond, H.P., Stapleton, P.P., Neary, P., and Bouchier-Hayes, D. 1998. Immunonutrition: The role of taurine. Nutrition, 14: 599–604.
32. Sakaguchi, M., Murata, M., Daikoku, T., and Arai, S. 1988. Effects of dietary taurine on tissue taurine and free amino acid levels of the chum salmon, *Oncorhynchus keta*, reared in freshwater and sea water environments. Comparative Biochemistry and Physiology, 89A: 437-442.
33. Sakai, T., Watanabe, K., and Kawatsu, H. 1987. Occurrence of ditaurobilirubin, bilirubin conjugated with two moles of taurine, in the gallbladder bile of Yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. Journal of Biochemistry, 102: 793-796.
34. Takagi, S., Murata, H., Goto, T., Hatate, H., Endo, M., Yamashita, 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: 235-244.
35. Takagi, S., Murata, H., Goto, T., Hayashi, M., Hatate, H., Yoshida, T., Sakai, T., Yamashita, H., and Ukawa, M. 2006. Efficacy of taurine supplementation for preventing green liver syndrome andimproving growth performance in yearling red sea bream *Pagrus major* fed low-fishmeal diet. Fisheries Science, 72: 1191–1199.
36. Timbrell, J.A., Seabra, V., and Waterfield, C.J. 1995. The in vivo and in vitro protective properties of taurine. General Pharmacology: The Vascular System. Vol. 26. Pp: 453-462.
37. Watson, A.M., Barrows, F.T., and Place A.R. 2014. Effects of graded taurine levels on juvenile cobia. North American journal of aquaculture. 76: 190-200.
38. Watson, A.M., Barrows, F.T., and Place, A.R. 2013. Taurine supplementation of plant derived protein and n-3 fatty acids are critical for optimal growth and development of cobia, *Rachycentron canadum*. Lipids, 48: 899-913
39. Wu, Y., Han, H., Qin, J., and Wang, Y. 2015. Replacement of fishmeal by soy protein concentrate with taurine supplementation in diets for golden pompano (*Trachinotus ovatus*). Aquaculture Nutrition, 21: 214-222.
40. Yang, H., Tian, L., Huang, J., Liang, G., and Liu, Y. 2013. Dietary taurine can improve the hypoxia-tolerance but not the growth performance in juvenile grass carp *Ctenopharyngodon idellus*. Fish Physiology and Biochemistry, 39: 1071-1078.
41. Yun, B., Ai, Q., Mai, K., Xu, W., Qi, G., and Luo, Y. 2012. Synergistic effects of dietary cholesterol and taurine on growth performance and cholesterol metabolism in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) fed high plant protein diets. Aquaculture, 324: 85-91.