

## نقش و کاربرد هورمون های تیروئیدی در فیزیولوژی و آبی پروری

حامد عبدالله پور<sup>۱</sup>، بهرام فلاحتکار<sup>\*۱</sup>

<sup>۱</sup>گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، گیلان، ایران.

### چکیده

موفقیت در آبی پروری به تولید انبوه و با کیفیت ماهیان جوان وابسته است و این موفقیت بستگی به تغذیه آغازین، تکامل طبیعی و رشد لارو دارد. همچنین رشد و بقای لاروهای تازه تخم گشایی شده به وسیله سیستم هضم کارآمد و جذب و به کارگیری موادمغذی در طول تغذیه به دست می آید. با این وجود برخی از گونه های ماهی که برای آبی پروری توسعه یافته اند، تلفات بالایی را در اوایل دوران رشد نشان می دهند. لذا برای تولید انبوه ماهیان کاهش تلفات امری اجتناب ناپذیر است. شواهدی وجود دارد که هورمون های تیروئیدی برای توسعه ابتدایی ماهیان ضروری می باشند و در تخم و لارو تازه تخم گشایی شده حضور دارند و بر بقا و رشد تاثیر می گذارند. روش های متنوعی در بکارگیری هورمون ها وجود دارد که شامل تزریق، کاشت، تجویز خوراکی و غوطه ور سازی می باشند. همچنین با توجه به این موضوع که هورمون های تیروئیدی نقش اساسی در تکامل، پرکردن کیسه شنا و افزایش سیستم ایمنی بر عهده دارند می توان از آنها بصورت گسترده در آبی پروری استفاده نمود. در این مطالعه بر نقش و کاربردهای هورمون های تیروئیدی در فیزیولوژی ماهیان به عنوان یک راهبرد مهم در ارتقا و توسعه آبی پروری، مورد بحث قرار گرفته است و نشان می دهد استفاده از هورمون های تیروئیدی در آبی پروری با دوز مناسب می تواند باعث بهبود عملکرد رشد و تولیدمثل گردد.

**کلمات کلیدی:** هورمون های تیروئیدی، رشد، متابولیسم، تولیدمثل

\* نویسنده مسئول: falahatkar@guilan.ac.ir

## مقدمه

کسب دانش درباره هورمون ها، آنزیم ها و سایر شاخص های مؤثر در روند تولیدمثل ماهی در محیط های مصنوعی، زمینه دستیابی به اطلاعات مهمی در رابطه با تولیدمثل آبزیان را فراهم می کند. با دستیابی به یافته های علمی در دهه های اخیر، دانش شناخت غدد درون ریز وارد مرحله نوینی شده است، به طوری که به منظور کنترل تولیدمثل و توسعه روند تکثیر و پرورش آبزیان، علم فیزیولوژی غدد داخلی ماهیان از اهمیت و جایگاه ویژه ای برخوردار است و کنترل هورمونی به عنوان ابزاری کارآمد برای تکثیر و پرورش آبزیان به کار می رود. امروزه استفاده از تکنیک های پرورشی برای بازسازی ذخایر درحال انقراض و ایجاد شرایط رسیدگی مطلوب در شرایط مصنوعی از اهمیت بیشتری برخوردار است (فلاحتکار و همکاران، ۱۳۹۵؛ عبدالله پور، ۱۳۹۶). غده تیروئید ماهی های استخوانی به طور عمده از فولیکول های جداگانه ای تشکیل شده است که در ناحیه زیرحلقی و اطراف حلقی و فولیکول های تیروئید در بافت پیوندی زیر حلق متراکم شده اند. البته در اطراف آئورت شکمی و عروق آوران سیستم تنفسی و در ناحیه سر کلیه هم دیده می شود. در فولیکول های تیروئیدی، پروتئینی به نام تیروگلوبین که در ساختمان آن آمینواسیدهای تیروزین به کار رفته است، تولید می شود. سلول های فولیکولی ید را بصورت فعال از خون جذب کرده، اکسید کرده و به داخل مایع فولیکولی می فرستند تا با مولکول های تیروزین اتصال برقرار کنند. در نهایت از جفت شدن یا کنار هم قرار گرفتن دو آمینواسید یددار شده، هورمون های تیروئیدی یعنی تری یدوتیرونین ( $T_3$ ) و تیروکسین ( $T_4$ ) تولید می شود. هورمون های تیروئیدی در فولیکول تیروئید ساخته می شوند و تحت کنترل هورمون های تحریک کننده تیروئیدی (TSH) بوسیله غده هیپوفیز آزاد می شوند (Eales and Brown, 1993; Yamano, 2005). این فولیکول ها واحدهای کاربردی غده تیروئید می باشند و بوسیله لایه های تکی سلول های فولیکولار تشکیل می شوند که در برگشت، لومن کلونیدی در تیروگلوبولین

تولید می کنند (Higgs et al., 1982; Cyr et al., 1988). سلول های فولیکولار تیروگلوبولین را جذب می کنند و دستور تولید هورمون های تیروئیدی (THs) را می دهند (Cyr and Eales, 1996; Power et al., 2001). علاوه بر این، ارتباط بین ساختار فولیکول تیروئید و فعالیت آن بوسیله Tanaka و همکاران (۱۹۹۵) مشخص شده است. شواهد نشان از فعالیت بالای فولیکول در طول دوره دگردیسی ماهی کفشک زیتونی (*Paralichthys olivaceus*) و ماهی کفشک سنگالی (*Solea senegalensis*) دارد و تحقیقات نشان داده است که تعداد و اندازه فولیکول ها افزایش یافته و همچنین شکل سلول ها از حالت تخم مرغی شکل به مکعبی یا استوانه ای در می آید و در نهایت بازجذب وزیکول در کلونید اتفاق می افتد. این مشخصه فعالیت بالای سلول که در طول دوره دگردیسی مشاهده می شود، همزمان با افزایش سطوح هورمون های تیروئیدی در پلازما می باشد (Delgado et al., 2006).

اغلب در غده تیروئید هورمون  $T_4$  تولید می شود و تولید  $T_3$  کمتر است. در بافت های هدف مانند کبد و آبشش ها  $T_4$  به شکل فعال تر آن یعنی  $T_3$  تبدیل می شود. این تبدیل توسط هورمون های رشد و تستوسترون، تسریع و توسط کورتیزول مهار می شود (Power et al., 2001; Orozco and Valverde, 2005). هورمون های تیروئیدی در کنترل سوخت و ساز، رشد، تنظیم اسمزی، تجمع رنگدانه های پوست، تکامل و متامورفیزم نقش دارند (نوری موگهی و همکاران، ۱۳۹۰؛ عبدالله پور، ۱۳۹۶). بسیاری از اعمال فیزیولوژیک هورمون های تیروئید هنوز به خوبی مشخص نشده است اما شواهدی وجود دارد که هورمون های  $T_3$  و  $T_4$  مولکول های مهمی در توسعه و دگرشکلی در همه مهره داران می باشند (Power et al., 2001). در ماهیان، هورمون های تیروئیدی به داخل تخم ها منتقل می شود و برای توسعه جنینی و لاروی ضروری می باشند (Power et al., 2001; Abdollahpour and Falahatkar, 2017). بافت تیروئید در ماهیان با تولید  $T_4$  و  $T_3$  اثرات مستقیم

این هورمون ها در ماهیان کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) (Lam and Sharma, 1985)، سیم دریایی سیاه (*Acanthopagrus schlegeli*) (Kang and Chang, 1997) و ماهی درام (*Sciaenops ocellatus*) (Moon et al., 1994) مشاهده شده است. این تفاوت در نتایج را می توان به تفاوت در دوز مصرفی هورمون و نوع گونه ماهیان نسبت داد.

این مقاله به طور جداگانه به تشریح عملکرد غده و هورمون های تیروئیدی در ماهیان پرداخته و سپس مروری بر متداول ترین روش های بکارگیری هورمون های تیروئیدی در ماهیان خواهد داشت.

#### غده تیروئید

غده تیروئید ماهی های استخوانی بطور عمده از فولیکول های جداگانه ای تشکیل شده است که در ناحیه زیرحلقی و اطراف حلقی متراکم شده اند (Yamano, 2005). البته در اطراف آئورت شکمی و عروق آوران سیستم تنفسی و در ناحیه سر کلیه هم دیده می شود (ستاری و همکاران، ۱۳۸۶). در دهان گردان و ماهیان استخوانی فولیکول های تیروئید در بافت پیوندی زیر حلق پراکنده اند و در برخی گونه ها ممکن است فولیکول ها در خارج از این محل و در راس کلیه قرار داشته باشند (ستاری و همکاران، ۱۳۸۶). در ماهیان غضروفی و شش دار یک غده منفرد دیده می شود که در موقعیت پایینی، میانی یا میانی، شکمی نسبت به حلق واقع شده اند. غده تیروئید در ماهیان خاویاری معمولا در نزدیک آئورت شکمی و بین جفت اول و دوم کمان های آبششی قرار دارد (ستاری و همکاران، ۱۳۸۶). در بسیاری از مهره داران پست تر، غده تیروئید متراکم نبوده و به صورت پراکنده است (Power et al., 2001). غده تیروئید در ماهیان دهان گرد و استخوانی بصورت فولیکول هایی است که در سطح وسیعی پراکنده شده اند ولی در ماهیان خاویاری به شکل مجتمع و متراکم به ۲ یا ۳ قسمت مجزا و مشخص تقسیم می شود (ستاری و همکاران، ۱۳۸۶؛ فلاحتکار و عفت پناه، ۱۳۹۵). همچنین، در ماهی بالغ و بزرگ به راحتی می توان غده تیروئید را

بر روی متابولیسم، رشد و دگرذیسی می گذارد (Brown et al., 1989). همچنین در ماهیان پهن دیده شده است که در طول دوره دگرذیسی، باعث توسعه دستگاه گوارش ماهی می گردد (Inui and Miwa, 1985). علاوه بر این، هورمون های تیروئیدی در بقا، رشد و توسعه لارو ماهیانی که چنین دگرذیسی هایی ندارند، نیز اثر می گذارد (Urbinati et al., 2008).

هورمون های تیروئیدی نقش مهمی در مراحل ابتدایی تکامل در ماهیان ایفا می نمایند و در تخم و لاروهای تازه تخم گشایی شده وجود دارند (Tagawa and Hirano, 1991; Abdollahpour and Falahatkar, 2017). این هورمون ها در خون ماهیان ماده براساس چرخه های تولیدمثلی تغییر می کنند (Cyr et al., 1988). آنها به درون تخمدان منتقل می شوند و در طول بلوغ تخمدان و در تخمک تجمع می یابند (Ayson and Lam, 1993; Mylonas et al., 1994).

در ماهی استرلیاد (*Acipenser ruthenus*) تزریق دوز ۱۰ میلی گرم به ازای کیلوگرم وزن بدن هورمون T4 به مولدین باعث بهبود عملکرد رشد و کاهش مرگ و میر لاروها گردید (عبداله پور، ۱۳۹۶). در ماهی باس راه دریایی (*Morone saxatilis*) سطوح بالای هورمون تیروئید در تخم ماهی باعث نرخ رشد بالاتر لاروها می شود (Brown et al., 1989). یکی از راه های تحریک رشد در ماهی آزاد کوهو (*Oncorhynchus kisutch*) استفاده از تزریق با دوز پایین هورمون های تیروئیدی می باشد (Higgs et al., 1979). با این وجود تزریق مقادیر هورمون های تیروئیدی با دوز زیاد باعث کاهش رشد، بقا و همچنین ایجاد شکل های غیرطبیعی می گردد (Lam and Sharma, 1985). چندین مطالعه نشان از تاثیر تزریق مادری هورمون های تیروئیدی در افزایش رشد و نرخ بقا در لاروهای تازه تخم گشایی شده ماهیانی مانند استرلیاد (Abdollahpour and Falahatkar, 2017)، تیلاپیا (*Oreochromis mossambicus*) (Lam, 1980)، باس راه (Brown et al. 1988) و خرگوش ماهی لکه زرد (*Siganus guttatus*) (Ayson and Lam, 1993) داشته است. با این وجود اثرات منفی

تجمع در پوست و تغییر میزان سوخت و ساز مواد قندی و نیتروژن اثر می گذارند. به علاوه، اثر بر روی فعالیت های حرکتی، رشد اسکلتی و وظایف دستگاه عصبی مرکزی نیز مورد توجه قرار گرفته است ( Inui and Miwa, 1985; Abdollahpour and Falahatkar, 2017). تأثیر بر روی تنظیم اسمزی مایعات بدن مورد شک و تردید است ولی تجویز  $T_4$ ، تمایل ماهیان آزاد جوان را برای مهاجرت به آب شور افزایش می دهد (ستاری و همکاران، ۱۳۸۶).

هورمون تیروئید نقش مهمی در تنظیم اسمزی آزاد ماهیان جهت سازگاری با آب شور و سایر ماهیان مهاجر ایفا می نماید. بطوری که مقادیر بالای هورمون های  $T_4$  و  $T_3$  در طول مدت تغییر شکل آزادماهیان از حالت پار به اسمولت در آب شیرین مدت ها پیش از افزایش فعالیت آنزیم  $Na^+-K^+-ATPase$  در آبشش ها گزارش گردیده است (McBride *et al.*, 1982). این هورمون نقش مهمی در افزایش سنتز آنزیم ها و پروتئین های درون سلولی مانند آنزیم  $Na^+-K^+-ATPase$  و در نتیجه افزایش انتقال یون های سدیم و پتاسیم بر عهده دارد (ستاری و همکاران، ۱۳۸۶). هورمون های تیروئیدی بسیار آب گریزند و آن دسته از این هورمون ها که فعالیت های بیولوژیک را اعمال می کنند شامل  $T_4$ ،  $T_3$ ،  $rT_3$  و  $T_2$ -3,5 هستند. در pH های فیزیولوژیک تفکیک گروه OH فنولی این یدوتیروئین ها عاملی تعیین کننده در خواص شیمیایی است که اثرات بیولوژیک آن ها را ایفا می کند. هورمون های تیروئیدی اثرات زیادی در مهره داران دارند. چندین روش فعالیت برای این هورمون ها پیشنهاد شده است (Hulbert 2000):

- ۱- روش رسپتورهای هسته ای مخصوصاً در محور هورمون های تیروئیدی که سطوح این هورمون ها را در پلاسما و سلول کنترل می کند، مهم می باشد.
- ۲- این هورمون ها شدیداً با غشاء بافت مرتبط اند و به طور طبیعی به این غشاء محکم می شوند.
- ۳- همچنین آن ها بر ترکیبات acyl غشای دولایه اثر می گذارند که اشاره به پاسخ سلول هایی است که به

مشاهده کرد و روی آن مطالعه کرد ( Buddington and Doroshov, 1986; Domeneghini *et al.*, 2002).

به منظور تولید هورمون  $T_4$ ، ید موجود در جریان خون، به طور فعال از راه پمپ های ید مستقر در قاعده سلول های فولیکولی به درون آنها حمل می شود. ید، توسط تیروئید پراکسیداز موجود در غشای راسی، اکسیده می شود و به باقیمانده تیروزین مربوط به مولکول های تیروگلوبین متصل می گردد. در درون کلئوئید، باقیمانده تیروزین یددار می شوند و برای تشکیل  $T_3$  و  $T_4$  آرایش دوباره به خود می گیرند (ستاری و همکاران، ۱۳۸۶؛ نوری موگهی و همکاران، ۱۳۹۰).

همچنین برای آزاد سازی هورمون  $T_4$ ، اتصال TSH به گیرنده های موجود در غشای سلول ناحیه قاعده ای، تبدیل سلول فولیکولی را به سلول مکعبی بلند القا می کند. این سلول های مکعبی بلند، پاهای کاذبی را در ناحیه راسی خود تشکیل می دهند که به وسیله آنها با عمل احاطه کردن و ریزه خواری، کلئوئید را به درون خود فرو می برند (نوری موگهی و همکاران، ۱۳۹۰؛ فلاحتکار و عفت پناه، ۱۳۹۵). وزیکول های مملو از کلئوئید، در درون سلول با لیزوزوم ها، جوش می خورند، سپس  $T_3$  و  $T_4$  آزاد شده، از ناحیه قاعده این سلول ها به داخل شبکه مویرگی اطراف فولیکول رها می شوند (Hulbert 2000). سیستم هورمونی اصولاً با کنترل اعمال متابولیک مختلف از قبیل سرعت واکنش های شیمیایی در سلول ها، یا انتقال مواد از غشاهای سلولی و یا جنبه های دیگر متابولیسم سلولی مرتبط می باشد. تنظیم هورمونی اندام ها نیز از طریق ارتباط متقابل سیستم اعصاب مرکزی و غدد درون ریز صورت می گیرد. بخشی از مغز به نام هیپوتالاموس نقش مهمی را در تنظیم هورمونی ایفا می نماید ( Leatherland *et al.*, 1990; Power *et al.*, 2001). ظاهراً هورمون های تیروئید، اثرات متنوعی بر روی فیزیولوژی ماهی دارند. بسیاری از این اعمال، هنوز به خوبی شناخته نشده اند اما شواهدی وجود دارد که نشان می دهد این هورمون ها بر روی میزان مصرف اکسیژن، کنترل سوخت و ساز و رشد و تکامل، تحریک گوانین برای

کند. برای مثال دی یدودیناسیون حلقه خارجی تر  $T_4$ ،  $T_3$  را تولید می کند و دی یدودیناسیون حلقه داخلی تر تولید متابولیک غیرفعال یا  $T_3$  معکوس ( $rT_3$ ) را سبب می شود (Orozco and Valverde, 2005).

هورمون های تیروئیدی در آب غیر محلول هستند و انتقال آن ها در داخل جریان خون، از طریق اتصال به پروتئین ها صورت می گیرد، اما این پروتئین ها در بعضی از گونه های ماهیان وجود ندارند (نوری موگهی و همکاران، ۱۳۹۰). تعداد اندام ها، دستگاه های بدن و روندهای سوخت و سازی که تحت تأثیر هورمون تیروئیدی قرار می گیرند، بیش از هر هورمون دیگری است. هورمون های تیروئیدی در ماهیان، در کنترل رشد و نمو، سوخت و ساز و تنظیم اسمزی، غالباً در ارتباط و هماهنگی با هورمون رشد و کورتیزول مشارکت دارند (پورسعید و همکاران، ۱۳۹۲). یکی از جالب ترین اعمال  $T_4$  در ماهی کفشک تحریک متامورفور (دگردیسی) در این ماهی است که می توان آن را با اثرات این هورمون بر دگردیسی دوزیستان مقایسه کرد. همچنین به نظر می رسد که هورمون های تیروئیدی در بروز رفتارهای مربوط به مهاجرت و قسمتی از تغییرات سازشی مربوط به تنظیم اسمزی آزاد ماهیان، در هنگامی که به سمت دریا حرکت می کنند، دخیل هستند. افزایش موقتی  $T_4$  پلاسما، در خلال تبدیل ماهیان مرحله "پار" آب شیرین به مرحله "اسموت" آب شور در فصل بهار مشاهده شده است (Orozco and Valverde, 2005).

اگر چه  $T_4$  ممکن است هورمون تیروئید اصلی در گردش خون باشد، اما شواهد معتبری وجود دارد که نشان می دهد  $T_3$  از نظر فیزیولوژیک، هورمون مکفی است. برداشتن یک اتم ید از  $T_4$ ، احتمالاً در بافت های هدف صورت می گیرد. با این حال، تصور می شود که  $T_4$  دارای عمل فیدبک (خودتنظیمی برگشتی) عمده بر روی هیپوتالاموس است (Hulbert, 2000). نحوه عمل هورمون های تیروئید بر روی سلول های هدف، با هورمون های استروئیدی قابل مقایسه است. وجود هورمون های تیروئیدی و کورتیزول در تخم های ماهیان استخوانی از

هورمون های محکم شده به غشاء می دهند (Hulbert, 2000; Power et al., 2001).

هورمون های تیروئیدی  $T_3$  و  $T_4$ ، محصولات غده تیروئید در تمام مهره داران هستند. نقش آن ها در مراحل اولیه رشد و متامورفور پستانداران و دوزیستان شناخته شده است، اخیراً مطالعات، اهمیت هورمون های تیروئیدی را در طول متامورفور ماهیان پهن روشن کرده است (Inui and Miwa, 1985; Leatherland et al., 1990). هورمون های تیروئیدی در مقادیر بالا در تخم ماهیان وجود دارند و احتمالاً از منشأ مادری هستند (Power et al., 2001). سنتز هورمون های تیروئیدی در فولیکول های تیروئیدی صورت می گیرد که این فولیکول ها یک لایه منفرد از سلول های اپی تلیال می باشند که یک فضای پر شده از ماده کلونیدی را محاصره کرده اند و  $T_4$ ، هورمون غالبی است که ترشح می شود (Hulbert, 2000). نقش مستقیم  $T_4$  اندک بوده و اساساً به عنوان یک ماده پایه برای هورمون  $T_3$  عمل می کند. اعمال بیولوژیک از هورمون  $T_3$  شکل می گیرند (Szisch et al., 2005; Castillo et al., 2013). تبدیل  $T_4$  به  $T_3$  در بافت پریفرال توسط آنزیم ۵- مونودیناز، بر روی یکی از واحدهای یدید حلقه خارجی  $T_4$  صورت می گیرد. هورمون های تیروئیدی در زمینه پلاسما توسط پروتئین های ویژه هورمون های تیروئیدی که شامل آلبومین، ترنس تیرتین (TTR) و گلوبولین متصل شونده به  $T_4$  در مهره داران است، منتشر می شود. در پلاسما ماهی، لیپوپروتئین نیز در نقل و انتقال هورمون های تیروئیدی نقش دارد (Cyr and Eales, 1996; Arjona et al., 2011). غیرفعال سازی هورمون های تیروئیدی در کبد، کلیه، مغز و ماهیچه ها اتفاق می افتد. گذرگاه اصلی برای غیرفعال سازی هورمون های تیروئیدی عمل دی یدیناسیون می باشد. اما دی آمیناسیون اکسیداتیو و دی کربوکسیلاسیون نیز یک نقش کوچک دارد که در کبد اتفاق می افتد و به صفرا ترشح می شود (Maclatchy and Eales, 1988). عمل دی یدودیناسیون هورمون های تیروئیدی، سطوح هورمون های تیروئیدی پریفرال و فعالیت بیولوژیک را کنترل می

بوده و وضعیت پیک و آستانه ای آن ممکن است نقشی محدود کننده و یا تعیین کننده در اجازه بروز اثرات مستقیم هورمون های دیگر تحت شرایط ویژه متابولیک، داشته باشد. با وجود علاقمندی قابل توجهی که در مورد آلوده کننده های محیطی بر روی تیروئید ماهیان وجود دارد، حدود اثرات آنها بر وضعیت تیروئید و تغییرات فیزیولوژیک وابسته به آن، هنوز مشخص نشده است (Reinecke *et al.*, 2006).

### تنظیم فعالیت هورمون های تیروئیدی

بر خلاف پستانداران، فولیکول های تیروئید در اکثر گونه های ماهی مربوط به یک قسمت نیست و در طول شریان پراکنده هستند. تولید هورمون تیروئید توسط هورمون TSH از غده هیپوفیز تنظیم می شود، در صورتی که فاکتورهای هیپوتالاموسی کنترل کننده ترشح TSH در ماهی ناشناخته است (Yamano, 2005). TRH که محرک رهاسازی TSH در پستانداران و پرندگان است، در ماهی موثر نیست. بر خلاف مهره داران عالی، کمبود ید در رژیم غذایی ماهی اهمیتی ندارد زیرا ید بطور عمده از آب به طور محدود توسط آبشش ها گرفته می شود. هورمون تیروئیدی عمده ای که در ماهیان سنتز می شود  $T_4$  می باشد که با تجزیه حلقه بیرونی به  $T_3$  تبدیل می شود و متناوباً  $T_3$  معکوس غیرفعال یا  $rT_3$  را نتیجه می دهد. قسمت بزرگی از چرخه هورمون تیروئید محدود به پروتئین هایی شبیه پروتئین های پلاسما است (Power *et al.*, 2001; Reinecke *et al.*, 2006).

### اثرات هورمون های تیروئیدی

#### رشد

هورمون های تیروئیدی می توانند بصورت مستقیم از طریق گیرنده های مربوط و یا غیر مستقیم از طریق ارتباط متقابل و اثرات مثبت با دیگر هورمون های آنابولیک، رشد سوماتیک ماهیان را افزایش دهند (Higgs *et al.*, 1982). اثرات در آزادماهیان جوان بیشترین نمود را دارد، اما در تعدادی از گونه های دیگر نیز اتفاق می افتد

قبل وقوع هج گزارش شده است بطوری که بنظر می رسد در بسیاری از گونه ماهیان آب شیرین، شور، دریایی و دیادروم این هورمون ها منشأ مادری داشته باشند (Brown *et al.*, 1989). تحقیقات نشان داده که هورمون های تیروئیدی در تمام مراحل رشد اولیه وجود دارند. مقدار هورمون های تیروئیدی که در تخم ها وجود دارد منشأ مادری دارد، چون بافت تیروئیدی فعالی وجود ندارد و سلول های بین کلیوی در مرحله جنینی گسترش می یابند (Orozco and Valverde, 2005).

### نحوه فعالیت و اثرات فیزیولوژیک هورمون های

#### تیروئیدی در ماهیان

اگرچه اثرات زیادی به هورمون های تیروئیدی در ماهیان نسبت داده شده است و سه روش متداول که در تعدادی از مطالعات بر روی این موضوع کار کرده اند، عبارتند از:

۱- همبستگی بین تغییرات فیزیولوژیک یا محیطی و اهداف نهایی تیروئیدی، ۲- آزمایشاتی که حالت های محیطی یا فیزیولوژیک را تغییر داده و با مشاهده تغییرات در اهداف نهایی تیروئید دنبال می شود و ۳- آزمایشاتی که وضعیت تیروئید را تغییر می دهند (دسترسی هورمون های تیروئیدی به بافت های هدف) که با مشاهده اهداف نهایی فیزیولوژیک دنبال می شود.

هر سه روش مفید بوده، اما روش آخر تنها روشی است که پاسخ های نهایی در مورد عملکرد هورمون های تیروئیدی را فراهم می کند. اثرات هورمون های تیروئیدی که برای ماهیان پیشنهاد شده است، بسیار گوناگون می باشد (Power *et al.*, 2001; Abdollahpour *et al.*, 2017).

روش آزمایشگاهی افزایش یا کاهش دادن وضعیت تیروئیدی در ماهیان، به منظور تعیین وظایف و نقش های هورمون تیروئیدی در ماهیان مورد مطالعه قرار گرفته است. تیروئید بسیاری از فرایندها شامل رشد، نمو، مرحله تغییر شکل پار-اسمولت و تولیدمثل را تحت تأثیر قرار می دهد (McBride *et al.*, 1982). در بسیاری از موارد، هورمون های تیروئیدی نقشی کلیدی را ایفا می کنند. وضعیت تیروئیدی به شرایط سوخت و سازی نیز وابسته

و به  $T_3$  تبدیل می شود (Yamano, 2005). چون  $T_3$  لیگاند درونی مؤثرتری برای اتصال به رسپتورهای هورمونی است می تواند به عنوان فرم فعال هورمون های تیروئیدی در نظر گرفته شود. مسیر غیرفعال سازی و دفع  $T_3$  و  $T_4$  از طریق ترکیب و دفع در ادرار و صفرا می باشد (Orozco and Valverde, 2005). به خوبی مشخص شده که هورمون های تیروئیدی نقشی مهم را در طول مراحل جنینی و ارگانوژنز ایفا می کنند و بیشتر مهره داران بدون این هورمون ها از رشد و رسیدن به فرم نرمال بلوغ خود ناتوانند و هر دو سیستم ترشحی عصبی و سیستم ترشحی داخلی که به طور معمول در شروع اولین غذادهی اتفاق می افتد را شروع و کنترل می کند (Delgado *et al.*, 2006). علاوه بر عملکرد مستقیمی که هورمون های تیروئیدی بر عهده دارند غالباً بر عملکرد دیگر هورمون ها نظیر هورمون های رشد، پرولاکتین و کورتیزول نیز نقش دارند (Szisch *et al.*, 2005). به طور خلاصه، هورمون های تیروئیدی بر رشد اثر می گذارند اما مکانیسم ها به خوبی شناخته نشده اند. هورمون های تیروئیدی در هماهنگی با چندین هورمون دیگر عمل می کنند و ممکن است نقشی کلیدی را ایفا کنند (Reinecke *et al.*, 2006).

#### متابولیسم چربی، پروتئین و کربوهیدرات متابولیسم چربی

اثر هورمون های تیروئیدی بر جنبه های مختلف متابولیسم چربی شامل ساخت، ذخیره و تجزیه تاثیرگذار می باشد که معمولاً تحت عملکرد سیستم عصبی بوده و در دوزیستان بخوبی گزارش شده است (Bernal and Refetoff, 1977). شواهد اندکی نشان می دهد که در ماهیان استخوانی  $T_3$  و  $T_4$  در متابولیسم چربی نقش دارند. تجمع ذخیره چربی در ماهی رادیو تیروئیدکتومی شده (Baker-Cohen, 1961; LaRoche *et al.*, 1966) و کاهش ذخیره های چربی در ماهیان تیمار شده با  $T_4$  (Takashima *et al.*, 1972; Narayansingh and Eales 1975) نشان داده شده که  $T_4$  یا  $T_3$  برای ذخیره و

(پورسعید و همکاران، ۱۳۹۲؛ Brown *et al.*, 1989). هورمون های تیروئیدی در دوزهای فیزیولوژیک باعث بهبود رشد و ضریب تبدیل غذایی، تحریک مصرف غذا، افزایش فعالیت های آنزیم های روده ای، سطوح RNA، آمینواسیدهایی که درون پروتئین ها و سطوح پروتئین ها در بافت هایی مثل کبد و ماهیچه ها ترکیب می شوند و رشد غضروف و استخوان، رشد فلس ها و تغییرات مرتبط با سن و فرم های میوزین ماهیچه را نیز افزایش می دهند (Higgs *et al.*, 1982; Takagi *et al.*, 1994). فعالیت هورمون های تیروئیدی، بر رشد ماهیان مؤثر بوده و بنابراین پیچیده بوده و بستگی به نوع گونه و فاکتورهای متنوع خارجی و داخلی دارد. فاکتورهای خارجی می تواند شامل دما، رژیم غذایی، تناوب غذادهی، فتوپریود، عوامل استرس زا و سن باشد. کمیت و کیفیت غذا نیز مهم باشد زیرا بر وضعیت داخلی تیروئید تأثیر دارند. علاوه بر این، فاکتورهای درونی مرتبط با رشد مانند GH، IGFs، گلوکوکورتیکوئید (کورتیزول) و استروئیدهای جنسی و همراه با آنچه که بوسیله هورمون های تیروئیدی ممکن است به صورت متقابل اثر داشته باشند می توانند سبب بهبود نرخ رشد گردند (Abdollahpour and Falahatkar, 2017).

در مطالعه ای که بر نمو غده تیروئید در ماهی کفشک سنگالی در طول مراحل اولیه زندگی انجام گردید رشد ساختاری و عملکردی سیستم درون ریز (غده های هیپوفیز-تیروئید-فوق کلیوی) در طول رشد اولیه مورد مطالعه قرار گرفت. هورمون های تیروئیدی  $T_3$  و  $T_4$  بر پروسه های متابولیک مانند رشد، تمایز، متامورفوز، تولیدمثل، تنفس، رفتار مهاجرتی، فعالیت سیستم عصبی مرکزی و تطابق فصلی تأثیر دارند. عملکرد اصلی بافت تیروئیدی جمع آوری و ذخیره ید و تولید و ترشح دو هورمون تیروئید به نام های  $T_3$  و  $T_4$  می باشد. تیروئید ماهیان تحت کنترل هورمون محرک تیروئید هیپوفیز می باشد که  $T_4$  را به داخل چرخه ترشح کرد و  $T_4$  وارد سلول های هدف می شود جایی که دستخوش پروسه مونو دی یدودیناسیون حلقه بیرونی تر می شود (توسط  $T_4$ , ORD)

قزل آلی رنگین کمان و قزل آلی جویباری (*Salvelinus fontinalis*) که تحت تیمار هورمون  $T_4$  و  $T_3$  قرار گرفته اند، افزایش معنی دار در جذب آمینواسیدها رخ داده است. علاوه بر این، Ray و Medda (۱۹۷۳) گزارش کردند که در ماهی سرماری (*Ophicephalus punctatus*) هورمون  $T_4$ ، مقدار پروتئین بافت عضله و کبد را افزایش می دهد. همچنین چندین محقق سوخت و ساز آمینواسیدها را بعد از استفاده از هورمون  $T_4$  بیان نمودند (Hoar 1958; Thornburn and Matty 1963).

#### متابولیسم کربوهیدرات

اعتقاد بر این است که اثرات هورمون تیروئید بر روی متابولیسم کربوهیدرات در پستانداران تحت اثر غیرمستقیم دیگر هورمون ها مانند انسولین و کاتکول آمین ها می باشد (Bernal and Refetoff, 1977). همچنین اثر مستقیم هورمون های تیروئیدی بر برخی مکانیسم ها مانند جذب گلوکز از روده در پستانداران گزارش شده است (Woerber and Ingbar, 1974). در ماهیان استخوانی شواهد مستقیم پیرامون ارتباطات بین محور غده هیپوفیز و تیروئید درباره متابولیسم گلوکز به ندرت یافت می شود. مطالعات کمی اثر افزودن  $T_3$  و  $T_4$  را بر روی ذخیره کربوهیدرات در ماهیان استخوانی مانند کفال طلائی، ماهی سرماری و گربه ماهی راه رونده (*Clarias batrachus*) مورد مطالعه قرار داده اند. در ماهی سرماری اثر تزریق  $T_4$  بر روی مقدار گلیکوژن کبد نشان داد که افزایش گلیکوژن کبد وابسته به دوز هورمون می باشد که در دوز ۰/۵-۲ میکروگرم بر گرم گلیکوژن کبد بعد از پنج روز افزایش یافته در صورتی که در دوز بالاتر هورمون که ۴ میکروگرم بر گرم بود مقدار گلیکوژن کبد کاهش یافت (Matty and Lone, 1985).

#### تولید مثل

استراتژی های تولیدمثلی در ماهیان بسیار متفاوت اند. بعضی از گونه های الاسمورانش تخمگذار زنده زا، در طول عمر یک بار تولیدمثل می کنند. بنابراین احتمالاً بیولوژی

بسیج چربی مورد نیاز می باشد. این نظریه بر اساس مطالعه ای که بر روی قزل آلی رنگین کمان که با غذای حاوی چربی بالا مورد تغذیه قرار گرفته شده و در درجه حرارت پایین نگهداری شده، مورد تایید قرار گرفته شده است. در این ماهیان سطوح هورمون های  $T_3$  و  $T_4$  پلاسما روند افزایشی را نشان داده است، احتمالاً یک افزایش جبرانی در میزان هورمون ترشح شده باعث افزایش ذخیره سازی چربی های بلندزنجیر اشباع شده است (Leatherland et al., 1977, 1982). در ماهی استرلیاد استفاده از هورمون  $T_4$  باعث افزایش میزان کلسترول و تری گلیسرید پلاسما می گردد (عبداله پور، ۱۳۹۶). Takashima و همکاران (۱۹۷۲) مشاهده کردند در ماهی قزل آلی رنگین کمان، مقدار اسیدهای چرب پلاسما بعد از افزودن پودر غده تیروئیدی پستانداران کاهش می یابد. هیپوتیروئیدیسم در پستانداران، با میزان بالای سطوح کلسترول سرم و پلاسما مرتبط می باشد (Woerber and Ingbar, 1974). با این حال این نظریه در مورد ماهی آزاد کوهو صدق نمی کند (Leatherland and Sonstegard, 1981). LaRoche و همکاران (۱۹۶۶) دریافتند که هیچ افزایشی در میزان سطوح کلسترول در قزل آلی رنگین کمان رادیو تیروئیدکتومی شده وجود ندارد. با این وجود، Pickford (۱۹۷۳) گزارش داد که  $T_4$  و هورمون رشد، میزان کلسترول را در ماهی نر کیلی فیش (*Fundulus heteroclitus*) کاهش می دهد. بنابراین احتمال اینکه  $T_3$  یا  $T_4$  متابولیسم کلسترول را در ماهیان استخوانی و غضروفی استخوانی تنظیم نماید، نیاز به تحقیقات بیشتری دارد.

#### متابولیسم پروتئین

اگرچه هورمون های تیروئیدی بر روی رشد ماهیان تاثیر گذار هستند اما در برخی گونه ها مانند ماهی طلائی و کیلی فیش هورمون های تیروئیدی باعث افزایش جذب آمینواسید نمی شوند (Thornburn and Matty 1963; Jackim and La Roche 1973). با این وجود، Narayansingh و Eales (۱۹۷۵) اعلام کردند در ماهی



حداقل در مراحل ویژه ای از چرخه تولیدمثلی وجود دارد. مطالعات آزمایشگاهی اکثراً بر روی ماهیان ماده استخوانی انجام شده است، اما گونه هایی با استراتژی های متفاوت تولیدمثلی را شامل می شود و اشاره به این مطلب دارد که ممکن است برای مراحل اولیه بلوغ گنادی و انجام تولیدمثل نیاز به وضعیت ویژه ای از تیروئید باشد. برای قزل آلی رنگین کمان  $T_3$  نسبت به  $T_4$  در این مورد فعال تر می باشد.  $T_3$  به ویژه در غلظت پایین GTH مؤثر است و ممکن است نقشی کلیدی را در شروع رشد گنادی و تولیدمثل ایفا کند (Cyr *et al.*, 1988; Cyr and Eales, 1996). در بعضی از گونه ها شامل آزادماهیان، ارتباط متقابلی بین وضعیت تیروئید و سطح  $E_2$  پلازما وجود دارد. مطالعات نشان می دهند استرادیول با تغییر متابولیسم پریفرال هورمون های تیروئیدی و توقف آنزیم 5'-deiodinase ( $5'D$ ) کبدی که  $T_4$  را به  $T_3$  تبدیل می کند، به کاهش  $T_3$  پلازما کمک کند. نقش  $T_3$  ممکن است تنها متابولیک باشد و موجب شود مرحله بعدی تولیدمثل انجام شود. بنیادی ترین نقش ممکن است افزایش فعالیت GTH در آغاز مرحله رشد گنادی باشد، اما در بعضی گونه ها هورمون های تیروئیدی ممکن است نقشی کلیدی در زرده سازی، بلوغ نهایی گنادی و تخم ریزی بازی کنند (Cyr and Eales, 1996). در مرحله بعدی گامتوژنز، سطوح هورمون های تیروئیدی ممکن است وضعیت متابولیک و ذخایر انرژی را منعکس کند. فعالیت های تخم ریزی و بعد از تخم ریزی ممکن است وابسته به انرژی باشد و نیز وضعیت غلظت هورمون های تیروئیدی در ماهیان مولد پیش از تخم ریزی ممکن است خیلی پایین تر نسبت به دیگر زمان ها باشد و تغییرات مرتبط با آن می تواند سبب آمادگی بیشتر ماهیان برای تخم ریزی گردد. بنابراین وضعیت تیروئیدی ممکن است در زمان نمو نهایی گنادی و زمان تخم ریزی تأثیر کلیدی خود را نشان دهد (Cyr and Eales, 1996). سطوح تیروئید به طور معمول بعد از تخم ریزی پایین است اما معمولاً در زمان قبل تخم ریزی یا اندکی بعد از آن افزایش می یابد. این افزایش اغلب مرتبط با از سرگیری رشد

سیستم ترشحی داخلی مربوط به آن و هر چیزی که تحت تأثیر هورمون های تیروئیدی است، در گونه ها خیلی خاص اند (Reinecke *et al.*, 2006). اگر چه سیستم تیروئیدی و تولیدمثلی به طور گسترده ای مطالعه شده است، اما اکثر مطالعات در مورد این سیستم ها به صورت جدا از یکدیگر بوده است. ارتباط بالقوه ای که بین این دو سیستم وجود دارد قابل توجه است. به صورت تئوریک هورمون های تیروئیدی ممکن است بر هر جنبه ای از اعمال بیولوژیک نر و ماده، از سطوح مغزی تا سطوح رسپتورهای استروئیدهای گنادی و تا بیان مشخصه های جنسی ثانویه، اثر بگذارند. به موازات آن، استروئیدهای گنادی و دیگر هورمون های تولید مثلی ممکن است بر جنبه های مختلفی از فعالیت های تیروئیدی تأثیر بگذارند (Cyr and Eales, 1996). با اینکه هورمون های تیروئیدی برای کنترل تولیدمثل در ماهیان لازم اند. اما فعالیت ویژه آن ها در این مورد به وضوح تعریف نشده است. در بعضی ماهیان نشان داده شده که هورمون های تیروئیدی نقش سینرژیک با هورمون های گنادوتروپین (GTH) دارند. مفهوم فیزیولوژیک همکاری بین هورمون های تیروئیدی و GTH در تولیدمثل ماهیان استخوانی، هنوز باید بررسی شود. در بعضی آزادماهیان، پروفایل هورمون های فصلی، اشاره به ارتباط بین هورمون های تیروئیدی پلازما و مرحله تولیدمثلی دارد، اما این ارتباط در بین گونه ها متفاوت است. در گونه های قزل آلا، هورمون های تیروئیدی در طول زرده سازی اولیه بالا هستند و زمانی که ماهی به بلوغ نهایی می رسد، کاهش می یابند. در گونه های آزادماهیان به نظر می رسد سطوح هورمون های تیروئیدی پلازما، درست قبل از اوولاسیون در این ماهیان افزایش می یابد (Cyr *et al.*, 1988).

ارتباط متقابل عملکرد وضعیت تیروئید و تولیدمثل برای گونه های زیادی از ماهیان استخوانی و غیر استخوانی مقایسه شده است (Brown *et al.* 1988, 1989). علی رغم تفاوت های مهم درون گونه ای در بیولوژی تولیدمثلی و راهکارهای آن، ارتباطات معنی داری برای بیشتر گونه ها بین وضعیت تیروئید و وضعیت گنادی

برای تخم‌ریزی پاسخ بدهند ( Dettlaff and Davydova, 1979).

در بسیاری از گونه‌ها، ارتباط معکوسی بین هورمون های تیروئیدی و غلظت استرادیول گزارش شده است بطوری که افزایش غلظت استرادیول عملکرد غده تیروئید را سرکوب می‌کند و باعث کاهش غلظت  $T_3$  می‌شود ( Leatherland *et al.*, 1989; Ruby and Eales, 1999). یکی از دلایل کاهش هورمون های  $T_3$  می‌تواند به دلیل جایجایی انرژی از رشد سوماتیک به سمت رشد گنادها باشد. در مقابل، تستوسترون و سایر آندروژن‌ها باعث افزایش فعالیت تیروئید و غلظت  $T_3$  می‌گردند ( Fagerlund *et al.*, 1980; MacLatchy and Eales, 1988). به نظر می‌رسد همبستگی مثبت بین آندروژن‌ها و هورمون  $T_3$  در افزایش رشد سوماتیک موثر باشند. به طور خلاصه، ارتباط واضحی بین تحریک گنادی و هورمون های تیروئیدی به ویژه تنظیم وقایع تولیدمثل وجود دارد و عموماً هورمون های تیروئیدی وضعیت متابولیک را نشان می‌دهند. این سیستم درون ریز توسط ارتباطات پیچیده متقابل، رشد مستمر و پروسه های تولیدمثلی را تنظیم می‌کند. به واسطه فعالیت های بسیار کلیدی هورمون های تیروئیدی ممکن است این اطمینان حاصل شود که این هورمون‌ها به پروسه های تولیدمثلی کمک می‌کنند (Reinecke *et al.*, 2006).

#### اثرات فقدان هورمون های تیروئیدی

بیشتر بازدارنده های تیروئیدی از طریق کاهش ترشح  $T_4$  (دسترسی به  $T_4$ ) یا تبدیل بیشتر  $T_4$  به  $T_3$  و سرانجام قابلیت دسترسی به  $T_3$  عمل می‌کنند. بیشتر بازدارنده‌ها مانند goitrogen عمل می‌کنند ( Leatherland 1982; Brown 1997). نتایجی در تشخیص اینکه آن‌ها عملکرد بافت تیروئیدی را با افزایش ترشح TSH تحریک می‌کنند حاصل شده است. این مورد بستگی به اثرات بازدارنده‌ها دارد که به دوز و زمان وابسته است ( Lewis and Dodd, 1974). تیمار کوتاه مدت ممکن است به خاطر ذخیره  $T_4$  تیروئید یا به دلیل خودتنظیمی، کمبود هورمون را جبران کنند. سیستم دی‌یدودیناسیون پریفرال که برای استفاده مؤثرتر از پیش ماده  $T_4$  برای نگهداشتن سطوح  $T_3$  عمل

سوماتیک و در قزل‌آلای رنگین کمان مرتبط با افزایش در تستوسترون هست. هورمون های جنسی می‌توانند تولید  $T_3$  و  $T_4$  پلازما را افزایش دهند. بنابراین هورمون های جنسی و هورمون های رشد می‌توانند به صورت افزایش (سینرژیک) به افزایش رشد سوماتیک کمک کنند (Reinecke *et al.*, 2006).

در لامپری نیمکره جنوبی (*Geotria australis*)، غلظت هورمون  $T_3$  و فعالیت دیدیناسیون کبدی با شروع مهاجرت به سمت بالادست، کاهش می‌یابد (Leatherland *et al.*, 1990)، در حالی که همبستگی مثبتی بین هورمون های تیروئید با رشد و توسعه گنادی ماهیان الاسمورانش زنده‌زا گزارش گردیده است بطوری که فعالیت هورمون های تیروئید در ماده های نابالغ کم می‌باشد و با رشد و توسعه گنادی و رسیدن به مرحله زرده سازی به اوج خود می‌رسد ( Cyr and Eales, 1996). چنین همبستگی برای ماهیان خاویاری نیز گزارش گردیده است بطوری که فعالیت هورمون های تیروئیدی در مهاجرت های قبل از تخم‌ریزی، زمان تخم‌ریزی و حتی دوره کوتاه بعد از تخم‌ریزی بالا است (Cyr and Eales, 1996). در جنس ماده آزاد ماهیان اقیانوس آرام (جنس *Oncorhynchus*)، سطح هورمون تیروئید در اوایل مرحله زرده سازی بالا است و به محض نزدیک شدن به انتهای بلوغ کاهش می‌یابد (Leatherland *et al.*, 1989). اثر هورمون های تیروئید، حاصل مجموع تاثیرات مستقیم متابولیک بر گنادها و اثرات تحریکی و مهاری فیدبکی است که از طریق هورمون های کنترل کننده فعالیت های جنسی اعمال می‌شوند. مطالعات انجام شده نشان داده است که هورمون های تیروئیدی سبب افزایش اثرات هورمون آزاد کننده محرک غده جنسی در ایجاد اوولاسیون و هورمون محرک غده جنسی در ترشح استروئیدها توسط غده جنسی می‌شود. در مطالعه ای بر روی ماهی ازون برون (*Acipenser stellatus*) مشخص شد که تجویز هورمون  $T_3$  به مولدینی که در شرایط نامطلوب (دمای پایین) قرار داشتند باعث می‌گردد تا ماهیان بهتر به تزریق گنادوتروپین‌ها

Garg, 2007; Morgado *et al.*, 2007; Urbinati *et al.*, 2008; Landines *et al.*, 2010; Abdollahpour *et al.*, 2017).

### تجویز خوراکی

افزودن هورمون های تیروئیدی به جیره آزادماهیان باعث بهبود در رشد و ضریب تبدیل غذایی خواهد شد (Higgs *et al.*, 1982; McBride *et al.*, 1982). تایید اثر مثبت هورمون های تیروئیدی، Barrington و همکاران (۱۹۶۱) نیز اعلام کردند که استفاده از هورمون T<sub>4</sub> و پودر تیروئید بوسيله ماهی قزل آلاي رنگين کمان باعث افزایش معنی دار رشد وزنی و طولی خواهد شد. همچنین Higgs و همکاران (۱۹۷۹) اعلام کردند که تغذیه هورمون T<sub>3</sub> با دوز ۲۰ و ۱۰۰ ppm بوسيله ماهی آزاد کوهو باعث افزایش وزن خواهد شد. همچنین طول ماهی با افزودن هورمون T<sub>3</sub> با دوزهای ۲۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ ppm افزایش می یابد. Sahoo (۲۰۰۳) اعلام کرد که استفاده از هورمون T<sub>3</sub> در جیره غذایی باعث افزایش ایمنی و مقاومت ماهی روهو (*Labeo rohita*) در مقابل عفونت آئروموناس هیدروفیلا خواهد شد. افزودن هورمون با مقادیر صفر، ۱، ۵ و ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن غذا باعث افزایش سطوح T<sub>3</sub> سرم، پروتئین کل سرم و سطوح گلوبین می شود، همچنین تغذیه با مقادیر ۵ و ۱۰ میلی گرم به ازای کیلوگرم غذا باعث افزایش رشد می گردد. Garg (۲۰۰۷) طی مطالعه ای بر روی گربه ماهی نیش زن اظهار داشت که تجویز خوراکی هورمون T<sub>4</sub> با دوز بالاتر از ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن غذا و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن غذا بصورت معنی داری باعث رشد بیشتر، ضریب تبدیل غذایی پایین تر، افزایش قابلیت هضم پروتئین و افزایش فعالیت آنزیم های گوارشی خواهد شد. همچنین اعلام شد که استفاده از جیره غذایی حاوی هورمون T<sub>4</sub> می تواند در ماهیانی که رشد در آنها به آهستگی صورت می گیرد کارآمد باشد.

می کند، غیر مؤثر باشد. بررسی انجام شده در خصوص نقش غده تیروئید روی تولید مثل کوسه سگ ماهی (*Scyliorhinus canicula*) نشان داد که تیروئیدوکتومی از رشد و نمو فولیکول های تخمدان جلوگیری می کند (Lewis and Dodd, 1974). همچنین بررسی دیگر روی گربه ماهی آفریقایی نر و ماده (*Clarias gariepinus*) تیمار شده با تیوره (داروی ضد تیروئیدی) نشان داد که ترشح کمتر هورمون های تیروئیدی باعث می شود تا تعداد اسپرماتوزوا در لومن بیضه ماهیان نر کاهش یابد و رشد و توسعه فولیکول های تخمدان در ماهیان ماده مختل شود (Supriya *et al.*, 2005; Swapna *et al.*, 2006). به طور خلاصه، تغییرات آزمایشی در مورد قابلیت دسترسی هورمون های تیروئیدی، بر تیروئید ماهیان در چندین سطح تأثیر دارد. دامنه تأثیرات از فیدبک منفی سریع T<sub>4</sub> (و احتمالاً T<sub>3</sub>) به واسطه محور مغز-هیپوفیز-تیروئید تا کاهش چرخه های روزانه T<sub>4</sub>، به منظور القای مسیره های دی یدودیناسیون که ممکن است دسترسی T<sub>3</sub> را در بافت های هدف تنظیم کند، بود (Leatherland, 1982). این تنظیمات، هموستازی اصولی را منعکس می کند و کارکرد طبیعی سیستم تیروئیدی را موجب می شود که تحت شرایطی ممکن است عملکرد خود را وفق دهد و این شرایط بدلیل نقص ید یا فزونی هورمون های تیروئیدی رژیم غذایی می باشد. در نتیجه، تغییرات آزمایشی در قابلیت دسترسی به هورمون های تیروئیدی، به ویژه اگر شدید و در سطوح بالا باشد، ممکن است علاوه بر آن چیزی که منحصراً بر اساس سطوح معمول اندازه گیری شده T<sub>3</sub> و T<sub>4</sub> پلازما انتظار می رفته است اثراتی داشته باشد (Brown, 1997). چگونگی تأثیرات این تنظیمات بر بیان فعالیت های هورمون های تیروئیدی هنوز باید اثبات شود و ممکن است برای هر پروتکل آزمایشی متفاوت باشد (Reinecke *et al.*, 2006).

### روش های بکارگیری هورمون

امروزه روش های متنوعی در بکارگیری هورمون ها وجود دارد که شامل روش های تزریق، کاشت، تجویز خوراکی و

## کاشت

پورسعید و همکاران (۱۳۹۲) اثر کاشت مکرر هورمون  $T_3$  بر عملکرد فیزیولوژیک فیل ماهی ماده پرورشی (*Huso huso*) مورد بررسی قرار دادند. تیمارهای آزمایش شامل تیمار شاهد (دریافت کننده کپسول های حاوی کره کاکائو)، سطح پایین  $T_3$  (۱ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن + کره کاکائو) و سطح بالای  $T_3$  (۱۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن + کره کاکائو) بودند. نتایج نشان از تغییراتی معنی دار در غلظت هورمون های تیروئیدی در ماهیان تیمار شده با هورمون  $T_3$  داشت، همچنین غلظت کورتیزول سرم خون در ماهیان تیمار شده با دوزهای مختلف  $T_3$  به طور معنی داری بیشتر از گروه شاهد بود. غلظت گلوکز و کلسیم سرم در ماهیان تیمار شده با دوز بالای  $T_3$  به طور معنی داری بیشتر از دو گروه آزمایشی دیگر بود. وزن نهایی ماهیان تیمار سطح پایین  $T_3$  به طور معنی داری از گروه شاهد بیشتر بود. نتایج این مطالعه نشان داد که ایمپلنت  $T_3$  قادر است پارامترهای فیزیولوژیک فیل ماهی را تحت تاثیر قرار دهد و در دوزهای فیزیولوژیک اثرات مثبت بر رشد سوماتیک این گونه دارد. Morgado و همکاران (۲۰۰۷) با مطالعه بر روی سیم دریایی نشان داد که کاشت یک میلی گرم هورمون  $T_3$  به ازای هر کیلوگرم وزن بدن همراه روغن نارگیل (بعنوان حامل)، غلظت این هورمون را در پلاسمای خون تا ۲۵ برابر افزایش می دهد. مطالعه دیگر توسط Arjona و همکاران (۲۰۱۱) روی ماهی کفشک سنگالی نشان داد که کاشت ۲ میلی گرم  $T_3$  به ازای هر کیلوگرم وزن بدن همراه با روغن نارگیل، تغییرات معنی داری را در غلظت این هورمون ایجاد می کند و سطح آن را به ۲۰ برابر افزایش می دهد.

## غوطه وری

اکبری و همکاران (۱۳۹۴) اعلام کردند که هورمون لووتیروکسین سدیم ارتباط ویژه ای با مراحل اولیه رشد، نمو و بقای تخم و لارو ماهیان دارد. تخم های لقاح یافته بمدت شش ساعت در حمام لووتیروکسین سدیم با غلظت

های صفر، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی گرم بر لیتر در سینی تراف های فایبرگلاس قرار گرفتند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بیشترین درصد تخم گشایی و درصد بقای لاروها بعد از جذب کیسه زرده در غلظت ۰/۵ میلی گرم بر لیتر لووتیروکسین سدیم مشاهده شد. Lam و Sharma (۱۹۸۵) و مرادیان و همکاران (۱۳۸۳) به بررسی تاثیر غوطه وری هورمون  $T_4$  بر قابلیت تفریح تخم ها در غلظت های مختلف  $T_4$  (۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی گرم بر لیتر) در کپور معمولی و فیتوفاگ (*Hypophthalmichthys molitrix*) پرداختند و بطور موفقیت آمیزی با افزایش تخم های تفریح شده مواجه شدند.

## تزریق

Urbinati و همکاران (۲۰۰۸) عملکرد رشد و تخم گشایی لاروهای ماهی تترای آمازون (*Brycon amazonicus*) را بعد از تزریق مولدین هورمون  $T_3$  با دوز ۱۰ و ۲۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد تیمار هورمونی اثری بر زمان تخم گشایی نداشت. با افزایش هورمون تیروئید، بدشکلی لاروها کاهش یافت. لاروهایی که تحت تیمار هورمونی قرار گرفتند وزن بالاتری را از خود نشان دادند. Khalil و همکاران (۲۰۱۱) اثر تزریق مولدین هورمون  $T_4$  با دوز ۱ و ۱۰ میکروگرم به ازای هر گرم وزن بدن و تیمار کنترل (تزریق دی متیل سولفوکساید) را بر رشد، بقا و توسعه سیستم گوارشی لارو ماهی تیلپپای نیل (*Oreochromis niloticus*) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که ماهیان تزریق شده با دوز ۱ و ۱۰ میکروگرم به ازای هر گرم وزن بدن توسعه سیستم گوارشی، بهبود رشد لاروی و درصد بازماندگی بالاتری را نسبت به تیمار کنترل نشان دادند. Castillo و همکاران (۲۰۱۳) اثر تحریک کننده تزریق هورمون های تیروئیدی را بر بهبود عملکرد لاروی و تولید مثلی ماهیان گار سوسماری (*Atractosteus spatula*) و گار لکه دار (*Lepisosteus oculatus*) مورد بررسی قرار دادند. تیمارها بصورت ۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن  $T_3$ ،

## منابع

- اکبری، پ.، فریدونی، م.، س.، اخلاقی، م.، ۱۳۹۴. اثر هورمون لووتیروکسین سدیم بر درصد تخمه گشایی و بقاء لارو قزل آلی رنگین کمان *Oncorhynchus mykiss* در مراحل اولیه رشد. مجله پژوهشهای جانوری، ۲۸: ۱۴۶-۱۵۳.
- پورسعید، س.، فلاحتکار، ب.، مجازی امیری، ب.، ۱۳۹۲. اثر کاشت مکرر هورمون تری یدوتیرونین بر عملکرد فیزیولوژیک فیل ماهی ماده پرورشی *Huso huso* مجله علوم و فنون دریایی، ۱۲: ۹۰-۱۰۵.
- ستاری، م.، شاهسونی، د.، شفیعی، ش.، ۱۳۸۶. ماهی شناسی ۲ (سیستماتیک). انتشارات حق شناس، ۵۰۲ ص.
- عبداله پور، ح.، ۱۳۹۶. اثر تزریق هورمون تیروکسین بر عملکرد تولیدمثلی مولدین ماده استرلیاد *Acipenser ruthenus* پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان.
- فلاحتکار، ب. و عفت پناه، ا.، ۱۳۹۵. بیولوژی و فیزیولوژی ماهیان خاویاری دریای خزر. انتشارات دانشگاه گیلان، ۲۴۷ ص.
- فلاحتکار، ب.، بذرافشان، ح.، اسدی، م.، ۱۳۹۵. تأثیر هورمون LHRH-A2 بر سطوح استروئیدهای جنسی، شاخصهای استرس و برخی پارامترهای بیوشیمیایی پلازما در مولد ماده استرلیاد *Acipenser ruthenus* فصلنامه علمی پژوهشی علوم و فنون شیلات، ۳: ۱۲۱-۱۳۶.
- مرادیان، ف.، جمیلی، ش.، بهمنی، م.، طلوعی، ح.، محمدی، غ.ح.، ۱۳۸۳. تأثیر تیروکسین روی تعداد تخم های تفریح شده در ماهی فیتوفاگ *Hypophthalmichthys molitrix* مجله علمی شیلات ایران، ۱۲: ۱۶۷-۱۷۲.
- نوری موگهی، س. م. ح.، نبوی، س. م. ب.، محمودزاده ثاقب، ح.، ر.، حیدری، ز.، مروتی، ح. و موحدنیا، ع. ع. (۱۳۹۰). فیزیولوژی ماهیان. انتشارات دانشگاه تهران، ۲۹۸ ص.

۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن  $T_4$ ، ۴ IU/kg هورمون محرک تیروئید (TSH) و کنترل و دی متیل سولفوکساید مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که غلظت  $T_3$  و  $T_4$  در جنین افزایش یافت و در تیمارهای هورمون های تیروئیدی توسعه قسمت های دهانی در هر دو گونه سریعتر اتفاق می افتد، همچنین افزایش در نرخ تخم گشایی و تولیدمثل موفق در ماهیان مشاهده گردید. Abdollahpour و Falahatkar (۲۰۱۷) اثر تزریق مولدین هورمون  $T_4$  با دوز ۱ و ۱۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن و تیمار کنترل (روغن نارگیل) را بر عملکرد رشد لارو استرلیاد مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد ماهیان تزریق شده با دوز ۱۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن، عملکرد رشد لاروی و درصد بازماندگی بالاتری را نسبت به تیمار کنترل دارند.

## توصیه ترویجی

تحقیقات نشان می دهد که تزریق هورمون های تیروئیدی به ماهیان مولد باعث بهبود شرایط رشد و تولیدمثل می گردد، با این حال هورمون های تیروئیدی در جریان خون مولدین ماده می تواند به داخل تخم و لارو انتقال یابد و باعث افزایش مقادیر  $T_3$  و  $T_4$  تخم و لارو ماهیان گردند و متعاقب آن سبب بهبود عملکرد رشد و افزایش درصد بازماندگی در دوران لاروی گردند. علاوه بر این، با توجه به این موضوع که هورمون های تیروئیدی نقش اساسی در تکامل، پرکردن کیسه شنا و افزایش سیستم ایمنی دارند می توان از آنها بصورت گسترده در آبی پروری و گونه های مختلف ماهیان استفاده نمود و با توجه به اقتصادی بودن و هزینه مناسب کاربرد هورمون های تیروئیدی و با در نظر گرفتن تجربیات و پیشرفت های سایر کشورها در زمینه استفاده از هورمون های مصنوعی، این هورمون ها با هدف استفاده در جنبه های مختلف می توانند مدنظر آبی پروران قرار گیرند.

- development. Proceedings of the National Academy of Sciences, 94: 13011-13016.
- Brown, C. L., Doroshov, S. I., Cochran, M. D., Bern, H. A., 1989. Enhanced survival in striped bass fingerlings after maternal triiodothyronine treatment. *Fish Physiology and Biochemistry*, 7: 295-299.
- Brown, C. L., Doroshov, S. I., Nunez, J. M., Hadley, C., Vaneennaam, J., Nishioka, R. S., Bern, H. A., 1988. Maternal triiodothyronine injections cause increases in swimbladder inflation and survival rates in larval striped bass *Morone saxatilis*. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology*, 248: 168-176.
- Buddington, R. K., Doroshov, S. I., 1986. Development of digestive secretions in white sturgeon juveniles *Acipenser transmontanus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 83: 233-238.
- Castillo, S., Bollfrass, K., Mendoza, R., Fontenot, Q., Lazo, J. P., Aguilera, C., Ferrara, A., 2013. Stimulatory effect of thyroid hormones improves larval development and reproductive performance in alligator gar *Atractosteus spatula* and spotted gar *Lepisosteus oculatus*. *Aquaculture Research*, 46: 2079-2091.
- Cyr, D. G., Eales, J. G., 1996. Interrelationships between thyroidal and reproductive endocrine systems in fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 6: 165-200.
- Cyr, D. G., MacLatchy, D. L., Eales, J. G., 1988. The influence of short-term 17 $\beta$ -estradiol treatment on plasma T3 levels and in vitro hepatic T4 5'-monodeiodinase activity in immature rainbow trout *Salmo gairdneri*. *General and Comparative Endocrinology*, 69: 431-438.
- Abdollahpour, H., Falahatkar, B., 2017. Improve growth performance in Sterlet Sturgeon *Acipenser ruthenus* larvae subsequent thyroxine injection to broodstock. 8th International Symposium on Sturgeons, Vienna, Austria, September 2017.
- Abdollahpour, H., Falahatkar, B., Efatpanah, I., Meknatkhah, B., 2017. Effect of intraperitoneal thyroxine injection on hematological indices in Sterlet sturgeon *Acipenser ruthenus* broodstock; a preliminary result. 8th International Symposium on Sturgeons, Vienna, Austria, September 2017.
- Arjona, F. J., Vargas-Chacoff, L., Del Río, M. P. M., Flik, G., Mancera, J. M., Klaren, P. H., 2011. Effects of cortisol and thyroid hormone on peripheral outer ring deiodination and osmoregulatory parameters in the Senegalese sole *Solea senegalensis*. *Journal of Endocrinology*, 208: 323-330.
- Ayson, F. G., Lam, T. J., 1993. Thyroxine injection of female rabbitfish *Siganus guttatus* broodstock: changes in thyroid hormone levels in plasma, eggs, and yolk-sac larvae, and its effect on larval growth and survival. *Aquaculture*, 109: 83-93.
- Baker-Cohen, K. F., 1961. The role of the thyroid in the development of platyfish. *Zoologica*, 46: 181-222.
- Barrington, E. J. W., Barron, N., Piggins, D. J., 1961. The influence of thyroid powder and thyroxine upon the growth of rainbow trout *Salmo gairdnerii*. *General and Comparative Endocrinology*, 1: 170-178.
- Bernal, J., Refetoff, S., 1977. The action of thyroid hormone. *Clinical Endocrinology*, 6: 227-249.
- Brown, D. D., 1997. The role of thyroid hormone in zebrafish and axolotl

- Higgs, D. A., Fagerlund, U. H., Eales, J. G., McBride, J. R., 1982. Application of thyroid and steroid hormones as anabolic agents in fish culture. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 73: 143-176.
- Higgs, D. A., Fagerlund, U. H. M., McBride, J. R., Eales, J. G., 1979. Influence of orally administered L-thyroxine or 3, 5, 3'-triiodo-L-thyronine on growth, food consumption, and food conversion of underyearling coho salmon *Oncorhynchus kisutch*. *Canadian Journal of Zoology*, 57: 1974-1979.
- Hoar, W. S., 1958. Effects of synthetic thyroxine and gonadal steroids on the metabolism of goldfish. *Canadian Journal of Zoology*, 36: 113-121.
- Hulbert, A. J., 2000. Thyroid hormones and their effects: a new perspective. *Biology Review*, 75, 519-631.
- Inui, Y., Miwa, S., 1985. Thyroid hormone induces metamorphosis of flounder larvae. *General and Comparative Endocrinology*, 60: 450-454.
- Jackim, E., Laroche, G., 1973. Protein synthesis in *Fundulus heteroclitus* muscle. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 44: 851-866.
- Kang, D. Y., Chang, Y. J., 1997. Effects of exogenous thyroid hormone (T3) on skeletal development and physiological conditions of juvenile black sea bream *Acanthopagrus schlegeli*. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 30: 305-312.
- Khalil, N. A., Allah, H. M. K., Mousa, M. A., 2011. The effect of maternal thyroxine injection on growth, survival and development of the digestive system of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*, larvae. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 2: 320-329.
- Delgado, J. O., Ruane, N. M., Pousão-Ferreira, P., Dinis, M. T., Sarasquete, C., 2006. Thyroid gland development in Senegalese sole *Solea senegalensis* Kaup 1858 during early life stages: a histochemical and immunohistochemical approach. *Aquaculture*, 260: 346-356.
- Dettlaff, T. A., Davydova, S. I., 1979. Differential sensitivity of cells of follicular epithelium and oocytes in the stellate sturgeon to unfavorable conditions, and correlating influence of triiodothyronine. *General and Comparative Endocrinology*, 39: 236-243.
- Domeneghini, C., Radaelli, G., Bosi, G., Arrighi, S., Di Giancamillo, A., Pazzaglia, M., Mascarello, F., 2002. Morphological and histochemical differences in the structure of the alimentary canal in feeding and runt (feed deprived) white sturgeons *Acipenser transmontanus*. *Journal of Applied Ichthyology*, 18: 341-346.
- Eales, J. G., Brown, S. B., 1993. Measurement and regulation of thyroidal status in teleost fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 3: 299-347.
- Fagerlund, U. H. M., Higgs, D. A., McBride, J. R., Plotnikoff, M. D., Dosanjh, B. S., 1980. The potential for using the anabolic hormones 17 $\alpha$ -methyltestosterone and (or) 3, 5, 3'-triiodo-L-thyronine in the fresh water rearing of coho salmon *Oncorhynchus kisutch* and the effects on subsequent seawater performance. *Canadian Journal of Zoology*, 58: 1424-1432.
- Garg, S. K., 2007. Effect of oral administration of l-thyroxine (T4) on growth performance, digestibility, and nutrient retention in *Channa punctatus* (Bloch) and *Heteropneustes fossilis* (Bloch). *Fish Physiology and Biochemistry*, 33: 347-358.

- Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 46: 2140-2145.
- Leatherland, J. F., Hilliard, R. W., Macey, D. J., Potter, I. C., 1990. Changes in serum thyroxine and triiodothyronine concentrations during metamorphosis of the Southern Hemisphere lamprey *Geotria australis*, and the effect of propylthiouracil, triiodothyronine and environmental temperature on serum thyroid hormone concentrations of ammocoetes. *Fish Physiology and Biochemistry*, 8: 167-177.
- Lewis, M., Dodd, J. M., 1974. Proceedings: Thyroid function and the ovary in the spotted dogfish *Scyliorhinus canicula*. *Journal of Endocrinology*, 63: 63-73.
- Maclatchy, D. L., Eales, J. G., 1988. Short-term treatment with testosterone increases plasma 3, 5, 3'-triiodo-L-thyronine and hepatic L-thyroxine 5'-monodeiodinase levels in arctic charr *Salvelinus alpinus*. *General and Comparative Endocrinology*, 71: 10-16.
- Matty, A. J., Lone, K. P., 1985. The hormonal control of metabolism and feeding. In *Fish Energetics*. Springer Netherlands, pp. 185-209.
- McBride, J. R., Higgs, D. A., Fagerlund, U. H. M., Buckley, J. T., 1982. Thyroid and steroid hormones: potential for control of growth and smoltification of salmonids. *Aquaculture*, 28: 201-209.
- Moon, H. L., MacKenzie, D. S., Gatlin III, D. M., 1994. Effects of dietary thyroid hormones on the red drum *Sciaenops ocellatus*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 12: 369-380.
- Morgado, I., Santos, C. R. A., Jacinto, R., Power, D. M., 2007. Regulation of transthyretin by thyroid hormones in fish. *General and Comparative Endocrinology*, 152: 189-197.
- Lam, T. J., 1980. Thyroxine enhances larval development and survival in *Sarotherodon mossambicus* Ruppell. *Aquaculture*, 21: 287-291.
- Lam, T. J., Sharma, R., 1985. Effects of salinity and thyroxine on larval survival, growth and development in the carp *Cyprinus carpio*. *Aquaculture*, 44: 201-212.
- Landines, M. A., Sanabria, A. I., Senhorini, J. A., Urbinati, E. C., 2010. The influence of triiodothyronine (T3) on the early development of piracanjuba *Brycon orbignyanus*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 36: 1291-1296.
- LaRoche, G., Woodall, A. N., Johnson, C. L., Halver, J. E., 1966. Thyroid function in the rainbow trout *Salmo gairdnerii* rich: II. Effects of thyroidectomy on the development of young fish. *General and Comparative Endocrinology*, 6: 249-266.
- Leatherland, J. F., 1982. Environmental physiology of the teleostean thyroid gland: a review. *Environmental Biology of Fishes*, 7: 83-110.
- Leatherland, J. F., Sonstegard, R. A., 1981. Thyroid function, pituitary structure and serum lipids in Great Lakes coho salmon *Oncorhynchus kisutch* Walbaum, 'jacks' compared with sexually immature spring salmon. *Journal of Fish Biology*, 18: 643-653.
- Leatherland, J. F., Cho, C. Y., Slinger, S. J., 1977. Effects of diet, ambient temperature, and holding conditions on plasma thyroxine levels in rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 34: 677-682.
- Leatherland, J. F., Lin, L., Down, N. E., Donaldson, E. M., 1989. Thyroid hormone content of eggs and early developmental stages of five *Oncorhynchus* species.



- enhances immunity and resistance to *Aeromonas hydrophila* infection. *Journal of Applied Ichthyology*, 19: 118-122.
- Supriya, A., Raghuvver, K., Swapna, I., Rasheeda, M. K., Kobayashi, T., Nagahama, Y., Senthilkumaran, B., 2005. Thyroid hormone modulation of ovarian recrudescence of air-breathing catfish *Clarias gariepinus*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 31: 267-270.
- Szisch, V., Papandroulakis, N., Fanouraki, E., Pavlidis, M., 2005. Ontogeny of the thyroid hormones and cortisol in the gilthead sea bream *Sparus aurata*. *General and Comparative Endocrinology*, 142: 186-192.
- Swapna, I., Rajasekhar, M., Supriya, A., Raghuvver, K., Sreenivasulu, G., Rasheeda, M. K., Senthilkumaran, B., 2006. Thiourea-induced thyroid hormone depletion impairs testicular recrudescence in the air-breathing catfish *Clarias gariepinus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 144: 1-10.
- Tagawa, M., Hirano, T., 1991. Effects of thyroid hormone deficiency in eggs on early development of the medaka *Oryzias latipes*. *Journal of Experimental Zoology*, 257: 360-366.
- Takagi, Y., Hirano, J., Tanabe, H., Yamada, J., 1994. Stimulation of skeletal growth by thyroid hormone administrations in the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Experimental Zoology*, 268: 229-238.
- Takashima, F., Hibiya, T., Phan-Van, Ngan, Aida, K., 1972. Endocrinological studies on lipid metabolism in rainbow trout--II. Effects of sex steroids, thyroid powder and adrenocorticotropin on plasma lipid content. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 38: 43-49.
- Mylonas, C. C., Sullivan, C. V., Hinshaw, J. M., 1994. Thyroid hormones in brown trout *Salmo trutta* reproduction and early development. *Fish Physiology and Biochemistry*, 13: 485-493.
- Narayansingh, T., Eales, J. G., 1975. Effects of thyroid hormones on in vivo 1-14C l-leucine incorporation into plasma and tissue protein of brook trout *Salvelinus fontinalis* and rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 52: 399-405.
- Orozco, A., Valverde-R, C., 2005. Thyroid hormone deiodination in fish. *Thyroid*, 15: 799-813.
- Pickford, G. E., 1973. Introductory remarks. *American Zoology*, 13: 711-713.
- Power, D. M., Llewellyn, L., Faustino, M., Nowell, M. A., Bjornsson, B. T., Einarsdottir, I. E., Canario, A. V. M., Sweeney, G. E., 2001. Review thyroid hormones in growth and development of fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 130: 447-459.
- Ray, A. K., Meda, A. K., 1973. Effect of variation of temperature on the protein and RNA contents of liver and muscle of Lata fish *Ophiocephalus punctatus*. *Indian Journal of Physiology and Applied Science*, 27: 32-34.
- Reinecke, M., Zaccone, G., Kapoor, B. G., 2006. Insulin-like growth factor I and II in fish. *Fish Endocrinology*, 1: 87-130.
- Ruby, S. M., Eales, J. G., 1999. Relationship between hepatic deiodination of thyroxine and early oocyte development in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Canadian Journal of Zoology*, 77: 509-513.
- Sahoo, P. K., 2003. Immunostimulating effect of triiodothyronine: dietary administration of triiodothyronine in rohu *Labeo rohita*

- Tanaka, M., Tanangonan, J. B., Tagawa, M., De Jesus, E. G., Nishida, H., Isaka, M Hirano, T., 1995. Development of the pituitary, thyroid and interrenal glands and applications of endocrinology to the improved rearing of marine fish larvae. *Aquaculture*, 135: 111-126.
- Thornburn, C. C., Matty, A. J., 1963. The effect of thyroxine on some aspects of nitrogen metabolism in the goldfish *Carassius auratus* and the trout *Salmo trutta*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 8: 1-12.
- Urbinati, E. C., Vasques, L. H., Senhorini, J. A., Souza, V. L., Gonçalves, F. D., 2008. Larval performance of matrinxã *Brycon amazonicus*, after maternal triiodothyronine injection or egg immersion. *Aquaculture Research*, 39: 1355-1359.
- Woeber, K. A., Ingbar, S. H., 1974. Interactions of thyroid hormones with binding proteins. *Handbook of Physiology*, 3: 187-196.
- Yamano, K., 2005. The role of thyroid hormone in fish development with reference to aquaculture. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 39: 161-168.

## **The role and application of thyroid hormones in fish physiology and aquaculture**

**Abdollahpour H<sup>1</sup>; Falahatkar B<sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup>Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Guilan, Iran

### **Abstract**

Prosperous of fish aquaculture relied on the mass production of high quality of larvae and juveniles, which is dependent on successful initial feeding, normal development, and growth of larvae. Also, the growth and survival of newly hatched larvae are primarily attained by the impressive digestion, absorption, and utilization of nutrients following the feeding. However, numerous fish species developed for aquaculture show high mortality during early development. For mass fish production, therefore, it is important to decrease mortality. Thyroid hormones have been well known to have an important role in early development of fish and also known to be present in the eggs and newly hatched larvae and can affect fish survival and growth. There are various methods for using thyroid hormones, which consist of injection, implantation, oral administration and immersion. Regarding that, the role of thyroid hormones in development, swim bladder inflation and immunity enhances it can be used widely in aquaculture industry. In this study, the role and applications of thyroid hormones in fish physiology will be discussed, as an important strategy for improvement and development of aquaculture and it was found that the use of thyroid hormones in optimal doses could improve growth and reproductive performance in aquaculture.

**Keywords:** Thyroid hormone, Growth, Metabolism, Reproduction

---

\*Corresponding author: [falahatkar@guilan.ac.ir](mailto:falahatkar@guilan.ac.ir)