



مروری بر تاثیر فلزات سنگین در تولیدمثل ماهی

تکاور محمدیان^۱، میثم مکی^۲، محمد صالح فتحی سقزچی^{۳*}، محمد حاتم نژاد^۴

۱. دانشیار گروه بهداشت دام، طیور و آبزیان، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲. استادیار گروه علوم درمانگاهی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳، ۴. دانشجوی دکترای حرفه‌ای، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

* مسئول مکاتبات: msfs.saveh@gmail.com

چکیده

فلزات سنگین آلاینده‌های فراگیر و مضر موجود در اکوسیستم آبی هستند. غلظت این فلزات به دلیل پسماندهای انسانی، ترکیب ژئوشیمیایی، فعالیت‌های کشاورزی و اکتشافات معدن به طور چشمگیری افزایش یافته است. ماهی‌ها در معرض آلودگی فلزات سنگین قرار دارند و از آنجا که در محیط آبی زندگی می‌کنند، تماس آن‌ها با این فلزات اجتناب‌ناپذیر است. ورود بیش از حد آلاینده‌ها به اکوسیستم آبی، باعث تجمع بیشتر فلزات سنگین در بافت‌های ماهی می‌شود. با این حال، ماهی‌ها در اکوسیستم‌های طبیعی تخم‌گذاری می‌کنند که ممکن است آلوده به فلزات سنگین باشد. تولیدمثل ماهی‌ها فرآیند کلیدی برای تامین ذخیره ماهی‌ها در اکوسیستم طبیعی بوده و برای تولید آبرزی پروری ضروری است. کیفیت آب از نظر آلودگی فلزات سنگین، تأثیر قطعی بر تولید مثل ماهی‌ها دارد. بنابراین، شناخت پیامدهای فلزات سنگین بر اکوسیستم آبی و تأثیر آن‌ها بر تولید مثل ماهی‌ها حائز اهمیت است. چندین مقاله مروری و گزارش در مورد تأثیر فلزات سنگین بر سلامت ماهی‌ها، تغییرات بیوشیمیایی خون، تغییرات بافت‌شناسی، استرس سلولی و فیزیولوژیکی در اندام‌های حیاتی وجود دارد اما گزارش‌های جامع کمی در مورد اثرات سمی فلزات سنگین بر تولید مثل ماهی‌ها منتشر شده است. گزارش‌ها نشان می‌دهند که فلزات سنگین باعث اختلال در تولید مثل ماهی‌ها می‌شوند، از القای ویتلوژنین جلوگیری می‌کنند، اووژنز را به تأخیر می‌اندازند، ترشح هورمون لوتئین‌کننده را افزایش می‌دهند و پارامترهای شاخص گنادوسوماتیک و تخم‌ریزی را در ماهی‌ها کاهش می‌دهند. بنابراین، این مقاله مروری به صورت جامع به اثرات سمی فلزات سنگین بر تولیدمثل ماهی‌ها با تمرکز ویژه بر سیستم تولید مثل نر و ماده می‌پردازد.

واژگان کلیدی: تولید مثل ماهی، فلزات سنگین، تخمدان، بیضه.

مقدمه

فلزات سنگین از جمله خطرناک‌ترین و گسترده‌ترین آلاینده‌هایی هستند که به‌طور طبیعی به عنوان عناصر کمیاب در هیدروسفر یافت می‌شوند، اما غلظت آن‌ها به‌طور چشمگیری به دلیل پسماندهای انسانی، ترکیب ژئوشیمیایی، فعالیت‌های کشاورزی و معدن‌کاری افزایش یافته است (Kumar et al., 2019). فلزات سنگین در رسوبات و آب بدنه‌های آبی طبیعی یافت می‌شوند (Samanta et al., 2020). ماهی‌ها یکی از گسترده‌ترین گونه‌ها در محیط آبی هستند و نسبت به آلودگی فلزات سنگین آسیب‌پذیرتر می‌باشند. فلزات سنگینی مانند مس، آهن و روی برای متابولیسم ماهی ضروری هستند (Joseph et al., 2012; Solgi and Mirmohammadvali, 2021)، در حالی که جیوه، کادمیوم، آرسنیک و سرب هیچ نقش بیولوژیکی ندارند (Ramon et al., 2021; Kumar et al., 2021). ماهی‌ها فلزات کمیاب را از طریق پوست، آبشش‌ها و فرآیند تنظیم اسمزی از آب جذب می‌کنند که برای فرآیندهای فیزیولوژیکی بدن ضروری هستند. به دلیل بار آلودگی بیش از حد در اکوسیستم آبی، ماهی‌ها مجبور به جذب فلزات سنگین بیشتری در بدن خود شده‌اند که تأثیرات قابل‌توجهی بر سلامت ماهی داشته و همچنین زیستگاه طبیعی رشد ماهی را تخریب می‌کند.



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

سمیت فلزات سنگین در اندام‌ها، بافت‌ها و سلول‌های ماهی به‌طور گسترده مورد تحقیق قرار گرفته است (Baby *et al.*, 2010; Kumar and Li, 2018). تجمع فلزات سنگین در ماهی‌ها همچنین اثرات سمی بر جمعیت مصرف‌کننده دارد (Kumar *et al.*, 2020); آن‌ها ممکن است بر نرخ رشد فردی، فرایندهای فیزیولوژیکی، مرگ و میر و تولید مثل ماهی تأثیر بگذارند (Sfakianakis *et al.*, 2015) و همچنین اثرات مضر بر سیستم ایمنی ماهی، پارامترهای بیوشیمیایی خون، استرس اکسیداتیو سلولی و سایر اندام‌ها داشته باشند (Zhang *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2019).

تولید مثل یکی از حیاتی‌ترین سیستم‌های فیزیولوژیکی در چرخه زندگی تمام گونه‌های زنده از جمله ماهی‌ها است (Suresh *et al.*, 2017; Sahoo *et al.*, 2018; Sarkar *et al.*, 2021). [13-15]. در مقایسه با حیوانات خشکی‌زی، فرآیند تولید مثل ماهی‌ها بسیار پیچیده است، زیرا بیشتر ماهی‌ها لقاح خارجی دارند و موفقیت تولید مثل عمدتاً به کیفیت آب بستگی دارد (Bhakta *et al.*, 2021; Behera *et al.*, 2015).

عملکردهای تولید مثل جزء مهمی در تعیین پویایی جمعیت ماهی‌ها هستند. مشخص شده است که فلزات سنگین با تأثیر بر کیفیت و تعداد گامت‌ها و همچنین سیستم غدد درون‌ریز، در گامت‌زایی اختلال ایجاد می‌کنند (Carnevali *et al.*, 2018; Gallego and Asturiano, 2019). مطالعات بسیاری گزارش داده‌اند که فلزات سنگین با کاهش شاخص گنادوسوماتیک (GSI) (Gerbron *et al.*, 2014)، مهار هورمون‌های تولید مثلی (Ebrahimi and Taherianfard, 2021)، کاهش قطر اووسیت (Alquezar *et al.*, 2016)، تغییر رفتار تولید مثلی (Bertram *et al.*, 2015) و افزایش ناهنجاری‌های لاروی ماهی (Sfakianakis *et al.*, 2015)، بر تولید مثل ماهی تأثیر می‌گذارند. با وجود اینکه تحقیقات مختلفی در مورد تأثیر فلزات سنگین بر تولید مثل ماهی انجام شده است، هیچ مطالعه و گزارش جامع جهانی در مورد اثرات مضر فلزات بر تولید مثل ماهی، تغییر رفتار تولید مثلی و تأثیر آن‌ها بر بازسازی و کاهش جمعیت ماهی‌ها وجود ندارد. این مقاله مروری، اثرات مضر فلزات سنگین به‌ویژه کادمیوم، سرب، مس و جیوه بر تولید مثل ماهی‌ها را مورد بحث قرار می‌دهد.

فرآیند تولیدمثل ماهی

تولید مثل ماهی‌ها شامل فرایندهای متنوعی است و بین گونه‌های مختلف ماهی‌ها تفاوت وجود دارد. به عنوان مثال، فرآیند تولید مثل بین گونه‌های آب شیرین و آب شور متفاوت است و ماهی‌ها ممکن است لقاح داخلی یا خارجی داشته باشند (Behera *et al.*, 2010). ماهی‌ها می‌توانند تک‌زا (فقط یک بار در طول عمر تخم‌ریزی می‌کنند) یا چندزا (بیش از یک بار در طول عمر تخم‌ریزی می‌کنند) باشند. تولید مثل ماهی‌ها عمدتاً به عوامل محیطی وابسته است. این عوامل محیطی، غده پینه‌آل در مغز را تحریک می‌کنند که به نوبه خود هیپوتالاموس را برای تولید هورمون آزادکننده گنادوتروپین (GnRH) فعال می‌کند. در بیشتر ماهی‌های استخوانی، لقاح خارجی اتفاق می‌افتد و موفقیت تولید مثل عمدتاً به عوامل محیطی بستگی دارد.

تأثیر فلزات سنگین بر هورمون‌های تولید مثلی

هورمون‌های تولید مثلی برای تولید مثل موفق ماهی‌ها ضروری هستند (Cao *et al.*, 2019). یکی از مهم‌ترین هورمون‌ها در تنظیم فرآیند تولیدمثل، گنادوتروپین است. گنادوتروپین دو نقش ساختاری و شیمیایی متمایز و همچنین دو شکل متفاوت دارد. GTH-I در ویتلوزن یا اسپرماتوزن (مرحله اول گامت‌زایی) نقش دارد، در حالی که GTH-II در اسپرمیوزن و اسپرمیاسیون مشارکت می‌کند (Mehdi and Seyed, 2017). هیپوتالاموس هورمون آزادکننده گنادوتروپین را ترشح می‌کند که باعث ترشح و سنتز GTH در هیپوفیز، به ویژه FSH و LH می‌شود. LH و FSH چرخه سالانه رشد گنادها را مانند تولید استروئیدهای جنسی در هر دو جنس، تخمک‌گذاری در ماده‌ها و آزادسازی اسپرم در نرها تنظیم می‌کنند (Takahashi *et al.*, 2016). به نوبه خود، FSH و LH می‌توانند استروئیدزایی و گامت‌زایی گنادها را تحریک کنند (Kim *et al.*, 2014).



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

هورمون‌های گنادوتروپین سپس به گنادها منتقل می‌شوند، جایی که باعث استروئیدزایی شده و در نتیجه هورمون‌های استروئیدی جنسی تولید می‌شوند که فرآیند تولید مثل را کنترل می‌کنند و همزمان از طریق مکانیسم‌های بازخورد، فرآیندهای تنظیمی هیپوتالاموس و هیپوفیز را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Nagahama and Yamashita, 2008). در نتیجه، اختلال در ترشح گنادوتروپین می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر باروری داشته باشد. سنتز هورمون‌های تولید مثل ماهی هنگامی مختل می‌شود که سیستم هیپوتالاموس-هیپوفیز دچار اختلال شود. هورمون تولید مثل دیگر، تستوسترون (T)، در رشد گنادها در پایان چرخه تولید مثل نقش دارد و به عنوان پیش‌ساز تولید استرادیول (E2) عمل می‌کند (Barannikova et al., 2002). ماده‌ها تولیدکنندگان اصلی استرادیول هستند. این هورمون همچنین در نرها نقش حیاتی دارد و تکثیر اسپرماتوگونی و عملکرد سلول‌های سرتولی را تنظیم می‌کند که هر دو توسط گیرنده‌های هسته‌ای استروژن (ERS) کنترل می‌شوند. ERS در تفاوت‌گذاری جنسی و بلوغ، مانند رشد بیضه‌ها، اووژن و ویتلوژن، اهمیت دارند (Kim et al., 2014).

هورمون استرادیول برای القای کلسیتونین که بر ترشح ویتلوژن و رشد اووسیت تأثیر می‌گذارد ضروری است. سطح تستوسترون با بلوغ گنادها در هر دو جنس ماهی افزایش می‌یابد (Li et al., 2016). رشد بیضه در نرها تحت تأثیر تستوسترون و 11-کتوتستوسترون (KT) قرار دارد، که در این میان 11-KT مؤثرتر از T عمل می‌کند. تصور می‌شود که 11-KT برای رفتار جنسی نرها و ترشح هورمون LH اهمیت دارد (Kim et al., 2014). ترکیب پیچیده‌ای از سیگنال‌های غدد درون‌ریز و نورواندوکرین از چندین گیرنده، همراه با تنظیم ترشحات پاراکرین و اتوکرین محلی و کنترل بازخوردی، همگی در این فرآیند نقش دارند. بنابراین، آلاینده‌هایی که تعادل هورمون‌های گنادوتروپین و هورمون‌های جنسی را برهم می‌زنند، می‌توانند بر تولید مثل ماهی‌ها تأثیر بگذارند (Liu et al., 2010).

هورمون‌های استروئیدی جنسی نقش مهمی در تفاوت‌گذاری جنسی، بلوغ و تولید مثل ایفا می‌کنند (Wang et al., 2018). تغییرات در هورمون‌های استروئیدی جنسی به عنوان معتبرترین و تعیین‌کننده‌ترین نشانگر زیستی برای تولید مثل در نظر گرفته می‌شوند و با بیان غیرطبیعی ژن‌های استروئیدونیک در ماهی زرافیش (ماهی گورخری) همخوانی دارند (Ma et al., 2012). در ماهی‌ها، تعادل هورمونی بین آندروژن‌ها و استروژن‌ها برای رشد غدد جنسی حیاتی است که این تعادل به عملکرد آروماتاز P450 (آنزیمی که آندروژن‌ها را به استروژن تبدیل می‌کند) وابسته است (Schulz et al., 2010). تفاوت‌گذاری جنسی و رشد غدد جنسی در ماهی‌ها ممکن است تحت تأثیر تغییرات سطح هورمون‌های جنسی مانند استرادیول و تستوسترون قرار گیرد. مشاهده شده که سطح هورمون‌های استروژن، پروژسترون و تستوسترون در ماهیان کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) و *Capoeta sp.* پس از قرارگیری در معرض فلزات سنگین کاهش می‌یابد (Ebrahimi and Taherianfard, 2011).

کادمیوم یک فلز بسیار خطرناک برای ماهی‌هاست که به عنوان مختل‌کننده غدد درون‌ریز عمل کرده و اثرات مختلفی بر تولید مثل از جمله تغییر در صفات ثانویه جنسی، افزایش سطح 11-کتوتستوسترون (Sellin and Kolok, 2011)، کاهش شاخص گنادوسوماتیک (-Drag) (Kozak et al., 2018)، کاهش تحرک اسپرم دارد. قرارگیری در معرض کادمیوم منجر به کاهش سطح استروژن در تیلاپای نیل شد (Acosta et al., 2016). Garriz و همکاران (2017) دریافتند که نرهای ماهی *pejerrey* که در معرض کادمیوم قرار گرفته‌اند، سطح بیان هورمون آزادکننده گنادوتروپین بالاتری داشتند. کادمیوم ممکن است از عملکرد صحیح آنزیم‌های دخیل در استروئیدوژنر گنادی و متابولیسم استروئیدهای کبدی جلوگیری کند.

کادمیوم سطح هورمون‌های تیروئید را در قزل‌آلای رنگین‌کمان کاهش داد، متابولیسم ید را مختل کرد و به توالی DNA گیرنده استروژن متصل شد و بر سطح رونویسی آن تأثیر گذاشت (Oliveres-Rubio et al., 2017). علاوه بر این، کادمیوم تعادل کلسیم را در غده هیپوفیز و غدد جنسی مختل کرد و باعث اختلال در ترشح هورمون‌ها شد. قرار گرفتن در معرض مخلوطی از فلزات محیطی (مس، آهن، منگنز، سرب، روی) منجر به تغییر در پروفایل گنادوتروپین‌ها و E2 در *Girardinichthys* شد. مس یک عنصر ضروری برای تمام موجودات زنده است و به عنوان کوفاکتور برای آنزیم‌های کلیدی تنظیم‌کننده هموستاز سلولی عمل می‌کند (Oliveres-Rubio et al., 2017). با این حال، سطوح بالای این فلز اثرات منفی بر سلامت و عملکرد حیوانات دارد (Belyaeva et al., 2011) و باعث اختلال در فرآیندهای



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

سلولی و فیزیولوژیکی مختلف از جمله تنظیم یونی و اسمزی، سیستم آنتی اکسیدانی (Silva et al., 2014) و تنفس (Olivares-Rubio et al., 2017) می شود.

مس (۳۰ روز قرار گرفتن در معرض ۲۰ و ۴۰ میکروگرم بر لیتر) وزن بدن و شاخص گنادوسوماتیک را در هر دو جنس ماهی زبرافیش (*Danio rerio*) کاهش داد. همچنین باعث ایجاد ضایعات، کاهش بلوغ گنادی، تغییر در غلظت هورمون های جنسی پلازما و پروفایل بیان ژن های مرتبط با غدد درون ریز در محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-گناد (HPG) شد (Behera et al., 2010). سایر گونه های ماهی نیز مهار رشد وابسته به مس را نشان داده اند (Silva et al., 2014). سطح رونوشت های *fshb* و *cyp19a1b* در ماهی های در معرض مس کاهش یافت (Olivares-Rubio et al., 2017). هورمون های گنادی شاخص های مهمی برای قرار گرفتن در معرض جیوه در سیستم تولید مثل هستند. مسمومیت با جیوه بر سیستم غدد درون ریز و تولید هورمون تأثیر می گذارد. در سرم ماهی های نر دریایی (*Sparus aurata*) در معرض $HgCl_2$ ، سطح TST و KT کاهش یافت و جیوه به عنوان یک مختل کننده غدد درون ریز و سرکوب کننده هورمون های جنسی شناخته شد. غلظت استرادیول در چندین گونه ماهی در معرض فلزات سنگین (سرب، جیوه، کادمیوم و آرسنیک) کاهش یافت (Ma et al., 2012).

تأثیر فلزات سنگین بر بیضه ها و اسپرماتوزن

موفقیت در لقاح، جامع ترین شاخص کیفیت اسپرم و یکی از نشانگرهای اولیه کیفیت تخمک است که می توان آن را ثبت کرد (Zebreal et al., 2019). چندین مطالعه نشان داده اند که فلزات سنگین بر تولید اسپرم تأثیر می گذارند (Silva et al., 2014; Bobe and Labbe, 2010; Hayati et al., 2019; Marquez et al., 2019; Zulfahmi et al., 2018). همچنین مشخص شده که فلزات سنگین باعث آسیب های بافتی در غدد جنسی گونه های مختلف ماهی می شوند (Luo et al., 2015; Bobe and Labbe, 2010). در میان فلزات سنگین، تعداد بسیار کمی از آنها مانند کادمیوم، روی، مس، سرب و جیوه تأثیرات منفی دارند و بیشتر مطالعات بر روی این فلزات متمرکز شده اند. تصور می شود که یک سوم کادمیوم موجود در محیط های آبی از تولید و استفاده از کودهای فسفاتی ناشی می شود (Gárriz et al., 2019). قرار گرفتن ماهی در معرض کادمیوم ممکن است منجر به فرآیندهای تجمعی شود که بسته به سطح تغذیه ای گونه متفاوت است. این فلز سنگین تأثیر منحصر به فردی بر سلول های اسپرم دارد (Drag-Kozak et al., 2018; Zulfahmi et al., 2018).

قرار گرفتن در معرض کادمیوم همچنین منجر به کاهش تحرک و سرعت اسپرم در *Prochilodus magdalenae* شده است (Zulfahmi et al., 2018). قرار گرفتن *Colossoma macropomum* در معرض غلظت های 0.1، 1.2، 1.6 و 1.8 ppm کادمیوم، میزان تحرک اسپرماتوزوئیدها را کاهش داد و همچنین کاهش نرخ لقاح و تفریح مشاهده شد (Le et al., 2018). قرار گرفتن در معرض کادمیوم با غلظت 2.5 ppm و 25 ppm به مدت 27.3 ثانیه، تحرک و سرعت اسپرم را در *Prochilodus magdalenae* کاهش داد (Pinto et al., 2020; Zulfahmi et al., 2018).

در لقاح خارجی ماهی ها، تحرک اسپرم، بارورسازی اووسیت ها و اسپرم را قبل از پایان زمان تحرک اسپرم تسهیل می کند (Pinto et al., 2020). بنابراین، تحرک اسپرم مستقیماً با باروری مرتبط است و به عنوان یک شاخص زیستی برای اثرات مضر ناشی از فلزات سنگین در ماهی استفاده شده است. کادمیوم کیفیت اسپرم را با کاهش تحرک سریع و متوسط کاهش داد و منجر به مهار 46.5 و 16.4 درصدی تحرک اسپرم به ترتیب در غلظت های 25 و 0.25 ppm شد (Zulfahmi et al., 2018). اثرات مشابهی نیز در ماهی هایی مانند *D. rerio* (Drag-Kozak et al., 2018) و *Clarias gariepinus* گزارش شده است که در آن تحرک اسپرم در غلظت های بیش از ۵۰ میلی گرم بر لیتر به طور کامل متوقف شد (Browne et al., 2015).



اثرات سمیت کادمیوم بر *P. magdalenae* در غلظت‌های بسیار پایین ppm 0/0025 شناسایی شد (Zulfahmi et al., 2018)، سطحی که هم از نظر محیطی مرتبط است و هم بسیار نزدیک به حد حداکثر کیفیت آب برای کادمیوم (ppm 0.0018) است (Eagderi et al., 2020). هنگامی که *Oreochromis niloticus* و *Barbodes sp.* در معرض کادمیوم قرار گرفتند، کاهش در محتوای اسپرم و توانایی باروری مشاهده شد (EPA, 2016). بر اساس گزارش El-Gamal و El-Greisy (2015) آلودگی به فلزات سنگین، به ویژه کادمیوم، بر رشد جنین‌های کپور معمولی تأثیر گذاشته است.

استرس اکسیداتیو به عنوان یکی از مسیرهای اصلی سمیت جیوه شناخته شده است (Marquez et al., 2019). جیوه می‌تواند گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) تولید کند که باعث اکسیداسیون DNA و لیپیدها، قطعه‌قطعه شدن DNA و پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود. علاوه بر این، پس از قرار گرفتن در معرض ROS، که نتیجه ثانویه پراکسیداسیون لیپیدها است، مالون‌دی‌آلدهید (MDA) تشکیل می‌شود که باعث ناباروری می‌شود. ROS تحرک و انعطاف‌پذیری اسپرم را از طریق پراکسیداسیون غشای لیپیدی و تولید MDA کاهش می‌دهد. جیوه همچنین ممکن است به پروتئین‌های دم اسپرم متصل شود که حرکت اسپرم و فرکانس ضربان را تغییر می‌دهد و آنزیم‌های متابولیک سلول‌های اسپرم را تحت تأثیر قرار می‌دهد که بر مدت تحرک، ریخت‌شناسی و بقای اسپرم تأثیر می‌گذارد (Nursanti et al., 2017). تغییرات در محیط آبی از نظر دمای آب، pH، اکسیژن محلول و وجود آلاینده‌ها، عوامل خارجی هستند که باعث قطعه‌قطعه شدن DNA در سلول‌های اسپرم می‌شوند. به عنوان مثال، قرار گرفتن ماهی نر *Poecilia reticulata* به مدت ۱۸۰ روز در معرض ۳۰ تا ۵۰ گرم بر لیتر جیوه، تأخیر در اسپرماتوژنز و کاهش شاخص گونادوسوماتیک را به دنبال داشت (Hayati et al., 2017). در ماهیان نر *P. reticulata* و *Oryzias latipes*، پس از قرار گرفتن در معرض جیوه، انحطاط بیضه، توقف تشکیل اسپرم، مهار اسپرماتوژنز و کاهش اسپرماتوکریت مشاهده شد (Liao et al., 2006). قرار گرفتن مزمن در معرض مس منجر به کاهش برخی پارامترهای اسپرم می‌شود که با افزایش آسیب اکسیداتیو بیضه مرتبط است.

Clarias gariepinus در معرض 1، 6، 12.2 و 24.4 ppm سرب به مدت ۹۶ ساعت، کاهش تحرک اسپرم را نشان داد (Alkahemal et al., 2011). *Colossoma macropomum* در معرض 0، 0.4، 0.8 و 1.2 ppm مس، کاهش نرخ تحرک اسپرماتوزوئیدها، کاهش باروری و نرخ تفریح را تجربه کرد (Pinto et al., 2020). اخیراً Chen و همکاران (2021) گزارش کردند که قرارگیری *Danio rerio* در معرض 0.6، 3 یا 15 ppb جیوه به مدت ۵ روز، باعث کاهش تخم‌ریزی در نسل F0 و سپس کاهش باروری شد. مرگ و میر اسپرم و باروری اسپرم در *Cyprinus carpio* در معرض 0.5-5 ppm جیوه به مدت ۷۲ ساعت کاهش یافت (Hayati et al., 2019).

تأثیر فلزات سنگین بر تخمدان و اووژنز

تأثیر فلزات سنگین بر تخمدان و اووژنز در ماهی‌ها به خوبی مستند شده است (Shobikhuliatul et al., 2013; Ambani, 2015). اووژنز فرآیند رشد اووسیت‌های نابالغ یا پیش‌ویتلوژنیک به اووسیت‌های بالغ در ماهیان استخوانی است که با تجمع وزیکول‌های زرده در طول ویتلوژنز و بلوغ اووسیت‌های بالغ اتفاق می‌افتد. بلوغ اووسیت قبل از تخمک‌گذاری رخ می‌دهد و برای مؤثر بودن لقاح ضروری است (Gautam and Chaube, 2018). بلوغ اووسیت‌ها در چرخه زندگی رشد ماهی بسیار مستعد مسمومیت است. سموم فلزات سنگین منتشرشده از منابع مختلف، اثرات مخربی بر تخمدان دارند (Bbraich and Jangu, 2015) و در نهایت بقای ماهی را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

کیفیت اووسیت‌های جنین برای رشد سالم آن حیاتی است. به نظر می‌رسد بلوغ اووسیت در اووژنز نقش کلیدی دارد (Ebrahimi and Taherianfard, 2021). آلاینده‌های فلزات سنگین می‌توانند به دلیل مسمومیت تخم‌ها، تجمع فلز در تخم‌ها یا تأثیر مستقیم فلز بر فرآیند اووژنز، تغییراتی در اووسیت‌های ماهی ایجاد کنند (Bbraich and Jangu, 2015). سمیت فلزات بیشترین تأثیر را بر بلوغ اووسیت‌ها دارد که ممکن است منجر به تولید اووسیت‌های کمتر و با کیفیت پایین‌تر شود. بلوغ اووسیت‌ها بیشترین حساسیت را به مسمومیت فلزی دارد. بنابراین، اختلالات ناشی از آلاینده‌های فلزات سنگین در طول رشد اووسیت‌ها، منجر به کاهش کمیت و کیفیت تخم‌ها می‌شود.



پس از مرحله تخم‌ریزی، تخمدان‌های ماهیان ماده‌ای که تخم‌ریزی نمی‌کنند، با افزایش غلظت فلزات سنگین، آترزی (تحلیل رفتن) پیدا می‌کنند. در این حالت، نسبت اووسیت‌های رشد یافته کاهش و آترزی افزایش می‌یابد. افزایش فلزات سنگین (مس، سرب، نیکل و کادمیوم) باعث تشدید آترزی در تخمدان *Tilapia zillii* می‌شود. تخمدان‌های ماهیان *Tilapia zillii* صیدشده از ایستگاه الناصریه در منطقه دلتای نیل، نشانه‌هایی از توقف بلوغ به دلیل تخلیه فلزات سنگین از فاضلاب‌های صنعتی را نشان دادند (Azab et al., 2019). به دلیل مسمومیت تخم‌ها، تجمع فلز در تخم‌ها یا تأثیر مستقیم فلز بر فرآیند اووژنز، آلاینده‌های فلزات سنگین می‌توانند تغییراتی در اووسیت‌های ماهی ایجاد کنند (Singh and Lal, 2015). قرار گرفتن مزمن در معرض کادمیوم، تولیدمثل ماهی را با مسدود کردن القای ویتلوژن، تأخیر در اووژنز در قزل‌آلای قهوه‌ای، افزایش ترشح هورمون لوئتینیزه‌کننده و کاهش شاخص گونادوسوماتیک و پارامترهای تخمک‌گذاری در کپور نقره‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهد.

آترزی تخمدانی در ماهیان ماده با غلظت فلزات سنگین مرتبط دانسته شده است (Levavi-Sivana et al., 2004). افزایش فلزات سنگین باعث افزایش آترزی در تخمدان *Tilapia zillii* همراه با تغییرات تخریبی و نکروتیک در اووسیت‌ها و تغییرات تکثیری در گرانولوزای بیشتر اووسیت‌ها شد. در نتیجه اختلالات مختلف ناشی از آلودگی فلزات سنگین در طول رشد اووسیت، تعداد و کیفیت تخم‌ها کاهش می‌یابد (Azab et al., 2019). کادمیوم می‌تواند به شدت محور هیپوفیز-گناد-کبد را در ماهیان ماده در حال بلوغ تحریک کند و باعث ویتلوژنز زودرس و شدید شود. بیشترین مقدار کادمیوم در تخم‌های مارماهی اروپایی مشاهده شده است که ممکن است تأثیر مضر بر فرآیند لقاح، رشد جنینی و نرخ بقای جنین داشته باشد (Nowosad et al., 2021). جنین‌های تحت تأثیر کادمیوم معمولاً نقایص مادرزادی و نرخ بقای پایینی نشان می‌دهند (Hani et al., 2019).

علاوه بر این، نشان داده شده است که جیوه اثرات منفی بر رشد گناد، تخم‌ریزی ماهی و تولید و رشد تخم دارد (Crump and Trudeau, 2019). کادمیوم به‌طور مستقیم ساختار گناد را با ایجاد واکوئل‌سازی تخریب می‌کند (El-Ebiary et al., 2017). این فلز در تولید هورمون‌های تولید مثلی که رشد سلول‌های تخم و تخمک‌گذاری را در طول ویتلوژنز و بلوغ اووسیت کنترل می‌کنند، اختلال ایجاد می‌کند (Gautam and Chaube, 2018). چرخه اووژنز در ماهیان آب شیرین پس از قرار گرفتن در معرض جیوه معدنی یا قارچ‌کش جیوه‌دار به طور قابل توجهی کاهش یافت که با کاهش شاخص گونادوسوماتیک همراه بود. قرار گرفتن در معرض 180 روزه منجر به تشکیل اووسیت‌های نابالغ بدون ویتلوژن شد، در حالی که در ماهیان کنترل، تخمدان کاملاً رشد یافته با تعداد قابل توجهی اووسیت‌های بالغ و در حال بلوغ مشاهده شد (Crump and Trudeau, 2019). حضور سرب در محیط می‌تواند استروئیدوژن تخمدانی، گامت‌زایی و تخمک‌گذاری را مختل کند که تأثیر منفی بر تولیدمثل ماهی و تراکم جمعیت دارد (Chaube et al., 2010).

پس از 12 روز قرار گرفتن در معرض 10 میکروگرم بر لیتر سرب، Ruby و همکاران (2000) دریافتند که ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان ماده در معرض فلزات سنگین، ویتلوژنز خارجی را نشان دادند، در حالی که شاخص گونادوسوماتیک در ماهیان کنترل به طور قابل توجهی بالاتر از ماهیان در معرض سرب بود. قرار گرفتن در معرض غلظت‌های مختلف سرب منجر به کاهش تعداد قطرات لیبیدی در اووسیت‌های گورخری شد (Van Ngo et al., 2021). سرب رشد تخمدان را کاهش داد و تولید اسپرماتوسیت‌ها را کم کرد (Mondal et al., 2018). در *Clarias batrachus*، ناهنجاری‌هایی در بیضه و تخمدان پس از قرار گرفتن در معرض 5 ppm سرب به مدت 50 روز مشاهده شد (Authman et al., 2015). تخریب اووسیت همراه با کاهش باروری در *Trematodus bernacchii* در معرض مس مشاهده شد (Motta et al., 2021). کاهش وزن تخمدان در *Fundulus sp.* در معرض مس دیده شد (James et al., 2008).

نتیجه‌گیری

بیواکومولاسیون و بیومگنیفیکاسیون فلزات سنگین در موجودات آبرزی به طور فزاینده‌ای در اکوسیستم‌های آلوده مختلف گزارش شده است. در بیشتر ماهی‌ها، لقاح خارجی اتفاق می‌افتد بنابراین کیفیت آب اکوسیستم نقش اصلی را در تکثیر ماهی‌ها ایفا می‌کند. قرار گرفتن در معرض



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی، اثرات منفی متعددی بر عملکرد تولید مثلی ماهی‌ها نشان داده است. گونه ماهی، سن، شرایط محیطی، مدت زمان قرار گرفتن در معرض و غلظت مواجهه یا ترکیبی از این عوامل، همگی بر عملکرد تولید مثلی ماهی تأثیر می‌گذارند. داده‌های علمی (عمدتاً کادمیوم، سرب، مس و جیوه) مورد بحث در این مرور، به عنوان پایه‌ای برای درک بهتر اثرات احتمالی این فلزات عمل می‌کنند. آب‌های سطحی که شامل هر دو نوع آب‌های طبیعی و مصنوعی (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، مخازن، تالاب‌ها، پارک‌ها و غیره) هستند، نقش حیاتی در خدمات اکوسیستم شهری ایفا می‌کنند و منبع مهمی برای آب آشامیدنی، آبیاری و تفریح محسوب می‌شوند. با این حال، تغییرات در آب‌های سطحی شهری ممکن است منجر به نوسان در غلظت فلزات سنگین (مانند کادمیوم، سرب، مس و جیوه) شود که پیامدهای منفی برای سلامت ماهی، تولید مثل و بقا دارد. بنابراین، جست و جوی روش‌هایی برای مدیریت غلظت فلزات سنگین، چالشی مهم برای مدیریت پایدار اکوسیستم‌های آبی است.

علاوه بر این، مطالعات بیشتری در مورد اثرات سایر فلزات سنگین خطرناک از جمله مکانیسم‌های سلولی و مولکولی زمینه‌ای آن‌ها برای افزایش درک ما از کشندگی فلزات سنگین بر تولید مثلی ماهی و ارزیابی خطر مورد نیاز است. بیشتر مطالعات از غلظت‌های زیر کشنده فلزات سنگین برای ارزیابی سمیت در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی استفاده کرده‌اند. اطلاعات کافی در مورد ارزیابی سمیت در غلظت‌های واقعی محیطی وجود ندارد.

منابع

- Acosta, I.B., Junior, A.S.V., Silva, E., Cardoso, T.F., Caldas, J.S., Jardim, R.D. and Corcini, C.D., 2016.** Effects of exposure to cadmium in sperm cells of zebrafish, *Danio rerio*. *Toxicology Reports*, 3: 696–700.
- Authman, M.M., Zaki, M.S., Khallaf, E.A. and Abbas, H.H., 2015.** Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution. *Journal of Aquaculture Research and Development*, 6: 1-13.
- Alkahemal-Balawi, H.F., Ahmad, Z., Al-Akel, A.S., Al-Misned, F., Suliman, E.A.M. and Al-Ghanim, K.A., 2011.** Toxicity bioassay of lead acetate and effects of its sub-lethal exposure on growth, haematological parameters and reproduction in *Clarias gariepinus*. *African Journal of Biotechnology*, 10:11039-11047.
- Ambani, M.M., 2015.** Effects of reproductive biology on heavy metal pollution on the histopathological structure of gonads in India. *Advances in Aquaculture and Fisheries Management*, 3: 223 -227.
- Alquezar, R., Markich, S.J. and Booth, D.J., 2006.** Effects of metals on condition and reproductive output of the smooth toadfish in Sydney estuaries, South-eastern Australia. *Environmental Pollution*, 142:116-122.
- Azab, M.A., Aly-Eldeen, M.A., Khalaf-Allah, H.M.M. and El-Battal, M.M.A., 2019.** Effect of heavy metals on the ovary of *Tilapia zillii* in some canals of Nile Delta area, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 23: 329-345.
- Brraich, O.S. and Jangu, S., 2015.** Some aspects of reproductive biology on effect of heavy metal pollution on the histopathological structure of gonads in *Labeo rohita* (Hamilton-Buchanan) from Harike wetland, India. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 7:9-14.
- Baby, J., Raj, J.S., Biby, E.T., Sankarganesh, P., Jeevitha, M.V., Ajisha, S.U. and Rajan, S.S., 2010.** Toxic effect of heavy metals on aquatic environment. *International Journal of Biological and Chemical Science*, 4: 939-952.
- Barannikova, I.A., Dyubin, V.P., Bayunova, L.V. and Semenkov, T.B., 2002.** Steroids in the control of reproductive function in fish. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 32: 141-148.



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

- Belyaeva, E.A., Korotkov, S.M. and Saris, N.E., 2011.** In vitro modulation of heavy metal induced rat liver mitochondria dysfunction: A comparison of copper and mercury with cadmium. *Journal of Trace Element and Medical Biology*, 25: 63-73.
- Bertram, M.G., Saaristo, M., Baumgartner, J.B., Johnstone, C.P., Allinson, M., Allinson, G. and Wong, B.B., 2015.** Sex in troubled waters: widespread agricultural contaminant disrupts reproductive behaviour in fish. *Hormonal Behavior*, 70: 85-91.
- Behera, B.K., Das, P., Singh, N.S. and Sahu, A.K., 2010.** Captive breeding of an endemic medium carp Pengba, *Osteobrama belangeri* (Val.) with Wova-FH in Manipur. *Journal of Aquaculture*, 18: 23-29.
- Bhakta, M., Vuong, T., Taura, T., Wilson, D.S., Stratton, J.S. and Mackenzie, K.D., 2021.** Migraine therapeutics differentially modulate the CGRP pathway. *Cephalalgia*, 41: 499-514.
- Behera, B.K., Singh, N.S., Paria, P., Sahoo, A.K., Panda, D., Meena, D.K., Das, P., Pakrashi, S., Biswas, D.K. and Sharma, A.P., 2015.** Population genetic structure of Indian shad, *Tenulosa ilisha* inferred from variation in mitochondrial DNA sequences. *Journal of Environmental Biology*, 36: 1193.
- Bobe, J. and Labbe, C., 2010.** Egg and sperm quality in fish. *General and Comparative Endocrinology*, 165: 535-548.
- Browne, R.K., Kaurova, S.A., Uteshev, V.K., Shishova, N.V., McGinnity, D., Figiel, C.R. and Cosson, J., 2015.** Sperm motility of externally fertilizing fish and amphibians. *Theriogenology*, 83: 1-13.
- Carnevali, O., Santangeli, S., Forner-Piquer, I., Basili, D. and Maradonna, F., 2018.** Endocrine-disrupting chemicals in aquatic environment: what are the risks for fish gametes? *Fish Physiology and Biochemistry*, 44: 1561-1576.
- Cao, J., Wang, G., Wang, T., Chen, J., Wenjing, G., Wu, P. and Xie, L., 2019.** Copper caused reproductive endocrine disruption in zebrafish (*Danio rerio*). *Aquatic Toxicology*, 211: 124-136.
- Crump, K.L. and Trudeau, V.L., 2009.** Mercury-induced reproductive impairment in fish. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28: 895-907.
- Chaube, R., Mishra, S. and Singh, R.K., 2010.** In vitro effects of lead nitrate on steroid profiles in the post-vitellogenic ovary of the catfish *Heteropneustes fossilis*. *Toxicology In Vitro*, 24: 1899-1904.
- Ebrahimi, M. and Taherianfard, M., 2011.** Pathological and hormonal changes in freshwater fishes due to exposure of heavy metal pollutants. *Water Air Soil Pollution*, 217: 47-55.
- Drąg-Kozak, E., Socha, M., Gosiewski, G., Łuszczek-Trojan, E., Chyb, J. and Popek, W., 2018.** Protective effect of melatonin on cadmium-induced changes in some maturation and reproductive parameters of female Prussian carp (*Carassius gibelio* B.). *Environmental Science and Pollution Research*, 25: 9915-9927.
- El-Ebiary, E.H., Wahbi, O.M. and El-Greisy, Z.A., 2013.** Influence of dietary cadmium on sexual maturity and reproduction of red tilapia. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 39: 313-331.
- Ebrahimi, M. and Taherianfard, M., 2011.** The effects of heavy metals exposure on reproductive systems of cyprinid fish from Kor River. *Iranian Journal of Fisheries Science*, 10: 3-26.
- Eagderi, S., Mojazi Amiri, B., Poorbagher, H., Nasrollah Pourmoghdam, M., Mobin, N.N. and Pourang, N., 2020.** Effects of Cd, Cu and Zn on sperm motility indicators of the Caspian lamprey, *Caspiomyzon wagneri*. *Iranian Journal of Fisheries Science*, 19: 2943-2953.
- EPA, 2016.** Aquatic life ambient water quality criteria. Update for cadmium. In: EPA822-F-16-003.
- Nursanti, L., Nofitasari, E., Hayati, A., Hariyanto, S., Irawan, B. and Soegianto, A., 2017.** Effects



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

of cadmium on metallothionein and histology in gills of tilapia (*Oreochromis niloticus*) at different salinities. Toxicological and Environmental Chemistry, 99: 926-937.

Gallego, V. and Asturiano, J.F., 2019. Fish sperm motility assessment as a tool for aquaculture research: A historical approach. Review in Aquaculture, 11:697-724.

Gerbrón, M., Geraudie, P., Fernandes, D., Rotchell, J.M., Porte, C. and Minier, C., 2014. Evidence of altered fertility in female roach (*Rutilus rutilus*) from the River Seine (France). Environmental Pollution, 191: 58-62.

Gárriz, Á., Pamela, S., Carriquiriborde, P. and Miranda, L.A., 2019. Effects of heavy metals identified in Chascomús shallow lake on the endocrine-reproductive axis of pejerrey fish (*Odontesthes bonariensis*). General and Comparative Endocrinology, 273: 152-162.

Gautam, G.J. and Chaube, R., 2018. Differential effects of heavy metals (cadmium, cobalt, lead and mercury) on oocyte maturation and ovulation of the catfish *Heteropneustes fossilis*: An in vitro study. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 18: 1205-1214.

Hani, Y.M.I., Turies, C., Palluel, O., Delahaut, L., Bado-Nilles, A., Geffard, A., Dedourge-Geffard, O. and Porcher, J.P., 2019. Effects of a chronic exposure to different water temperatures and/or to an environmental cadmium concentration on the reproduction of the three spine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*). Ecotoxicology Environmental Safety, 174: 48-57.

Hayati, A., Wulansari, E., Armando, D.S., Sofiyanti, A., Amin, M.H.F.A. and Pramudya, M., 2019. Effects of in vitro exposure of mercury on sperm quality and fertility of tropical fish *Cyprinus carpio* L. Egyptian Journal of Aquatic Research, 45: 189-195.

Hayati, A., Giarti, K., Winarsih, Y. and Amin, M.F.F., 2017. The effect of cadmium on sperm quality and fertilization of *Cyprinus carpio* L. Journal of Tropical Biodiversity Biotechnology, 2:45-50.

James, R., Sampath, K., Jothilakshmi, S., Vasudhevan, I. and Thangarathinam, R., 2008. Effects of copper toxicity on growth, reproduction and metal accumulation in chosen ornamental fishes. Ecohydrology and Hydrobiology, 8: 89-97.

Joseph, B., George, J. and Jeevitha, M.V., 2012. Impact of heavy metals and Hsp response. International Journal of Bioscience, 2: 51-64.

Kim, N.N., Shin, H.S. and Choi, Y.J., 2014. Kisspeptin regulates the hypothalamus pituitarygonad axis gene expression during sexual maturation in the cinnamon clownfish, *Amphiprion melanopus*. Comparative Biochemistry and Physiology, B.168: 19-32.

Kumar, V.S., Raman, R.K., Talukder, A., Mahanty, A., Sarkar, D.J., Das, B.K., Bhowmick, S., Samanta, S., Manna, S.K. and Mohanty, B.P., 2021. Arsenic bioaccumulation and identification of low-arsenic-accumulating food fishes for aquaculture in arsenic-contaminated ponds and associated aquatic ecosystems. Biological Trace Element Research, pp.1-14.

Kumar, R.S. and Li, X., 2018. Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. Toxicology Report, 5: 288-295.

Kumar, V.S., Raman, R.K., Talukder, A., Kakati, A., Bhowmick, S., Manna, S.K., Samanta, S. and Mohanty, B.P., 2020. Clinico-epidemiological study of arsenicosis in arsenic endemic areas of West Bengal, India. Journal of the Inland Fisheries Society of India, 52: 068.

Kumar, V., Sharma, A., Kaur, P., Sidhu, G.P.S., Bali, A.S., Bhardwaj, R., Thukral, A. and Cerda, A., 2019. Pollution assessment of heavy metals in soils of India and ecological risk assessment: A state-of-the-art. Chemosphere, 216: 449-462.

Le, C.G., Lacroix, C., Artigaud, S., Le Floch, S., Raffray, J., Penicaud, V. and De Morais, L.T., 2018. Significance of metallothioneins in differential cadmium accumulation kinetics between two marine fish species. Environmental Pollution, 236: 462-476.



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

- Levavi-Sivana, B., Vaimana, R., Sachs, O. and Tzchorib, I., 2004.** Spawning induction and hormonal levels during final oocyte maturation in the silverperch, *Bidyanus bidyanus*. *Aquaculture*, 229: 419-431.
- Lee, J.W., Choi, H., Hwang, U.K., Kang, J.C., Kang, Y.J., Kim, K.I. and Kim, J.H., 2019.** Toxic effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune responses in fish: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 68: 101-108.
- Li, M.Y., Cao, J.L., Chen, J.J., Song, J., Zhou, B.R., Feng, C.P. and Wang, J.D., 2016.** Waterborne fluoride exposure changed the structure and the expressions of steroidogenic-related genes in gonads of adult zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere*, 145: 365-375.
- Liu, C., Deng, J., Yu, L., Ramesh, M. and Zhou, B., 2010.** Endocrine disruption and reproductive impairment in zebrafish by exposure to 8:2 fluorotelomer alcohol. *Aquatic Toxicology*, 96: 70-76.
- Luo, Y., Shan, D., Zhong, H., Zhou, Y., Chen, W., Cao, J., Guo, Z., Xiao, J., He, F., Huang, Y., Li, J., Huang, H. and Xu, P., 2015.** Subchronic effects of cadmium on the gonads, expressions of steroid hormones and sex-related genes in *Tilapia* (*Oreochromis niloticus*). *Ecotoxicology*, 24: 2213-2223.
- Liao, C.Y., J.J. Fu, J.B. Shi, Zhou, Q.F., Yuan, C.G. and Jiang, G.B., 2006.** Methylmercury accumulation, histopathology effects, and cholinesterase activity alterations in medaka (*Oryzias latipes*) following sublethal exposure to methylmercury chloride. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 22: 225-233.
- Ma, Y., Han, J., Guo, Y., Lam, P.K., Wu, R.S., Giesy, J.P., Zhang, X. and Zhou, B., 2012.** Disruption of endocrine function in in vitro H295R cell-based and in vivo assay in zebrafish by 2,4-dichlorophenol. *Aquatic Toxicology*, 106-107: 173-181.
- Marquez, L.S., Jose, E.A., Victor, A.G. and Jesus, O.V., 2019.** Effects of cadmium exposure on sperm and larvae of the neotropical fish *Prochilodus magdalenae*. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, 225: 108577.
- Mehdi, Y. and Seyed, E.M., 2011.** The mechanism of reproduction and hormonal function in finfish species: A review. *Science Research Essay*, 26: 3561-3570.
- Mondal, K., Ghosh, S. and Haque, S., 2018.** A review on contamination, bioaccumulation and toxic effect of cadmium, mercury and lead on freshwater fishes. *International Journal of Zoology*, 3: 153-159.
- Motta, C.M., Simoniello, P., Di Lorenzo, M., Migliaccio, V., Panzuto, R., Califano, E. and Santovito, G., 2021.** Endocrine disrupting effects of copper and cadmium in the oocytes of the Antarctic Emerald rockcod *Trematomus bernacchii*. *Chemosphere*, 268: 129282.
- Nagahama, Y. and Yamashita, M., 2008.** Regulation of oocyte maturation in fish. *Development, Growth and Differentiation*, 50: S195-S219.
- Nowosad, J., Kucharczyk, D., Szmyt, M., Łuczynska, J., Tamás, M. and Horváth, L., 2021.** Changes in cadmium concentration in muscles, ovaries, and eggs of Silver European Eel (*Anguilla anguilla*) during maturation under controlled conditions. *Animals*, 11: 1027.
- Olivares-Rubio, H.F., Dzul-Caamal, R., Madera-Sandoval, R.L. and Vega-López, A., 2017.** Disruption of hypothalamus-pituitary-liver-gonads axis in the endangered *Girardinichthys viviparus* exposed to environmentally relevant concentrations of a mixture of metals and with 17 α -ethynyl estradiol. *Review in International Contamination Ambient*, 33: 289-302.
- Pinto, G.L., da Silva Castro, J. and Val, A.L., 2020.** Copper and cadmium impair sperm performance, fertilization and hatching of oocytes from Amazonian fish *Colossoma macropomum*. *Chemosphere*, 266: 128957.



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

- Ramon, D., Morick, D., Croot, P., Berzak, R., Scheinin, A., Tchernov, D. and Britzi, M., 2011.** A survey of arsenic, mercury, cadmium, and lead residues in seafood (fish, crustaceans, and cephalopods) from the south-eastern Mediterranean Sea. *Journal of Food Science*, 86:1153-1161.
- Shobikhuliatul, J.J., Andayani, S., Couteau, J., Risjani, Y. and Minier, C., 2013.** Some aspect of reproductive biology on the effect of pollution on the histopathology of gonads in *Puntius javanicus* from Mas River, Surabaya, Indonesia. *Journal of Biology and Life Science*, 4: 191-205.
- Singh, V.K. and Lal, B., 2015.** Immunolocalization of nitric oxide synthase (NOS) isoforms in ovarian follicles of the catfish, *Clarias batrachus* and its relation with ovarian activity. *General and Comparative Endocrinology*, 220:98- 102.
- Samanta, S., Kumar, V., Nag, S.K., Raman, R.K., Saha, K., Bandyopadhyay, S., Mohanty, B.P. and Das, B.K., 2020.** Metal contaminations in sediment and associated ecological risk assessment of river Mahanadi, India. *Environmental Monitoring Assessment*, 192: 1-17.
- Solgi, E. and Mirmohammadvali, S., 2021.** Comparison of the heavy metals, copper, iron, magnesium, nickel, and zinc between muscle and gills of four benthic fish species from Shif Island (Iran). *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology*, 106: 658-664.
- Schulz, R.W., de Franca, L.R., Lareyre, J.J., Le, F., Gac, ChiariniGarcia, H., Nobrega, R.H. and Miura, T., 2010.** Spermatogenesis in fish. *General and Comparative Endocrinology*, 165: 390-411.
- Sellin, M.K. and Kolok, A.S., 2006.** Cd exposures in fathead minnows: effects on adult spawning success and reproductive physiology. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 51: 594-599.
- Sfakianakis, D.G., Renieri, E., Kentouri, M. and Tsatsakis, A.M., 2015.** Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review of *Environmental Research*, 137: 246-255.
- Silva, E.S., Abril, S.I.M., Zanette, J. and Bianchini, A., 2014.** Salinity-dependent copper accumulation in the guppy *Poecilia vivipara* is associated with CTR1 and ATP7B transcriptional regulation. *Aquatic Toxicology*, 152: 300-307.
- Suresh, V.R., Sajina, A.M., Dasgupta, S., De, D., Chattopadhyay, D.N., Behera, B.K., Ranjan, R., Mohindra, V. and Bhattacharya, S., 2017.** Current status of knowledge on hilsa. ICAR- Central Inland Fisheries Research Institute, Barrackpore, 108 p.
- Sahoo, A.K., Wahab, M.A., Phillips, M., Rahman, A., Padiyar, A., Puvanendran, V., Bangera, R., Belton, B., De, D.K., Meena, D.K. and Behera, B.K., 2018.** Breeding and culture status of Hilsa (*Sarkar, U.K., Roy, K., Karnatak, G., Naskar, M., Puthiyottil, M., Baksi, S., Lianthuamluaia, L., Kumari, S., Ghosh, B.D. and Das, B.K., 2021.* Reproductive environment of the decreasing Indian river shad in Asian inland waters: disentangling the climate change and indiscriminate fishing threats. *Environmental Science and Pollution Research*, 28:30207-30218.
- Takahashi, A., Kanda, S., Abe, T. and Oka, Y., 2016.** Evolution of the hypothalamic-pituitary-gonadal axis regulation in vertebrates revealed by knockout medaka. *Endocrin*, 157: 3994-4002.
- Van Ngo, T., Tran, T.T., Nguyen, N.T., Quynh, C.N.T.L.N.V. Le, L.T.H. and Nguyen, T.T.P. 2021.** Effects of lead on structures of zebrafish intestine and oocytes. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 9: 127-129.
- Wang, F., Fang, M., Hinton, D.E., Chernick, M., Jia, S., Zhang, Y., Xie, L., Dong, W. and Dong, W., 2018.** Increased coiling frequency linked to apoptosis in the brain and altered thyroid signaling in zebrafish embryos (*Danio rerio*) exposed to the PBDE metabolite 6-OHBD-47. *Chemosphere*, 198: 342-350.



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

Zhang, Z., Zheng, Z., Cai, J., Liu, Q., Yang, J., Gong, Y., Wu, M. and Xu, S., 2017. Effect of cadmium on oxidative stress and immune function of common carp (*Cyprinus carpio* L.) by transcriptome analysis. *Aquatic Toxicology*, 192: 171-177.

Zebal, Y.D., Abou Anni, I.S., Junior, A.S.V., Orcini, C. C.D., da. Silva, J.C., Caldas, J.S. and Bianchini, A., 2019. Life-time exposure to waterborne copper IV: Sperm quality parameters are negatively affected in the killifish *Poecilia vivipara*. *Chemosphere*, 236: 124332.

Zulfahmi, I., Muliari, M., Akmal, Y. and Batubara, A.S., 2018. Reproductive performance and gonad histopathology of female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus 1758) exposed to palm oil mill effluent. *Egyptean Journal of Aquatic Research*, 44: 327-332.