تأثیر مس محلول در آب بر متابولیسم لوچ ماهی بهایی (*Turcinoemacheilus bahaii*)

مهرناز مقیمی[۱]، نصرالله محبوبی صوفیانی[۱*] و پدرام ملک پوری[۲]

[۱] اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی، گروه شیلات

[۲] تهران، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۱۳

ONLINE FIRST

چکیده

فلزات سنگین می‌توانند سبب بروز اختلالات پاتوفیزیولوژیکی مختلفی در آبزیان شوند. دراین مطالعه، تأثیر غلظت‌های مختلف مس برمیزان متابولیسم لوچ‌ماهی بهایی(*Turcinoemacheilus bahaii*) موردبررسی قرارگرفت. سپس غلظت کشنده (LC_{50}-96h) مس برای گونه موردنظر براساس پروتکل OECD, 203 تعیین شد. بر اساس میزان LC_{50}-96h به‌دست‌آمده (۱/۸۱۹ mg/l)، ۴۰ قطعه ماهی با میانگین وزنی ۱/۶±۰/۵۶ g در ۵ تیمار جداگانه در معرض مقادیر متفاوت مس ازجمله تیمار شاهد (فاقد مس)، تیمار مس (۰/۹۱۰ mg/l) به مدت ۲۴ ساعت، مس (۰/۴۵۵ mg/l) به‌مدت ۷ روز، مس (۰/۱۸۲ mg/l) به‌مدت ۱۴ روز، مس (۰/۰۹۱ mg/l) به‌مدت ۳۰ روز قرار گرفتند. سپس به‌منظور تعیین میزان متابولیسم، مصرف اکسیژن هریک از ماهیان بااستفاده از رسپیرومتر با جریان متناوب ثبت و میزان متابولیسم استاندارد (SMR)، متابولیسم بیشینه (MMR) و محدوده هوازی (AS) محاسبه گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که SMR ماهی تحت‌تأثیر مس بطور معنی‌داری ($P<0/05$) کاهش می‌یابد. کمترین SMR مربوط به تیمار ۳۰ روزه مس (۴۳/۹±۱۴/۸۶ $mgO_2/kg/h$) بود که به میزان ۷۰/۳۰ درصد نسبت به گروه کنترل (۱۴۸/۱±۱۲/۷۳ $mgO_2/kg/h$) کاهش داشت. اگرچه میزان متابولیسم بیشینه در تمامی تیمارهای مس اختلاف معنی‌داری را با گروه شاهد نشان نداد اما محدوده هوازی تنها در تیمار مس ۱۴ روزه نسبت به تیمار شاهد بطور معنی‌داری ($P<0/05$) افزایش یافت. باتوجه به نتایج بدست آمده بنظر می‌رسد که مس منجر به تغییرات متابولیکی در لوچ‌ماهی می‌شود که این امر به‌نوبه خود سبب تغییر در تأمین بودجه انرژی برای فعالیت‌های حیاتی جاندار مانند رشد، تغذیه و حتی تولیدمثل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مصرف اکسیژن، فلزات سنگین، رسپیرومتر، ظرفیت متابولیکی

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۳۱۳۳۹۱۲۵۰۶ ، پست الکترونیکی: soofiani@cc.iut.ac.ir

مقدمه

آلودگی آب‌های شیرین بوسیله‌ی طیف گسترده‌ای از آلاینده‌ها به یک موضوع نگران‌کننده در طول چند دهه گذشته تبدیل‌شده است. افزایش فعالیت‌های انسانی بویژه فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی منجر به ورود مقادیر قابل‌توجهی از آلاینده‌ها مانند فلزات سنگین به اکوسیستم‌های آبی گردیده است (۱۷). فلزات سنگین، آلاینده‌های زیست‌محیطی پایدار و ماندگار در محیط‌های آبی هستند که علاوه بر فعالیت‌های انسانی می‌توانند درنتیجه فرایندهای طبیعی نیز وارد اکوسیستم‌های آبی شده و باعث ایجاد آسیب‌های جدی و درازمدت در موجودات زنده شوند (۲و ۳).

باوجود اینکه مس ازجمله فلزات ضروری است که نقش کلیدی در بیوسنتز هموگلوبین و رنگدانه‌های تنفسی درآبزیان دارد اما در غلظت‌های بالا می‌تواند مسمومیت ایجاد نماید (۵). فعالیت‌هایی نظیر معدن‌کاری، چرم‌سازی، فلزکاری و آلیاژسازی، تولید کابل‌های برق سبب افزایش ورود و حضور این عنصر در آب‌های سطحی شده است (۲۳). علاوه براین، سوخت‌های فسیلی، فاضلاب‌های شهری، کودهای شیمیایی و کاربرد این عنصر به‌عنوان جلبک-کش و قارچ‌کش سبب ورود مقادیر قابل‌توجهی از

Archive of SID

www.SID.ir

این فلز به محیط‌های آبی شده است (۹). مس بصورت مزمن می‌تواند سبب تغییرات مختلف فیزیولوژیکی و رفتاری مانند از دست دادن اشتها، کاهش رشد، کاهش ظرفیت هوازی و افزایش مرگ‌ومیر در ماهی شود (۲۶). یکی دیگر از اثرات فیزیولوژیکی مس بر ماهی، تغییرات متابولیسمی است (۱۲). میزان متابولیسم یک موجود به مصرف انرژی روزانه‌ی آن اشاره داردکه بصورت غیرمستقیم براساس میزان اکسیژن مصرف‌شده توسط یک جانور در یک دوره‌ی زمانی معین، قابل ارزیابی است (۶). پیش‌ازاین نشان داده‌شده است که میزان اکسیژن مصرفی می‌تواند بعنوان شاخصی قابل‌اعتماد در بررسی تأثیر سمیت فلزات در آبزیان باشد (۱۷).

پیش‌ازاین، اثر فلزات مس و کادمیم براکسیژن مصرفی در ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) مورد مطالعه قرارگرفته است. نتایج به دست آمده ازاین مطالعه نشان داد که میزان مصرف اکسیژن باافزایش غلظت فلز کاهش می‌یابد (۱۶). پراشانت و همکاران (۲۴) در سال ۲۰۱۰ میلادی نشان دادند که مصرف اکسیژن در کپور هندی روهو (*Labeo rohita*) درنتیجه تماس با مقادیر کشنده مس محلول در آب کاهش می‌یابد. علاوه براین، سایر عناصر نیز در غلظت‌های بالا سبب تغییر میزان متابولیسم می‌شوند، برای مثال، سلنیم سبب کاهش مصرف اکسیژن در ماهی گامبوزیا (*Gambusia affinis*) در غلظت‌های کشنده و تحت‌کشنده می‌شود (۲۰). کادمیم نیز سبب کاهش میزان اکسیژن مصرفی و متابولیسم در سه گونه از ماهیان ازجمله آمور (*Ctenopharyngodon idella*)، بارب پرنده هندی (*Esomus danricus*) و فلاندر (*Paralichthys olivaceus*) می‌شود (۱۰، ۱۴ و ۱۸).

همانطور که پیش‌ازاین مطرح شد، احتمال ورود مقادیر قابل‌ملاحظه مس به منابع آبی به دلیل کاربرد وسیع ترکیبات حاوی مس به‌عنوان ضدعفونی‌کننده در آبزی‌پروری وجود دارد (۲۱). بنابراین، احتمالاً در معرض قرارگیری آبزیان، حتی گونه‌های غیرپرورشی به‌واسطه ورود این ترکیبات به محیط‌زیست آنها وجود دارد. از آنجاییکه فلزات سنگین مانند مس باایجاد اختلال در تعادل یونی و تغییر در عملکرد تنفسی ماهی همراه با بروز آسیب‌های آبششی سبب بروز استرس می‌گردند (۱۱)، بنابراین بررسی تأثیر مس برمیزان متابولیسم ماهی می‌تواند در درک عملکرد و فعالیت ماهی در شرایط استرس‌زای محیطی مفید باشد. ازآنجایی‌که لوچ ماهی بهایی (*Turcinoemacheilus bahaii*) بعنوان یکی از گونه‌های بومی رودخانه زاینده‌رود (۱و ۱۳) می‌تواند در معرض ورود پساب مزارع پرورشی حاوی مس قرارگیرید، بنظر می‌رسد بررسی تأثیر تیمارهای مختلف مس (به‌صورت محلول در آب) برمیزان شاخص‌های متابولیسمی به درک پاسخ‌های فیزیولوژیک این‌گونه بومی کمک نماید.

مواد و روشها

تهیه ماهی: تعداد۹۰ قطعه ماهی لوچ بهایی (*T. bahaii*) از منطقه‌ی خرسونک رودخانه زاینده‌رود –در فاصله‌ی ۲۰ کیلومتری چشمه دیمه– صید و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردیدند. سپس ماهیان صیدشده ضدعفونی و بمدت سه هفته با شرایط آزمایشگاه سازگار گردیدند. در طول این دوره، روزانه به میزان ۳ درصد وزن بدن با جیره غذایی معمول (شامل ۳۱/۳٪ پروتئین، ۱۱/۶٪ چربی و ۱۱/۷٪ خاکستر) تغذیه شدند. پیش از انجام آزمایشات، تعدادی از ماهیان بصورت تصادفی انتخاب و با تهیه لام مرطوب از آبشش، ازنظر عفونت‌های انگلی و یا قارچ‌های آبششی مورد بررسی قرارگرفتند.

تهیه استوک مس: برای تهیه‌ی محلول استوک مس، از نمک سولفات مس $CuSO_4.5H_2O$ (Panreac, Spain) استفاده شد.

تعیین غلظت کشنده (LC_{50}-96h) فلز مس: ۴۲ قطعه ماهی با میانگین وزنی ۰/۵۶±۱/۰۷ گرم جهت تعیین

Archive of SID

www.SID.ir

LC_{50}-96h مورد آزمایش قرارگرفتند. برای تعیین میزان LC_{50} فلز مس برای گونه موردنظر از پروتکل پیشنهادی OECD, 203 استفاده شد. براین اساس، تعداد ۷ قطعه ماهی در محفظه‌هایی با حجم ۱۰ لیتر آب قرارداده شدند و در معرض غلظت‌های ۰/۰، ۱/۲۵، ۲/۵، ۵/۰، ۱۰/۰ و ۲۰/۰ میلی‌گرم برلیتر مس قرارگرفتند. سپس میزان تلفات پس از گذشت ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت مشاهده و ثبت گردید. ماهیان مورد آزمایش دراین بخش، در طول دوره مورد تغذیه قرارنگرفتند. سپس با استفاده از آنالیز رگرسیون پروبیت، میزان LC_{50} در بازه‌های زمانی مختلف برای مس به‌دست آمد (۲۲).

تیماربندی: باتوجه به میزان LC_{50}-96h، ۴۰ قطعه ماهی با میانگین وزنی ۰/۵۶±۱/۶ گرم در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۵ تیمار جداگانه در معرض مقادیر متفاوت مس ازجمله تیمار شاهد (فاقد مس)، تیمار مس (۰/۹۱۰ mg/l) به‌مدت ۲۴ ساعت، ۰/۴۵۵ mg/l مس به‌مدت ۷ روز، ۰/۱۸۲ mg/l مس به‌مدت ۱۴ روز، ۰/۰۹۱ mg/l مس به‌مدت ۳۰ روز قرارگرفتند. تیمارهای انتخابی به ترتیب براساس ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ درصد از LC_{50}-96h انتخاب گردید. سپس ماهیان هر تیمار در زمان معین جهت اندازه‌گیری شاخص‌های متابولیسمی به رسپیرومتر معرفی شدند.

تعیین میزان متابولیسم: اندازه‌گیری میزان متابولیسم بااستفاده از رسپیرومتر با جریان متناوب (Intermittent-Flow-Respirometer) انجام شد. شاخصهای متابولیسمی مورد بررسی عبارت بودند از میزان متابولیسم استاندارد (SMR= Standard Metabolic Rate)، میزان متابولیسم بیشینه (MMR=Maximum Metabolic Rate) و محدوده هوازی (AS=Aerobic Scope). بمنظور اندازه-گیری SMR، ۲۴ ساعت قبل از انتقال به رسپیرومتر تغذیه ماهیان قطع شد و ماهیان حدود ۲۴ ساعت قبل از انجام آزمایش به درون محفظه رسپیرومتر منتقل‌شدند تا با شرایط رسپیرومتر سازگار و از استرس آنها کاسته شود. سپس میزان مصرف اکسیژن برای هرماهی به‌دفعات (حداقل ۲۰ بار) در بازه‌های زمانی حداقل ۶ دقیقه‌ای ثبت گردید.

برای اندازه‌گیری MMR، هرماهی به مدت ۵ الی ۱۰ دقیقه به‌وسیله تعقیب و گریز وادار به شنای فعال گردید و سپس به رسپیرومتر معرفی شد و میزان مصرف اکسیژن آن ثبت گردید. حدود هوازی (AS) نیز با استفاده از تفریق SMR از MMR محاسبه گردید.

میزان مصرف اکسیژن براساس روش کلارک و همکاران (۸) با استفاده از اندازه‌گیری مقدار حجم ویژه اکسیژن مصرفی (MO_2) تعیین شد (فرمول۱).

$$MO_2 = \frac{(V_r - V_f) \times \Delta O_2}{\Delta t \times M_f}$$ فرمول۱:

در این فرمول، MO_2 میزان اکسیژن مصرفی یا میزان متابولیسم ماهی، V_r حجم رسپیرومتر، V_f حجم ماهی (که حدوداً برابر با وزن ماهی است)، ΔO_2 تغییرات اکسیژن آب درون رسپیرومتر، Δt تغییرات زمانی (در طول اندازه-گیری تغییرات اکسیژنی) و M_f وزن ماهی است.

اندازه‌گیری غلظت مس در آب: جهت اندازه¬گیری مس، یک قطره اسید نیتریک به ۲۵۰ میلی¬لیتر نمونه آب برداشته شده از هر یک از تیمارهای آزمایشی اضافه گردید پس از فیلتر نمودن آب، غلظت مس در هرتیمار با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer، مدل AAnalyst700) مورد سنجش قرارگرفت. قرائت اعداد در مقابل بلانک و پس از ترسیم منحنی استاندارد صورت پذیرفت.

اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب: دراین آزمایش میزان اکسیژن محلول، دمای آب، سختی، کلسیم، منیزیم، ترکیبات آمونیاکی کل، میزان جامدات کل، محلول و معلق، pH، هدایت الکتریکی در هر تیمار، دما و رطوبت نسبی هوا نیز بصورت روزانه اندازه‌گیری و ثبت شد

Archive of SID

www.SID.ir

(جدول۱). تمامی پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب براساس روش APHA مورد سنجش قرارگرفت (۴).

جدول۱- پارامترهای کیفی آب‌وهوا

pH		۷/۸۳-۷/۹۷
هدایت الکتریکی ($\mu s\ cm^{-1}$)		۳۱۱-۳۵۰
اکسیژن محلول	mg/l	۶/۷-۷/۳
اکسیژن محلول	%	۹۸-۱۰۰
اکسیژن محلول	mbar	۱۶۶-۱۷۲
دمای آب (°C)		۲۰/۰-۲۴/۷
آمونیاک (mg/l)		۰/۰۰۱-۰/۰۱۲
نیتریت (mg/l)		۰/۰۶-۰/۰۹
نیترات (mg/l)		۵/۳۳-۷/۱۰
سختی کل (mg/l)		۱۷۶-۲۰۰
کلسیم (mg/l)		۱۰۴-۱۵۶
منیزیم (mg/l)		۳۶-۷۲
کل جامدات (mg/l)		۱۳۲-۲۹۰
کل جامدات محلول (mg/l)		۱۰۰-۲۴۶
کل جامدات معلق (mg/l)		۴-۴۴
رطوبت نسبی (%)		۴۳-۵۰
دمای هوا (°c)		۲۰/۵-۲۵/۴
فشار بارومتریک(mm-Hg)		۸۳۲-۸۴۱

محاسبات آماری: مطالعه حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار (با ۸ تکرار) اجرا گردید. ابتدا نرمال بودن داده‌ها بااستفاده از آزمون شاپیرو-ویلک و همگنی واریانس‌ها بااستفاده از آزمون لون مورد ارزیابی قرارگرفت. سپس جهت بررسی تفاوت‌های آماری در خصوص پارامترهای اندازه‌گیری شده، داده‌ها بااستفاده از آنالیز کوواریانس ANCOVA مورد تجزیه‌وتحلیل قرارگرفتند. به دلیل تأثیر احتمالی وزن بدن و طول کل در میزان متابولیسم، این پارامترها نیز به‌عنوان عوامل کوواریانس در نظر گرفته شد. سپس برای تعیین وجود اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از روش مقایسات چندگانه (آزمون تکمیلی بونفرونی) استفاده شد. معنی‌داری تفاوت‌ها در سطح ۵ درصد برای تمامی داده‌ها گزارش‌شده است. از آنالیز رگرسیون پروبیت نیز جهت محاسبه میزان LC_{50} در زمان-های مختلف استفاده شد. جهت انجام آنالیزهای آماری و ترسیم نمودار از نرم‌افزار SPSS۱۸ استفاده شد (۲۹).

نتایج

غلظت کشنده (LC_{50}-96h) مس: میزان LC_{50}-96h برای فلز مس برابر با ۱/۸۱۹ میلی‌گرم برلیتر به دست آمده است. میزان دقیق LC_{50} در زمان‌های مختلف به همراه حدود اطمینان آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول۲- میزان LC_{50} مس به همراه حدود اطمینان ۹۵ درصد برای لوچ ماهی بهایی (*T. bahaii*)

زمان (ساعت)	LC_{50}(mg/l)
۲۴	۱۲/۴۲۲ (۱۱/۷۷۴-۱۳/۷۴۸)
۴۸	۲/۸۱۶ (۲/۶۷۹-۳/۱۲۳)
۷۲	۲/۰۱۹ (۱/۹۳-۲/۴۸۵)
۹۶	۱/۸۱۹ (۱/۸۶۶-۲/۲۳۲)

غلظت مس در تیمارهای مختلف: نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز جذب اتمی حاکی از آن است که میانگین غلظت مس در تمامی تیمارها در محدوده‌ی غلظت‌های محاسبه‌شده قرار دارد (جدول۳).

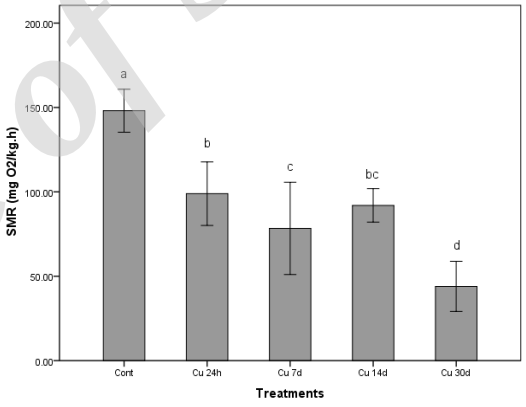
جدول۳- غلظت‌های مس محلول در آب در تیمارهای مختلف

تیمارها		غلظت محاسبه شده (mg/l) (براساس LC_{50}-96h)	غلظت اندازه‌گیری شده (mg/l)
شاهد		۰ (٪۰)	۰/۰۰۴>
مس	۲۴ ساعت	۰/۹۱۰ (٪۵۰)	۰/۹۰۵±۰/۰۰۴
	۷ روزه	۰/۴۵۵ (٪۲۵)	۰/۴۵۶±۰/۰۰۲
	۱۴ روزه	۰/۱۸۲ (٪۱۰)	۰/۱۸۰±۰/۰۰۳
	۳۰ روزه	۰/۰۹۱ (٪۵)	۰/۰۹۳±۰/۰۰۵

Archive of SID

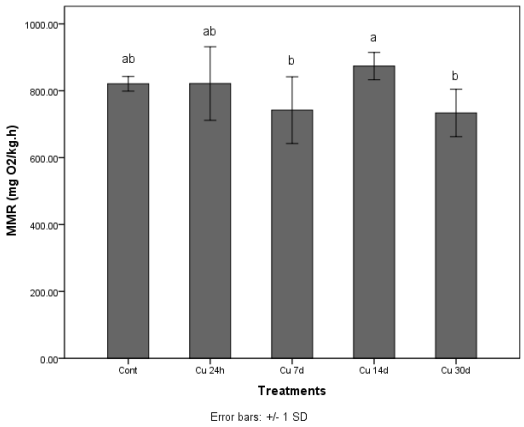
www.SID.ir

میزان متابولیسم استاندارد: نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که SMR لوچ ماهی در معرض فلز مس به‌طور معنی‌داری (P<۰/۰۵) کاهش می‌یابد. کمترین SMR مربوط به تیمار مس به‌مدت ۳۰ روز (۱۴/۸۶۴±۴۳/۹۶۹ $mgO_2/kg/h$) است که به میزان ۷۰/۳۰ درصد نسبت به گروه شاهد (۱۲/۷۳۶±۱۴۸/۰۸۷ $mgO_2/kg/h$) کاهش یافته است. این شاخص متابولیسمی تحت‌تأثیر تیمار مس بمدت ۳۰ روز با سایر تیمارهای مس نیز اختلاف معنی‌داری از خود نشان داد. سایر تیمارهای مس (۲۴ ساعت، ۷ و ۱۴ روز) نیز با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشت. SMR تیمار مس ۲۴ ساعته اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۴ روزه مس نداشت (P<۰/۰۵)، در صورتی‌که با تیمار ۷ روزه مس اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۵) را نشان داد (شکل ۱).



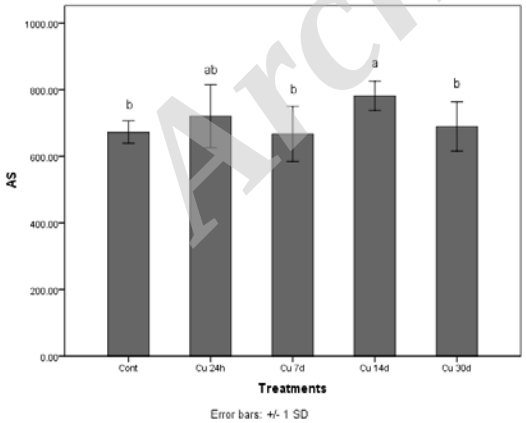
شکل۱- میزان متابولیسم استاندارد (SMR) در لوچ ماهی بهایی (*T. bahaii*) تحت تأثیر تیمارهای مختلف مس. هریک از ستون‌ها نشان‌دهنده mean±SD مربوط به ۸ اندازه‌گیری است. ستون با حروف الفبای انگلیسی غیرمشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۵) است.

میزان متابولیسم بیشینه: میزان متابولیسم بیشینه دراثر تیمارهای مختلف مس، اختلاف معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نداشت. بین تیمارهای مس، تیمار مس بمدت ۱۴روز میزان این پارامتر به‌صورت معنی‌داری (P<۰/۰۵) نسبت به دو تیمار مس ۷ روزه و ۳۰ روزه افزایش یافت، درحالی‌که تیمارهای مس ۲۴ ساعته، ۷ روزه و ۳۰ روزه اختلاف معنی‌داری را در مقایسه با یکدیگر نشان ندادند (شکل ۲).



شکل۲- میزان متابولیسم بیشینه (MMR) در لوچ ماهی بهایی (*T. bahaii*) تحت تأثیر تیمارهای مختلف مس. هریک از ستون‌ها نشان‌دهنده mean±SD مربوط به ۸ اندازه‌گیری است. ستون با حروف الفبای انگلیسی غیرمشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۵) است.

محدوده هوازی: نتایج به‌دست آمده حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار محدوده هوازی لوچ ماهی تحت‌تأثیر تیمارهای مختلف مس در مقایسه با گروه شاهد است. البته تیمار مس بمدت ۱۴ روز سبب افزایش معنی‌دار (P<۰/۰۵) این شاخص در مقایسه با شاهد گردید. بین تیمارهای مختلف این فلز تنها تیمار مس ۱۴ روزه با تیمارهای مس ۷ و ۳۰ روزه اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۵) از خود نشان داد (شکل ۳).



شکل۳- محدوده هوازی (AS) لوچ ماهی بهایی (*T. bahaii*) تحت تأثیر تیمارهای مختلف مس. هریک از ستون‌ها نشان‌دهنده mean±SD مربوط به ۸ ماهی است. ستون با حروف الفبای انگلیسی غیرمشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۵) است.

Archive of SID

www.SID.ir

بحث

بطور کلی اثرات سوء فلزات سنگین برمصرف اکسیژن و یا میزان متابولیسم ماهی و سایر آبزیان به‌طور گسترده موردمطالعه قرارگرفته است (۲۸). تغییر در میزان اکسیژن مصرفی در اثر قرارگرفتن ماهی در معرض مس در ماهی بارب *E. danricus* (۱۱) و ماهی کپور معمولی *C. carpio*(۱۲) و سایر آبزیان (۷) گزارش‌شده است.

دراین مطالعه میزان متابولیسم پایه در لوچ ماهی بهایی تحت‌تأثیر تیمارهای مختلف مس کاهش یافت. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که فلزات سنگین اغلب سبب کاهش میزان مصرف اکسیژن در ماهی می‌شوند. دراین خصوص، فلز کادمیم در کوتاه‌مدت سبب کاهش قابل ملاحظه‌ی مصرف اکسیژن در لای ماهی (*Tinca tinca*) شد که نشان-دهنده‌ی اثر سمی کادمیم بر تنفس ماهی است (۲۷). در ماهی بارب (*E. danricus*) نیز کاهش اکسیژن مصرفی در غلظت‌های بالای کادمیم نسبت به گروه شاهد مشاهده شد (۱۰). حسن در سال ۲۰۱۱ دریافت که میزان اکسیژن مصرفی ماهی کپور معمولی (*C. carpio*) دراثر تماس با مس و کادمیم کاهش می‌یابد و مس را فلز سمی‌تری نسبت به کادمیم دانست، چراکه سبب کاهش بیشتر اکسیژن مصرفی درگونه مذکور شده است. این محققین دلیل این‌امر را تجمع فلزات سنگین در آبشش و درنتیجه کاهش فعالیت‌های متابولیسمی عنوان نمودند (۱۶). در این خصوص، وود و گاس در سال ۱۹۹۸ پیشنهاد کردند که تأثیر فلزات سنگین برعملکرد آبشش باعث کاهش میزان مصرف اکسیژن به دلیل اختلال در تنظیمات یونی و تعادل اسید- باز می‌شود (۱۵). علاوه براین، قرارگرفتن در معرض مس در کوتاه مدت منجر به کاهش شدید مصرف اکسیژن در لارو کپور معمولی (*C. carpio*) و قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) می‌شود که ممکن است درنتیجه جذب مس توسط آبشش‌ها و حتی بروز عوارض پاتولوژیک در اپیتلیوم آبششی باشد (۱۷).

بنابراین، آسیب‌های بافتی در آبشش منجر به کاهش سطح تبادل تنفسی و کاهش مصرف اکسیژن در ماهی می‌شود.

در مطالعه‌ی حاضر میزان محدوده هوازی در اکثر تیمارهای مس تغییر نکرد. باتوجه به این‌که محدوده هوازی نشان‌دهنده‌ی میزان تفاوت متابولیسم استاندارد و بیشینه است (۲۵)، درنتیجه در تیمار مس کاهش SMR همراه با تغییر بسیار کم MMR باعث شد که میزان محدوده هوازی در اکثر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نسبت به گروه شاهد نداشته باشد. گزارشاتی مبنی برافزایش SMR و MMR در ماهیان در معرض مقادیر مزمن سرب وجود دارد. بعلاوه، این محققین به این نتیجه رسیدند که با قرارگرفتن ماهی در معرض مقادیر مزمن سرب، میزان AS آن نیز افزایش می-یابد. این احتمال وجود دارد که علت افزایش MMR و AS به دلیل افزایش سنتز هموگلوبین باشد (۱۹). البته نتایج متناقض در خصوص تأثیر فلزات سنگین بر میزان متابولیسم ماهی چندان دور از انتظار نیست زیرا ظرفیت متابولیکی ماهی بطور اساسی متأثر از تفاوت‌های درون گونه‌ای و حتی برون گونه‌ای قرار می‌گیرد. بنابراین لزوم انجام مطالعه همزمان در خصوص تأثیر هریک از آلاینده‌ها بر پاسخ‌های رفتاری، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و آسیب-شناسی در کنار بررسی تغییرات ایجادشده در ظرفیت متابولیکی ماهی در درک بهتر نحوه عملکرد این دسته از عوامل استرس‌زا مثمرثمر خواهد بود.

نتیجه‌گیری

بطورکلی، فلزات سنگین می‌توانند بااختلال در فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی ماهی سبب کاهش مصرف اکسیژن شوند. در پژوهش حاضر میزان متابولیسم استاندارد لوچ ماهی بهایی متعاقب مجاورت با مقادیر مزمن و تحت کشنده مس کاهش یافت. کاهش میزان متابولیسم می‌تواند بعلت تجمع فلزات در آبشش ماهی و آسیب به این بافت باشد که مانعی در جهت تبادل اکسیژن ایجاد می‌کند که خود ضرورت انجام مطالعاتی در این زمینه را نشان

Archive of SID

www.SID.ir

می‌دهد. باتوجه به نتایج بدست آمده از این مطالعه مس می‌تواند منجر به تغییرات متابولیکی در ماهی لوچ شود که به نوبه خود سبب تغییر در تأمین بودجه انرژی برای فعالیت‌های حیاتی جاندار مانند رشد، تغذیه و حتی تولید مثل می‌شود. در نتیجه، ورود هرچه بیشتر آلاینده‌ها به اکوسیستم‌های آبی می‌تواند حیات زیستمندان این اکوسیستم‌ها را در معرض خطر قرار دهد. مطالعات بیشتر در زمینه تعیین متابولیسم انرژی (کربوهیدرات، پروتئین و چربی‌ها) می‌تواند به درک بهتر تغییرات مشاهده شده در این مطالعه کمک نماید.

منابع

۱- ابراهیمی درچه، ع.، برهانی، م.، محبوبی صوفیانی، ن. و اسداله، س. ۱۳۹۵. بررسی رژیم غذایی و بافت‌شناسی لوله گوارش لوچ ماهی *Turcinoemacheilus bahaii* در رودخانه زاینده‌رود، مجله پژوهشهای جانوری، ۲۹، صفحات ۵۰۹-۵۱۸.

۲- حسینی، م.، نبوی، س. م.، گلشنی، ر.، نبوی، س. ن.، و رئیسی سراسیاب، ع.، ۱۳۹۴. غلظت فلزات سنگین نیکل، مس، سرب، کبالت و کادمیوم دررسوب و بافت‌های کبد و ماهیچه کفشک ماهی *Psettodes erumei* در استان بوشهر، خلیج‌فارس، مجله پژوهشهای جانوری، ۲۸، صفحات ۴۴۱-۴۴۹.

3- Akbulut, A., and Akbulut, N. E., 2010. The study of heavy metal pollution and accumulation in water, sediment, and fish tissue in Kızılırmak River Basin in Turkey. Environ. Monit. Assess. 167(1-4), PP: 521-526.

4- APHA. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th Edi., New York, APHA, AWWA, WPCR. American Public Health Association. 1325 p.

5- Balavenkatasubbaiah, M., Rani, A. U., Geethanjali, K., Purushotham, K., and Ramamurthi, R., 1984. Effect of cupric chloride on oxidative metabolism in the freshwater teleost, *Tilapia mossambica*. Ecotoxicol. Environ. Safety. 8(3), PP: 289-293.

6- Barbieri, E., 2009. Effects of zinc and cadmium on oxygen consumption and ammonium excretion in pink shrimp (*Farfantepenaeus paulensis*, Pérez-Farfante, 1967, Crustacea). Ecotoxicology. 18(3), PP: 312-318.

7- Campbell, H., Handy, R., and Sims, D., 2002. Increased metabolic cost of swimming and consequent alterations to circadian activity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to dietary copper. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 59, PP: 768-777.

8- Clark, T. D., Sandblom, E., and Jutfelt, F., 2013. Aerobic scope measurements of fishes in an era of climate change: respirometry, relevance and recommendations. J. Exp. Biol. 216(15), PP: 2771-2782.

9- Cruz, L. A., Roberts, C., Reiley, M., Santore, R., Paquin, P., Chapman, G., Mitchell, J., Delos, C., Meyer, J., Mathew, R., and Linton, T. K., 2007. aquatic life ambient freshwater quality criteria-copper. US Environmental Protection Agency. Washington, DC. 204 p.

10- Das, S., and Gupta, A., 2012. Effects of cadmium chloride on oxygen consumption and gill morphology of Indian flying barb, *Esomus danricus*. J. Environ. Biol. 33(6), PP: 1057-1061.

11- Das, S., and Gupta, A., 2013. Accumulation of copper in different tissues and changes in oxygen consumption rate in Indian flying barb, *Esomus danricus* (Hamilton-Buchanan) exposed to sub-lethal concentrations of copper. Jordan J. Biol. Sci. 6(1), PP: 21-24.

12- De Boeck, G., De Smet, H., Blust, R., 1995. The effect of sublethal levels of copper on oxygen consumption and ammonia excretion in the common carp, *Cyprinus carpio*. Aquat. Toxicol. 32(2), PP: 127-141.

13- Esmaeili, H. R., Sayyadzadeh, G., Özuluğ, M., Geiger, M., and Freyhof, J., 2014. Three new species of *Turcinoemacheilus* from Iran and Turkey (Teleostei: Nemacheilidae). Ichthyol. Explor. Freshwater. 24(3), PP: 257-273.

14- Espina, S., Salibian, A., and Díaz, F., 2000. Influence of cadmium on the respiratory function of the grass carp *Ctenopharyngodon idella*. Water Air Soil Pollut. 119(1-4), PP: 1-10.

15- Goss, G., and Wood, C., 1988. The effects of acid and acid/aluminum exposure on circulating plasma cortisol levels and other blood

Archive of SID

www.SID.ir

parameters in the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. J. Fish Biol. 32(1), PP: 63-76.

16- Hassan, B., 2011. The effect of copper and cadmium on oxygen consumption of the juvenile common carp, *Cyprinus carpio* (L.). Mesopot. J. Mar. Sci. 26(1), PP: 25-34.

17- Jezierska, B., and Sarnowski, P., 2002. The effect of mercury, copper and cadmium during single and combined exposure on oxygen consumption of *Oncorhynchus mykiss* Wal. and *Cyprinus carpio* L. larvae. Arch. Pol. Fish. 10(1), PP: 15-22.

18- Kang, J. C., kim, S. G., and Jee, J. H., 2003. Long-Term sublethal cadmium exposure effected survival, growth and metabolic rate change in the olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Korean J. Fish. Aquat. Sci. 36(1), PP: 39-43.

19- Mager, E. M., and Grosell, M., 2011. Effects of acute and chronic waterborne lead exposure on the swimming performance and aerobic scope of fathead minnows *Pimephales promelas*. Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol. 154(1), PP: 7-13.

20- Naik, R. R., and Patil, H. S., 2010. Effect of selenium and its compounds on oxygen uptake in freshwater fish *Gambusia affinis* after exposure to lethal doses. Jordan J. Biol. Sci. 3(4), PP: 141-146.

21- Noga, E. J., 2010. Fish disease: diagnosis and treatment. 2ND Edi., John Wiley & Sons. 519 p.

22- OECD,1992. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. Test No. 203: Fish, Acute Toxicity, Organization for Economic, 9 http://dx.doi.org/10.1787/20745761.

23- Patterson, J. W., Minear, R. A., Gasca, E., and Petropoulou, C., 1998. Industrial discharges of metals to water. Metals in Surface Waters, PP: 37-65.

24- Prashanth, M., Sayeswara, H., and Patil, H. R., 2010. Impact of copper cyanide on behavioral changes and oxygen consumption in Indian major carp *Catla catla* (Hamilton). J. Environ. Agric. Food Chem. 9(9), PP: 1433-1442.

25- Soofiani, N. M., and Priede, I. G., 1985. Aerobic metabolic scope and swimming performance in juvenile cod, *Gadus morhua* L. J. Fish Biol. 26(2), PP: 127-138.

26- Tellis, M. S., Alsop, D., and Wood, C. M., 2012. Effects of copper on the acute cortisol response and associated physiology in rainbow trout. Comp. Biochem. Physiol. C, Toxicol. Pharmacol. 155(2), PP: 281-289.

27- Witeska, M., Jezierska, B., and Wolnicki, J., 2006. Respiratory and hematological response of tench, *Tinca tinca*) L.) to a short-term cadmium exposure. Aquacult. Int. 14(1-2), PP: 141-152.

28- Wu, J. P., and Chen, H. C., 2004. Effects of cadmium and zinc on oxygen consumption, ammonium excretion, and osmoregulation of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Chemosphere. 57(11), PP: 1591–1598.

29- Zar, J.H. 1999. Biostatistical Analysis, 4th edition, Prentice.

Archive of SID

www.SID.ir

Effect of water-borne copper on Baha'i loach (*Turcinoemacheilus bahaii*) metabolism

Moghimi M.[1], Mahboobi-Soofiani N.[1] and Malekpouri P.[2]

[1] Natural Resources of Dept., Isfahan University of Technology, Isfahan, I.R. of Iran

[2] Young Researchers and Elites Club, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I.R. of Iran

Abstract

Heavy metals can produce various pathophysiological effects in aquatic animals. In this study, the effect of different water-borne copper concentrations on bahaii loach (*Turcinoemacheilus bahaii*) metabolism was investigated. Lethal concentration (LC_{50}-96h) of copper was determined for this species according to OECD, 203 protocols. Based on LC_{50}-96h (1.189 mg/l), 40 fish (1.6±0.56 g) were divided into five different groups, including control and different concentrations of copper (24h, 0.910 mg/l), (7d, 0.455 mg/l), (14d, 0.182 mg/L) and (30d, 0.091 mg/l). Then, by using intermittent- flow respirometer, the oxygen consumption of each individual fish was recorded to calculate standard metabolic rate (SMR), maximum metabolic rate (MMR) and aerobic scope (AS). Results showed significant ($P<0.05$) reduction in SMR of fish, exposed to copper. The minimum SMR was obtained following 30days exposure to copper (43.90 ± 14.86 $mgO_2/kg/h$), which was reduced by about 70%, as compared to control group (148.10 ± 12.73 $mgO_2/kg/h$). Although MMR were remained unchanged following all copper treatments, AS in copper-treated fish (14d) showed a significant increase ($P<0.05$) in comparison with control group. According to the results, it seems that copper could disrupt fish metabolism and subsequently, changes the energy budget of fish, required for biological activities such as growth, feeding and reproduction.

Key words: Oxygen consumption, Heavy metals, Respirometer, Metabolic capacity

Archive of SID

www.SID.ir