تأثیر سازگاری‌های دمایی مختلف بر میزان متابولیسم ماهی نازک (*Chondrostoma regium*)

مهتاب محمدی[۱]، نصرالله محبوبی صوفیانی[۱*]، امیدوار فرهادیان[۱] و پدرام ملک پوری[۲]

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

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

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۱۹

چکیده

میزان متابولیسم کل بدن بعنوان شاخص فرایندهای فیزیولوژیکی تحت تأثیر عوامل زیستی و غیرزیستی قراردارد. در مطالعه حاضر، پس از تعیین آستانه تحمل دمایی (۱/۹–۳۱/۷°C)، تأثیر تیمارهای مختلف دمایی بر ظرفیت متابولیکی ماهی نازک (*Chondrostoma regium*) مورد بررسی قرارگرفت. به این منظور، ۵۶ قطعه ماهی نازک (۲۰/۷۷ ± ۱/۳۵ g) در معرض تیمار کاهش آنی دما (۳/۵–۴/۵°C)، تیمار کاهش دما (۵/۵–۶/۵°C) بمدت ۲۴ ساعت، تیمار کاهش دما (۵/۵–۶/۵ °C) بمدت یک-هفته، تیمار افزایش آنی دما (۳۰–۳۱°C)، تیمار افزایش دما (۲۹–۳۰°C) بمدت ۲۴ ساعت، تیمار افزایش دما (۲۸–۲۹°C) بمدت یک هفته و تیمار شاهد (۲۲–۲۳ °C) قرارگرفتند. میزان متابولیسم ازجمله میزان متابولیسم استاندارد، بیشینه و محدوده هوازی برای هرماهی بصورت جداگانه با استفاده از رسپیرومتر با جریان متناوب اندازه‌گیری شد. نتایج بدست آمده نشان داد که میزان متابولیسم استاندارد و بیشینه در تمامی تیمارهای افزایش دمایی نسبت به گروه شاهد افزایش (P<۰/۰۵) یافته است، درحالی‌که محدوده هوازی این تیمارها تغییر معنی‌داری را نسبت به گروه شاهد نشان نداد. از سوی دیگر، کاهش دما سبب کاهش معنی‌دار (P<۰/۰۵) تمامی پارامترهای متابولیکی (متابولیسم استاندارد، بیشینه و محدوده هوازی) نسبت به گروه شاهد شد. براساس نتایج بدست آمده می‌توان بیان نمود که افزایش دمای محیط بعنوان عامل استرس‌زای القایی و کاهش دمای محیط بعنوان عامل استرس-زای محدودکننده برای ماهی نازک عمل می‌کند.

واژه‌های کلیدی: نوسانات دمایی، مصرف اکسیژن، محدوده هوازی، *Chondrostoma regium*

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

مقدمه

دما بعنوان یکی از پارامترهای فیزیکی آب نقش مهمی در حیات آبزیان دارد (۵ و۱۰). دمای آب‌های جاری معمولاً برحسب فصل و در طول شبانه‌روز و همچنین بین مناطق مختلف بعلت نوع اقلیم، ارتفاع، وسعت پوشش گیاهی حاشیه رودخانه و میزان ورودی آب‌های زیرزمینی تغییر می‌کند (۵۷). در کنار عوامل طبیعی مذکور، آلودگی‌های حرارتی نیز در برهم زدن رژیم حرارتی اکوسیستم‌های آبی نقش قابل ملاحظه‌ای دارند (۴۵). آلودگی حرارتی به هرگونه تخلیه آب (و در برخی موارد هوای) گرم حاصل از فعالیت‌های مختلف ازجمله نیروگاه‌های تولید برق، نیروگاه‌های هسته‌ای و غیره به رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و یا سواحل که منجر به تغییرات نامناسب دمای آب گردد، اتلاق می‌شود (۴۳). به‌هرحال، آمار دقیقی از میزان آلودگی حرارتی در آب‌های داخلی ایران وجود ندارد اما باتوجه به تعداد نیروگاه‌های در حال فعالیت در کشور و میزان فعالیت آن‌ها، وجود چنین آلودگی‌هایی دور از ذهن نیست.

تغییرات طولانی‌مدت (حتی کوتاه‌مدت) در دمای محیط موجب می‌گردد تا جانداران خون‌سرد پاسخ‌های متفاوتی جهت مقابله با تغییرات دمایی از خود نشان دهند. اغلب ماهیان بعنوان موجوداتی خون‌سرد نمی‌توانند دمای بدن خود را متفاوت از دمای محیط اطراف حفظ نمایند و بنابراین تغییر در دمای آب می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر آن‌ها داشته باشد و حتی در پراکنش و فراوانی آنها نیز تأثیرگذار باشد(۶، ۵۰ و ۵۱). علاوه براین، دمای آب در تعیین محدوده بالا و پایین متابولیکی آبزیان نقش مهمی را ایفا می‌کند (۳۸). درنتیجه هرگونه تغییر در دمای آب بر رفتار، مهاجرت، فرایندهای متابولیکی، تولیدمثل، رشد و سرانجام بقای آبزیان تأثیرگذار است (۳۱).

دمای آب اثرات قابل‌توجهی بر فرایندهایی مانند میزان متابولیسم دارد اما میزان این تأثیر بین گونه‌های مختلف متفاوت است. علاوه براین، تأثیر تغییرات دمایی بر متابولیسم ماهی باتوجه به ایجاد سازگاری و یا بروز ناگهانی آن بسیار متفاوت خواهد بود (۳۶). مطالعات آزمایشگاهی صورت گرفته نشان می‌دهد که افزایش دما موجب افزایش میزان متابولیسم معمول (Routine Metabolism) در ماهی گرومی بالارونده *Anabas testudineus* (۵۱)، ماهی گورخری *Danio rerio* (۴۱ و۵۶)، گونه‌های *Labeo rohita*، *Catla catla*، *Cirrhinu mrigala* و *Danio Dangila* از خانواده کپورماهیان (۲۲ و۴۱)، گربه‌ماهی خورشیدی *Horabagrus brachysoma* (۲۱)، ماهیان انگشت قد گربه‌ماهی دم زرد *Pangasius pangasius* (۲۴) و همچنین افزایش میزان متابولیسم استاندارد (standard metabolic rate) ماهیان انگشت قد گونه *L. rohita* و *Cyprinus carpio* از خانواده کپورماهیان (۱۵) می‌گردد. تأثیر کاهش دما بر میزان متابولیسم معمول در ماهی زبرا (*D. reiro*) و ماهی گامبوزیا (*Gambusia affinis*) نیز مورد بررسی قرارگرفته است (۵۶).

گونه *Chondrostoma regium* بانام محلی نازک به خانواده کپور ماهیان (Cyprinidae) تعلق دارد. این‌گونه پراکنش نسبتاً وسیعی در ایران دارد و جمعیت‌هایی از آن در حوزه رودخانه دجله، کور(۲۰)، مارون (۱) و کوه‌رنگ (۳۲) دیده‌شده است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، تاکنون مطالعه قابل‌ملاحظه‌ای در زمینه تأثیر پارامترهای محیطی نظیر نوسانات دمایی بر میزان متابولیسم ماهی نازک انجام‌نشده است. از آنجاییکه ماهی نازک ازجمله ماهیان بومی باارزش اکولوژیکی قابل‌ملاحظه است، مطالعات اکوفیزیولوژیک مبتنی بر نوسانات عوامل محیطی در این‌گونه ضروری بنظر می‌رسد. باتوجه به وجود الگوی تغییرات روزانه و یا فصلی دما در منابع آبی بخصوص در منابع آب‌های داخلی، هر دو سناریوی سازگاری با تغییرات دمایی و یا بروز تغییرات حاد دمایی در خصوص ماهی نازک محتمل بنظر می‌رسد. نظر به این‌که ظرفیت متابولیکی بعنوان یکی از شاخص‌های مهم در تعیین سلامتی و رشد بهینه ماهی محسوب می‌شود، بررسی این دسته از پارامترها در محیط آزمایشگاه می‌تواند در پیش‌بینی و توجیه پاسخ-های مرتبط با مکانیسم‌های فیزیولوژیکی این‌گونه در زیستگاه‌های طبیعی در مواقع مواجهه با نوسانات دمایی مورداستفاده قرارگیرد. بنابراین هدف از مطالعه حاضر، تعیین ظرفیت متابولیکی ماهی نازک در مواجهه با شرایط دمایی مختلف چه بصورت استرس حاد و چه بصورت سازگاری بوده است.

مواد و روشها

تهیه و نگهداری ماهی: ماهی نازک (*C. regium*) از چشمه دیمه (ازجمله سرشاخه‌های زاینده‌رود واقع در عرض جغرافیایی ″۴۷ ′۳۰ °۳۲ و طول جغرافیایی ″۴۵ ′۱۲ °۵۰) در سال ۱۳۹۳با استفاده از تور پره صید گردید. ماهیان پس از انتقال به آزمایشگاه ضدعفونی و بمدت حداقل یک ماه در مخزن ۲۵۰ لیتری (تقریباً ۷۵ قطعه ماهی در هر مخزن) در محدوده دمایی ۲۳-۲۱ °C و مجهز به

سیستم‌های هواده نگهداری شدند. در طول این مدت، تعویض آب به دفعات صورت پذیرفت و اکسیژن آب مخزن در محدوده $mg\ l^{-1}$ ۶/۵-۶ حفظ شد و ماهیان بصورت منظم با غذای استاندارد تغذیه شدند.

تعیین آستانه تحمل دمایی: بمنظور تعیین آستانه تحمل دما، از روش پیشنهادی بیتینگر و همکاران (۲۰۰۹) (۷) استفاده شد. به این صورت که پس از گذشت حدود ۴ هفته و سازگار شدن ماهیان با شرایط و محیط آزمایشگاه، جهت تعیین آستانه بالایی تحمل دمایی، ۸ قطعه ماهی (با میانگین وزنی g ۰/۴۷ ± ۷/۷۵) بصورت جداگانه در معرض افزایش دما با میزان ۰/۱ درجه سانتی‌گراد به ازای هر دقیقه قرارگرفتند. در ادامه جهت تعیین آستانه پایین تحمل دمایی، ۸ قطعه ماهی دیگر (با میانگین وزنی g ۰/۶۵ ± ۸/۷۲) بطور جداگانه در معرض کاهش دما با میزان ۰/۱ درجه سانتی‌گراد به ازای هر دقیقه قرارگرفتند. این افزایش و یا کاهش دما تا زمان از دست رفتن تعادل ماهی (عدم توانایی ماهی در شنای متعادل و پاسخ به محرک محیطی) ادامه یافت و دمای مربوطه بعنوان دمای کشنده (آستانه تحمل دمایی) در نظر گرفته شد.

تیمار بندی و تعیین میزان متابولیسم: براساس آستانه تحمل دمایی بدست آمده، ۷ تیمار ازجمله تیمار کاهش آنی دما، تیمار افزایش آنی دما، تیمار ۲۴ ساعته کاهش دما، تیمار ۲۴ ساعته افزایش دما، تیمار یک هفته کاهش دما، تیمار یک هفته افزایش دما و یک گروه شاهد در نظر گرفته شد (جدول ۱). بیشینه دوره آزمایشی انتخاب‌شده (یک هفته) براساس وقوع پاسخ‌های استرسی مشخص متعاقب ۷ روز استرس دمایی است و در دوره‌های طولانی-تر، شاخص‌های زیستی در سطح ثابتی باقی خواهند ماند (۴۰). علاوه براین، میزان بقای گونه مورد نظر پیش از تعیین میزان متابولیسم در هریک از تیمارها مورد بررسی قرارگرفت.

جدول ۱- حدود دمایی در نظر گرفته شده برای هریک از تیمارهای افزایش و یا کاهش دما بهمراه تعداد ماهیان مورد استفاده در هر تیمار را نشان می‌دهد.

گروه	تیمار	محدوده	تکرار
افزایش دما	آنی	۳۰-۳۱ °C	۸ عدد ماهی
	۲۴ ساعته	۲۹-۳۰°C	۸ عدد ماهی
	یک هفته	۲۸-۲۹ °C	۸ عدد ماهی
کاهش دما	آنی	۳/۵-۴/۵ °C	۸ عدد ماهی
	۲۴ ساعته	۵/۵-۶/۵ °C	۸ عدد ماهی
	یک هفته	۵/۵-۶/۵ °C	۸ عدد ماهی
شاهد	-	۲۲-۲۳ °C	۸ عدد ماهی

بمنظور ایجاد تیمارهای آنی، ۱۶ قطعه ماهی نازک (g ۱/۱۳± ۲۳/۰۳) بصورت تصادفی انتخاب و بصورت انفرادی به محفظه رسپیرومتر (حاوی آب با دمای °C ۲۳-۲۲ و اکسیژن محلول $mg\ l^{-1}$ ۶/۵-۶) منتقل گردیدند. سپس هریک از ماهیان بمدت ۲۴ ساعت بدون وارد آمدن استرس خارجی در رسپیرومتر باقی ماندند. سپس بمنظور ایجاد تیمار افزایش آنی دما، دمای آب به میزان $°C\ min^{-1}$ ۰/۱ با استفاده از هیتر (بخاری برقی۳۰۰ واتی) افزایش یافت و به محدوده °C ۳۱-۳۰ رسانده شد. بلافاصله میزان متابولیسم معمول مورد اندازه‌گیری قرارگرفت. بصورت مشابه، بمنظور ایجاد تیمار کاهش آنی دما، دمای آب بمیزان $°C\ min^{-1}$ ۰/۱ کاهش یافت و به محدوده °C ۴/۵-۳/۵ رسانده شد و میزان متابولیسم معمول مورد اندازه‌گیری قرارگرفت.

بمنظور ایجاد تیمارهای ۲۴ ساعته، ۱۶ قطعه ماهی نازک (g ۱/۶۵±۱۹/۸۴) بصورت تصادفی انتخاب و بصورت انفرادی به محفظه رسپیرومتر (حاوی آب با دمای °C ۲۳-۲۲ و اکسیژن محلول $mg\ l^{-1}$ ۶/۵-۶) منتقل گردیدند. پس از انتقال، دمای آب بمیزان $°C\ min^{-1}$ ۰/۱ افزایش یافت و به محدوده °C ۳۰-۲۹ و یا بمیزان $°C\ min^{-1}$ ۰/۱ کاهش یافت و به محدودهٔ °C ۶/۵-۵/۵ رسانده شد. ماهیان بمدت ۲۴ ساعت در این شرایط بدون وارد آمدن استرس خارجی

باقی ماندند. سپس میزان متابولیسم معمول برای هریک از ماهیان بصورت جداگانه مورد اندازه‌گیری قرارگرفت.

بصورت مشابه، برای ایجاد تیمارهای یک هفته، ۱۶ قطعه ماهی نازک (۱۹/۴۴±۱/۲۸ g) بصورت تصادفی انتخاب‌شده و بصورت انفرادی به آکواریوم (حاوی آب با دمای ۲۳-۲۲ °C و اکسیژن محلول ۶/۵-۶ $mg\ l^{-1}$) منتقل گردیدند. سپس دمای آب بمیزان ۰/۱ $°C\ min^{-1}$ افزایش یافت و به محدوده ۲۹-۲۸ °C و یا با میزان ۰/۱ $°C\ min^{-1}$ کاهش یافت و به محدودهٔ ۶/۵-۵/۵ °C رسانده شد. ماهیان بمدت ۵ روز در این شرایط نگهداری شدند. در روز ششم هریک از ماهیان به رسپیرومتر با شرایط مشابه آکواریوم منتقل گردیدند و برای مدت ۲۴ ساعت نیز در آنجا بدون وارد آمدن استرس باقی ماندند. سپس در روز هفتم، میزان متابولیسم معمول برای هریک از ماهیان مورد اندازه‌گیری قرارگرفت.

بررسی میزان اکسیژن مصرفی: میزان متابولیسم هریک از ماهیان با استفاده از رسپیرومتر با جریان متناوب (Through Intermittent Flow) اندازه‌گیری گردید (۴۲). محفظه رسپیرومتر به حجم ۳/۱ L درون محفظه مستطیلی شکل (L ۴۶) حاوی آب کلرزدایی شده و مجهز به سیستم کنترل دما (OGAWA SEIKI CO., OSK 17013) و هوادهی قرارگرفت. کل سیستم با استفاده از پوشش پلاستیکی تیره پوشیده شد تا از برخورد مستقیم نور و رفت‌وآمدهای درون آزمایشگاه محفوظ بماند. بمنظور ثبت تغییرات اکسیژن محلول، آب داخل رسپیرومتر با استفاده از یک پمپ با جریان ثابت (۱/۵ $l\ min^{-1}$) به پروب اکسیژن متر (WTW, 3205, Germany) متصل گردید.

پیش از اندازه‌گیری میزان متابولیسم، میزان تنفس زمینه‌ایی بررسی گردید. سپس مناسب‌ترین زمان برای اندازه‌گیری میزان متابولیسم معمول مورد بررسی قرارگرفت (۴۲). به این منظور از ۴ قطعه ماهی نازک با میانگین وزنی ۱۲/۷۷±۲/۲۰ g استفاده شد و حداقل مدت زمان لازم برای اندازه‌گیری میزان متابولیسم معمول و یا سازگاری با شرایط رسپیرومتر برای ماهی نازک، ۵ ساعت بدست آمد.

پس از مشخص شدن مناسب‌ترین زمان بررسی میزان متابولیسم معمول، اندازه‌گیری میزان متابولیسم استاندارد صورت گرفت. به این صورت که ۲۴ ساعت قبل از معرفی ماهیان به رسپیرومتر، غذادهی قطع گردید تا از افزایش احتمالی میزان متابولیسم پس از تغذیه اجتناب شود (۵۴). بمنظور تعیین میزان متابولیسم استاندارد، ۱۵-۱۰اندازه‌گیری از هریک از ماهیان انجام شد و ۱۰ درصد کمترین مقدار بعنوان میزان ظاهری متابولیسم استاندارد در نظرگرفته شد (۱۸).

در ادامه، مناسب‌ترین زمان برای اندازه‌گیری میزان متابولیسم بیشینه (Maximum Metabolic Rate) برای ۴ قطعه ماهی با میانگین وزن ۲۰/۲۴±۳/۵۳ g مورد بررسی قرارگرفت (۴۲). براین اساس، دوره زمانی ۶۰ دقیقه ابتدایی پس از ایجاد حالت خستگی مناسب‌ترین دوره جهت اندازه‌گیری میزان متابولیسم بیشینه بدست آمد.

برای تعیین میزان متابولیسم بیشینه، پس‌از ثبت میزان متابولیسم استاندارد، ماهی از رسپیرومتر خارج و تا ایجاد حالت خستگی وادار به شنا در خلاف جهت جریان گردید (حدود ۱۰-۵ دقیقه). سپس بلافاصله به درون محفظه رسپیرومتر منتقل و هرگونه کاهش سطح اکسیژن بعنوان میزان متابولیسم بیشینه ثبت گردید.

میزان متابولیسم برای هرماهی با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (۱۹):

$$MO_2 = \frac{(V_r - V_f) \times \Delta CwO_2}{(\Delta t \times M_f)}$$

که در آن V_r حجم رسپیرومتر (l)، V_f حجم بدن ماهی (l)، ΔCwO_2 تغییرات سطح اکسیژن رسپیرومتر ($mg\ l^{-1}$)، Δt بازه‌های زمانی مشخص (h) و M_f نیز وزن بدن ماهی (kg) است. محدوده هوازی نیز با توجه به تفاوت بین میزان

متابولیسم بیشینه و میزان متابولیسم استاندارد برای هرماهی محاسبه گردید.

پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب ازجمله اکسیژن محلول، دما، pH، هدایت الکتریکی، کل جامدات و سختی کل بصورت روزانه در تمامی تیمارها اندازه‌گیری شد (۲). فشار بارومتریک، رطوبت و دمای هوا نیز بعنوان پارامتر-های مؤثر در حلالیت اکسیژن در آب بترتیب بااستفاده از اکسیژن‌متر (WTW, Oxi 3205) و رطوبت‌سنج دیجیتالی (TFA Dostmann) روزانه موردبررسی قرارگرفتند. براین اساس، اکسیژن محلول $mg\ l^{-1}$ ۵/۶>، pH ۷/۸–۷/۹، هدایت الکتریکی $\mu s\ cm^{-1}$ ۳۹۴–۴۳۶، سختی کل mgl^{-1} ۲۰۹–۳۶۷، جامدات کل mgl^{-1} ۱/۵۸–۲/۹۴و دمای هوا ۱۷–۲۳ درجه سانتیگراد، رطوبت هوا ۳۲–۵۸ درصد و فشار بارومتریک mm-Hg ۸۲۸–۸۴۰ بدست آمد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری: پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها بااستفاده از آزمون شاپیرو–ویلک(Shapiro-Wilk) و همگن بودن واریانس، آزمون لِون (Leven)، بمنظور بررسی تفاوت‌های آماری در خصوص پارامترهای اندازه-گیری شده، داده‌ها با استفاده از آنالیز کوواریانس ANCOVA مورد تجزیه‌وتحلیل قرارگرفتند. در این آزمون، وزن و طول کل ماهی بعنوان عوامل کوواریانس در نظر گرفته شد. سپس برای تعیین اختلاف معنی‌دار بین تیمارها از روش مقایسات چندگانه، آزمون تکمیلی بونفرونی (Bonferroni) استفاده شد (SigmaPlot 12). در تمامی موارد، معنی‌داری در سطح P value کمتر از ۵ درصد در نظر گرفته شد.

نتایج

براساس آزمایش تعیین تحمل دمایی، آستانه کاهش دمایی در محدوده (۲/۵– ۱/۵) ۱/۹درجه سانتی‌گراد و آستانه افزایش دما در محدوده (۳۲/۹–۳۰/۰) ۳۱/۷ درجه سانتی-گراد بدست آمد.

نتایج بدست آمده نشان داد که میزان متابولیسم استاندارد در گروه شاهد در حدود $mgO_2\ Kg^{-1}\ h^{-1}$ ۱۶۳/۰۸±۳۲/۰۰ است. کاهش دما در تیمارهای آنی، ۲۴ ساعته و یک هفته موجب کاهش معنی‌دار میزان متابولیسم استاندارد بترتیب بمیزان ٪۷۶/۹۶، ٪۷۷/۲۸ و ٪۶۶/۱۴ نسبت به گروه شاهد گردید (P<۰/۰۵). در حالی‌که افزایش دما در تیمارهای آنی، ۲۴ساعته و یک هفته بترتیب سبب ۱/۶۱، ۲/۳۲ و ۱/۰۶ برابر شدن میزان متابولیسم استاندارد، نسبت به گروه شاهد شد (شکل ۱).

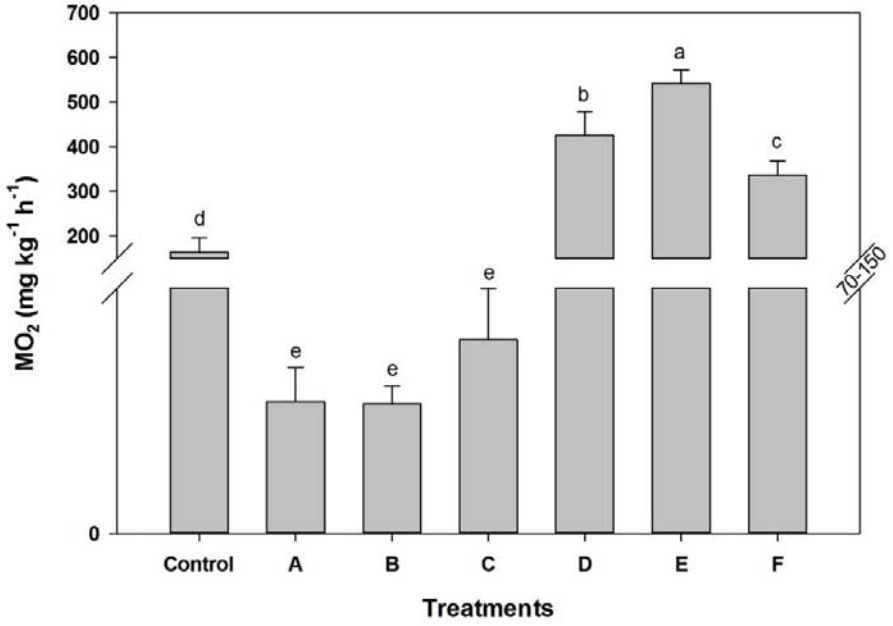
میزان متابولیسم بیشینه برای گروه شاهد معادل $mg\ O_2\ Kg^{-1}\ h^{-1}$ ۴۵۷/۷۸±۴۱/۸۶ محاسبه شد. همانطور که از شکل (۲) برمی‌آید کاهش دما در تیمارهای آنی، ۲۴ ساعته و یک هفته سبب کاهش معنی‌دار (P<۰/۰۵) متابولیسم بیشینه بترتیب تا میزان $mgO_2\ Kg^{-1}\ h^{-1}$ ۲۲۲/۰۰±۵۱/۱۱، ۲۵۶/۸۱±۳۵/۵۵ و ۱۶۵/۵۵±۷۲/۲۷ شدند. در صورتی‌که در اثر تیمارهای آنی، ۲۴ ساعته و یک هفتهٔ افزایش دما، میزان متابولیسم بیشینه بترتیب بمقدار $mgO_2\ Kg^{-1}\ h^{-1}$ ۷۲۸/۰۸±۷۹/۷۱، ۸۵۵/۲۵±۳۲/۴۵ و ۶۴۵/۹۸±۳۶/۱۴ افزایش یافت.

بمنظور تعیین تغییرات مطلق میزان متابولیسم ماهی نازک، میزان محدوده هوازی برای تمامی تیمارها محاسبه گردید. براین اساس، کاهش دما در تیمارهای آنی، ۲۴ ساعته و یک هفته سبب کاهش معنی‌دار (P<۰/۰۵) محدوده هوازی بترتیب بمیزان ٪ ۳۴/۸۳، ٪۲۲/۷۶ و ٪۶۱/۲۱ در مقایسه با گروه شاهد گردید. درصورتی‌که اختلاف معنی‌داری در محدوده هوازی هیچ‌یک از تیمارهای افزایش آنی، ۲۴ ساعته و یک هفته دما مشاهده نشد (شکل ۳).

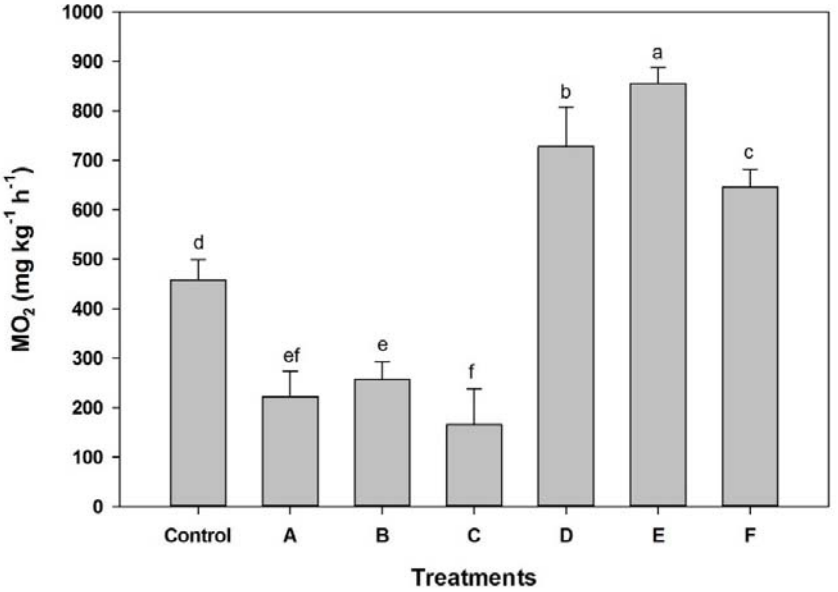
بحث

بررسی میزان اکسیژن مصرفی و ظرفیت متابولیکی در آبزیان از چندی پیش تاکنون بسیار موردتوجه قرارگرفته است (۱۱، ۱۹،۴۷ و ۵۴). باوجود تغییرات اقلیمی گسترده

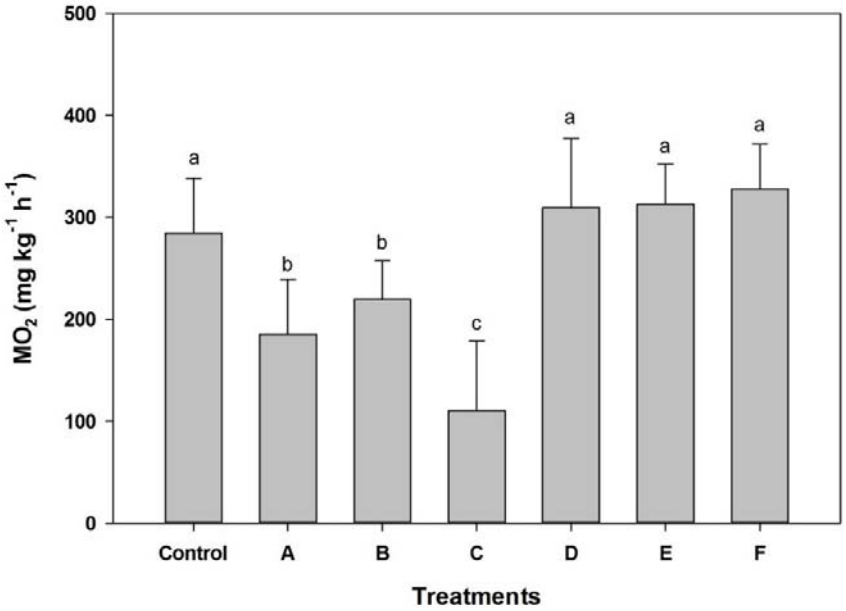
اطلاعات کمی در خصوص تأثیر این نوع تغییرات بر مکانیسم‌های فیزیولوژیکی ماهیان وجود دارد (۱۸). تغییرات اقلیمی نظیر تغییر دمای آب‌های سطحی می‌تواند سبب تغییر محیط خارجی و درنتیجه تغییر ویسکوزیته آب و حلالیت اکسیژن و یا محیط داخلی مانند انتقال اکسیژن به سلول‌ها، اختلالات بیوشیمیایی و قدرت عضلات شود (۴۹).



شکل ۱- تأثیر تیمارهای مختلف دما بر میزان متابولیسم استاندارد ماهی نازک، A تیمار کاهش آنی دما، B تیمار کاهش ۲۴ ساعته دما، C تیمار کاهش یک هفته دما، D تیمار افزایش آنی دما، E تیمار افزایش ۲۴ ساعته دما و F تیمار افزایش یک هفته دما. اعداد عبارتند از میانگین± انحراف معیار ۸ نمونه ماهی آزمایش شده و حروف انگلیسی متفاوت در بالای هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها.



شکل ۲- تأثیر تیمارهای مختلف دما بر میزان متابولیسم بیشینه ماهی نازک، A تیمار کاهش آنی دما، B تیمار کاهش ۲۴ ساعته دما، C تیمار کاهش یک هفته دما، D تیمار افزایش آنی دما، E تیمار افزایش ۲۴ ساعته دما و F تیمار افزایش یک هفته دما. اعداد عبارتند از میانگین± انحراف معیار ۸ نمونه ماهی آزمایش شده و حروف انگلیسی متفاوت در بالای هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها.



شکل ۳- تأثیر تیمارهای مختلف دما بر محدوده هوازی ماهی نازک، A تیمار کاهش آنی دما، B تیمار کاهش ۲۴ ساعته دما، C تیمار کاهش یک هفته دما، D تیمار افزایش آنی دما، E تیمار افزایش ۲۴ ساعته دما و F تیمار افزایش یک هفته دما. اعداد عبارتند از میانگین± انحراف معیار ۸ نمونه ماهی آزمایش شده و حروف انگلیسی متفاوت در بالای هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها.

باتوجه به تأثیر قابل‌ملاحظه این تغییرات بر پراکنش و حتی حیات آبزیان، تنها مطالعات اندکی درزمینه تأثیر نوسانات دمایی بر میزان متابولیسم آبزیان صورت گرفته است (۳۹). بنابراین، بررسی ارتباط بین تغییرات میزان متابولیسم و دمای محیط بمنظور بررسی نحوه تأثیر الگوهای مختلف حرارتی بر متابولیسم آبزیان حائز اهمیت است (۱۳ و ۵۸).

محدوده نوسانات دمایی در زیستگاه این ماهی در سرچشمه‌های زاینده‌رود در حدود ۲۲-۲ درجه سانتی‌گراد گزارش‌شده است (۸) که با آستانه تحمل دمایی ماهی نازک (۳۱/۷-۱/۹ درجه سانتی‌گراد)، بدست آمده از مطالعه حاضر قابل‌مقایسه است. بطور دقیق، محدوده پایینی تحمل دمایی ماهی نازک با آنچه در محیط‌زیست این‌گونه رخ می‌دهد بصورت قابل‌ملاحظه‌ای نزدیک است درحالیکه محدوده بالایی تحمل دمایی بمراتب بیشتر از آن چیزی است که در اکوسیستم طبیعی این‌گونه رخ می‌دهد. آستانه بالایی تحمل دمایی بدست آمده برای ماهی نازک در مطالعه حاضر (۳۲/۵-۳۱/۵ درجه سانتی‌گراد) با نتایج بدست آمده برای سایر ماهیان ساکن در مناطق حاره و تحت‌حاره (*Ostorhinchus sp.* و *Fundulus sp.*) مشابه است (۴۴ و۵۲) اما در مقایسه با ماهیان ساکن در مناطق معتدله، مانند آزادماهیان محدوده بدست آمده بیشتر است (۲۹). البته عوامل دیگری نظیر سازگاری دمایی، فاکتورهای داخلی مانند اندازه، مراحل تکاملی، شرایط تغذیه‌ای و حتی گونه ماهی نیز بر تحمل دمایی تأثیرگذار است (۴، ۲۲ و ۵۱). برای مثال، ماهی *A. testudineus* که ازجمله ماهیان ساکن در آب شیرین کشورهای جنوب‌شرقی آسیا است محدوده دمایی بالاتری (حدوداً ۴۰-۱۲ درجه سانتی‌گراد) را در مقایسه با ماهی نازک تحمل می‌کند (۵۱).

همانطور که انتظار می‌رفت، دمای آب بر متابولیسم ماهی نازک تأثیر معنی‌داری داشته است. براساس نتایج حاصل از این مطالعه، کاهش دما موجب کاهش میزان متابولیسم استاندارد و افزایش دما موجب افزایش میزان آن در ماهی نازک گردید. چنین روندی در تایید تأثیر دمای محیط بر متابولیسم موجودات خونسرد است. برای مثال، در مطالعات سارما و همکاران (۲۰۱۰) (۵۱) روی ماهی گرومی بالارونده (*A. testudineus*)، اولیانو و همکاران

(۲۰۱۰) (۵۶) روی ماهی گورخری (*D. rerio*)، ماجهی و داس (۲۰۱۳) (۴۱) روی ماهی *D. dangila* از خانواده کپورماهیان و ماهی گورخری (*D. rerio*)، داس و همکاران (۲۰۰۴) (۲۲) روی سه گونه *L. rohita*، *C. catla* و *C. mrigala* از خانواده کپورماهیان، دالوی و همکاران (۲۰۰۹) (۲۱)روی گربه‌ماهی خورشیدی *H. brachysoma*، دبناس و همکاران (۲۰۰۶) (۲۴) روی ماهیان انگشت قد پیشرفته گربه‌ماهی دم زرد *P. pangasius* و چاترجی و همکاران (۲۰۰۴) (۱۵) روی ماهیان انگشت قد ابتدایی دو گونه *L. rohita* و *C. carpio* از خانواده کپورماهیان نیز گزارش‌شده است. متأسفانه بدلیل عدم اندازه‌گیری یکسان، استفاده از پروتکل‌های سازگاری متنوع و نحوه متفاوت گزارش میزان متابولیسم ماهی، امکان مقایسه وسیع در این رابطه میسر نیست.

ازجمله بارزترین پاسخ موجودات خونسرد نسبت به کاهش دمای آب، کاهش اشتها (Loss of appetite)، بی‌حالی و بی‌تفاوتی (Lethargy) است که به‌نوبه خود سبب کاهش میزان متابولیسم معمول در آنها می‌شود (۲۶، ۳۵ و ۴۸). علاوه براین، تأثیر دما بر تحرک ماهی و همچنین میزان فعالیت آنزیم‌ها و ماهیچه‌های قلبی نیز کاملاً مشخص‌شده است (۵۵). کاهش فعالیت خود بخودی ماهی همگام با کاهش دما نیز گزارش‌شده است (۱۴). بروز چنین رفتاری موجب می‌گردد ماهی انرژی کمتری را صرف نماید و بدنبال آن نیازهای متابولیکی وی کاهش پیدا خواهد کرد (۲۸). در جانداران خونسرد پاسخ‌های متابولیکی که بعنوان میزان مصرف اکسیژن شناخته می‌شوند همبستگی خطی و یا نمایی را با دما نشان می‌دهند و علت آن تأثیر مستقیم دما بر واکنش‌های کینتیکی آنزیم‌های درگیر است (۳۴). لذا همسو با تغییرات دمایی میزان فعالیت آنزیم‌های درگیر، بدنبال آن میزان مصرف اکسیژن تغییر خواهد کرد. علاوه براین، در مطالعه فارل در سال ۲۰۰۲ و کلارک و همکاران در سال ۲۰۱۱ گزارش شده است که ضربان قلب ماهی آزاد (*O. gorbuscha*) همسو با تغییرات دمایی تغییر پیدا می‌کند (۱۸ و ۲۷). باتوجه به این مطلب می‌توان بیان کرد که در تیمارهای کاهش آنی، ۲۴ ساعته و یک هفته دما، احتمالاً با کاهش دما ضربان قلب ماهی نازک نیز کاهش پیدا کرده است. لذا میزان خون فرستاده شده به آبشش‌ها و درنتیجه میزان تبادلات گازی آن‌ها کاهش‌یافته است. بنابراین، بطورکلی فاکتورهای داخلی مانند کاهش توان متابولیکی و قابلیت انقباض عضلات تحت تأثیر کاهش دمای آب قرار می‌گیرد (۲۳) که به‌نوبه خود سبب کاهش عملکرد میتوکندری‌های سلول‌های عضلانی (۳۳)، کاهش نرخ واکنش‌های بیوشیمیایی (۳۰) و درنتیجه میزان ATP در بدن آبزیان ساکن در آب‌های سردتر می‌شود (۳۷).

از سوی دیگر افزایش میزان متابولیسم و بالطبع میزان تنفس همراه با افزایش دما در تیمارهای آنی، ۲۴ ساعته و یک هفته دما مشابه مطالعات صورت گرفته در خصوص تأثیر افزایش دمای آب بر سایر آبزیان است (۱۶،۲۵، ۲۹ و ۴۶). از آنجاییکه دما بطور مستقیم برتمامی فرایندهای بیولوژیک تأثیرگذار است، افزایش متابولیسم و تنفس در ماهی نازک متعاقب افزایش دما چندان دور از انتظار نیست چراکه احتمالاً ضربان قلب و بدنبال آن گسیل خون به آبشش‌ها و تبادلات گازی افزایش‌یافته است (۳).

میزان متابولیسم بیشینه در تیمارهای افزایش آنی، ۲۴ ساعته و یک هفته دما افزایش معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) را نسبت به گروه شاهد نشان داد اما محدوده هوازی این تیمارها اختلاف معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) با گروه شاهد نداشتند. میزان متابولیسم بیشینه و محدوده هوازی در تمامی تیمار-های کاهش دما در مقایسه با گروه شاهد کاهش‌یافته است. پیش‌ازاین کاهش میزان متابولیسم بیشینه و محدوده هوازی در ماهی کاد (*Gadus morhua*) متعاقب کاهش دما از ۱۰ به ۵ و ۲ درجه سانتی‌گراد نشان داده‌شده است (۱۷). این عدم‌تغییر معنی‌دار محدوده هوازی در اثر افزایش دما دلیلی بر قابلیت ماهی در ایجاد سازگاری با افزایش دما است.

درواقع ماهی با استفاده از سیستم کنترل کیفیت پروتئینی و فعالیت آنزیمی در مواجهه با افزایش دما قادر به کنترل عملکرد سلول‌ها است (۴۰). براساس نتایج مطالعه فعلی افزایش دما نیز برای ماهی نازک یک عامل استرس‌زای القایی (Loading factor) است زیرا باعث افزایش میزان متابولیسم استاندارد گردیده است. افزایش میزان متابولیسم بیشینه مشاهده‌شده در این تیمارها می‌تواند بعنوان راهکاری (استراتژی) جهت جلوگیری از تأثیرات منفی افزایش دما بعنوان عامل استرس‌زای القایی بر محدوده هوازی باشد. از سوی دیگر، میزان متابولیسم بیشینه و همچنین محدوده هوازی در هر سه تیمار کاهش دمایی (آنی، ۲۴ساعته و یک هفته) کاهش یافت. این امر موجب می‌گردد که بتوان کاهش دما را برای ماهی نازک یک عامل استرس‌زای محدودکننده (Limiting factor) بحساب آورد. به‌هرحال، هردو عامل استرس القایی و محدودکننده برتحرک و شنای ماهی تأثیرگذار است، بصورتیکه استرس-های القایی سبب انحراف اکسیژن از عضلات در حال کار در تمامی سرعت‌های شنا و استرس‌های محدود کننده سبب کاهش انتقال اکسیژن به عضلات در سرعت‌های شنای بالا می‌شوند (۹ و۵۳) و بصورت بالقوه بر رفتارهای شناگری، پراکندگی، تغذیه و مهاجرت ماهیان تأثیرگذار خواهد بود. تغییرات طولانی‌مدت دمای محیط موجب می-گردد تا جانداران خون‌سرد پاسخ‌های متفاوتی جهت مقابله با نوسانات دمایی از خود نشان دهند. این نوسانات با تغییر الگوی متابولیسمی ماهی در درازمدت می‌تواند بر عملکرد طبیعی موجود تأثیرگذار باشد و با کاهش بودجه انرژی بر رشد، تولیدمثل و سایر اعمال حیاتی تأثیرات نامطلوبی وارد نماید (۱۲ و۴۰).

نتیجه‌گیری

آگاهی از نحوه تغییر میزان متابولیسم آبزیان در اثر تغییر دمای محیطی می‌تواند به درک تفاوت‌های موجود در زمینه رشد، تولیدمثل، بقا و حتی توانایی فیزیکی در یک‌گونه خاص در شرایط محیطی مختلف کمک نماید. همانطور که از نتایج مطالعه حاضر برمی‌آید، متعاقب تیمارهای بلندمدت (بویژه افزایش دما) محدوده هوازی ماهی نازک در حدود گروه شاهد بدست آمده است که این خود حاکی از قابلیت ماهی برای ایجاد سازگاری با نوسانات دمایی باگذشت زمان است. البته توجه به این نکته نیز حائز اهمیت است که در صورت تداوم هریک از تیمارهای دمایی، احتمال بازگشت متابولیسم این‌گونه (حتی در تیمارهای کاهش دما) به سطح شاهد دور از انتظار نیست. بطور کلی نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر پیشنهاد می-کند که تغییرات دمایی بعنوان یک عامل استرس‌زای محیطی می‌تواند بر متابولیسم ماهی تأثیرگذار باشد، چراکه درواقع مکانیسم‌های بیوشیمیایی و عملکرد فیزیولوژیکی معمول جاندار را تحت تأثیر قرار می‌دهد که به‌نوبه خود تغییرات اکوسیستمی (اقلیمی) سبب بروز اختلال در تأمین بودجه انرژی برای فعالیت¬های حیاتی جاندار مانند رشد، تغذیه و حتی تولیدمثل می–شود.

منابع

1. Abdoli, A., 2000. The Inland Water Fishes of Iran. Iranian Museum of Nature and Wildlife, Tehran, 378p.
2. APHA-American Public Health Association, 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21, PP:258-259.
3. Barron, M., Tarr, B., and Hayton, W., 1987. Temperature-dependence of cardiac output and regional blood flow in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. Journal of Fish Biology. 31 (6). PP:735-744.
4. Becker, C., Genoway, R., and Schneider, M., 1977. Comparative cold resistance of three Columbia River organisms. Transactions of the American Fisheries Society. 106 (2), PP:178-184.
5. Beitinger, T., and Lutterschmidt, W., 2011. Measures of thermal tolerance. Encyclopedia of

Fish Physiology: From Genome to Environment. 3, PP: 1695-1702.

6. Beitinger, T. L., and Bennett, W. A., 2000. Quantification of the role of acclimation temperature in temperature tolerance of fishes. Environmental Biology of Fishes. 58 (3), PP: 277-288.

7. Beitinger, T. L., Bennett, W. A., and McCauley, R.W., 2000. Temperature tolerances of North American freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature. Environmental Biology of Fishes. 58 (3), PP: 237-275.

8. Borhani, M., Soofiani, N. M., and Ebrahimi, E. S. A., 2017. First report on growth and reproduction of *Turcinoemacheilus Bahai*i (Esmaeili, Sayyadzadeh, Özulug, Geiger and Freyhof, 2014), in Zayandeh roud river, Iran. Austin Environmental Science. 2 (1), 1014 p.

9. Brett, J., 1958. Implications and assessments of environmental stress. In: The investigation of fish-power problems: a symposium held at the University of British Columbia. 69 p.

10. Brett, J., and Groves, T., 1979. Physiological energetics. Fish Physiology. 8, PP:279-352.

11. Brown, J. H., Gillooly, J. F., Allen, A. P., Savage, V. M., and West, G. B., 2004. Toward a Metabolic Theory of Ecology, Ecology. 85 (7), PP: 1771-1789.

12. Burel, C., Ruyet, P. L., Gaumet, F., Le Roux, A., Severe, A., and Boeuf, G., 1996. Effects of temperature on growth and metabolism in juvenile turbot. Journal of Fish Biology. 49 (4), PP: 678-692.

13. Cano, J., and Nicieza, A., 2006. Temperature, metabolic rate, and constraints on locomotor performance in ectotherm vertebrates. Functional Ecology. 20 (3), PP:464-470.

14. Castonguay, M., and Cyr, D., 1998. Effects on temperature on spontaneous and thyroxine-stimulated locomotor activity of Atlantic cod. Journal of Fish Biology. 53 (2), PP: 303-313.

15. Chatterjee, N., Pal, A., Manush, S., Das, T., and Mukherjee, S., 2004. Thermal tolerance and oxygen consumption of *Labeo rohita* and *Cyprinus carpio* early fingerlings acclimated to three different temperatures. Journal of Thermal Biology. 29 (6), PP: 265-270.

16. Claireaux, G., and Lagardère, J. P., 1999. Influence of temperature, oxygen and salinity on the metabolism of the European sea bass. Journal of Sea Research. 42 (2), PP: 157-168.

17. Claireaux, G., Webber, D., Lagardère, J. P., and Kerr, S., 2000. Influence of water temperature and oxygenation on the aerobic metabolic scope of Atlantic cod (*Gadus morhua*). Journal of Sea Research. 44 (3), PP: 257-265.

18. Clark, T. D., Jeffries, K. M., Hinch, S. G., and Farrell, A. P., 2011. Exceptional aerobic scope and cardiovascular performance of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) may underlie resilience in a warming climate. The Journal of Experimental Biology. 214 (18), PP: 3074-3081.

19. Clark, T. D., Sandblom, E., and Jutfelt, F., 2013. Aerobic scope measurements of fishes in an era of climate change: respirometry, relevance and recommendations. The Journal of Experimental Biology. 216 (15), PP: 2771-2782.

20. Coad, B. W., 1995. Freshwater fishes of Iran. Acta Sci Nat Brno. 29, PP:1-64.

21. Dalvi, R. S., Pal, A. K., Tiwari, L. R., Das, T., and Baruah, K., 2009.Thermal tolerance and oxygen consumption rates of the catfish *Horabagrus brachysoma* (Günther) acclimated to different temperatures. Aquaculture. 295 (1), PP:116-119.

22. Das, T., Pal, A., Chakraborty, S., Manush, S., Chatterjee, N., and Mukherjee, S., 2004. Thermal tolerance and oxygen consumption of Indian Major Carps acclimated to four temperatures. Journal of Thermal Biology. 29 (3), PP: 157-163.

23. Day, N., and Butler, P., 2005. The effects of acclimation to reversed seasonal temperatures on the swimming performance of adult brown trout *Salmo trutta*. Journal of Experimental Biology. 208 (14), PP: 2683-2692.

24. Debnath, D., Pal, A., Sahu, N., Baruah, K., Yengkokpam, S., Das, T., and Manush, S., 2006. Thermal tolerance and metabolic activity of yellowtail catfish *Pangasius pangasius* (Hamilton) advanced fingerlings with emphasis on their culture potential. Aquaculture. 258 (1), PP: 606-610.

25. Eliason, E. J., Clark, T. D., Hague, M. J., Hanson, L. M., Gallagher, Z. S., Jeffries, K. M., Gale, M. K., Patterson, D. A., Hinch, S. G., and Farrell, A. P., 2011. Differences in thermal tolerance among sockeye salmon populations. Science. 332 (6025), PP: 109-112.

26. Elliott, J., 1991. Tolerance and resistance to thermal stress in juvenile Atlantic salmon, Salmo salar. Freshwater Biology. 25 (1), PP: 61-70.

27. Farrell, A., 2002. Cardiorespiratory performance in salmonids during exercise at high temperature: insights into cardiovascular design limitations in

fishes. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology. 132 (4), PP: 797-810.

28. Farrell, A.P., 2011. Encyclopedia of fish physiology: from genome to environment. vol 2,3. Academic Press,

29. Farrell, A. P., Eliason, E., Sandblom, E., and Clark, T., 2009. Fish cardiorespiratory physiology in an era of climate change The present review is one of a series of occasional review articles that have been invited by the Editors and will feature the broad range of disciplines and expertise represented in our Editorial Advisory Board. Canadian Journal of Zoology. 87 (10), PP: 835-851.

30. Franklin, C. E., 1998. Studies of evolutionary temperature adaptation: muscle function and locomotor performance in Antarctic fish. Clinical and experimental pharmacology and physiology. 25 (9), PP: 753-756.

31. Fry, F., 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. Fish Physiology. 6, PP: 1-98.

32. Ghorbani Chafi, H., 2000. Identification of different fish species in Koohrang, Bazoft and Zayandeh Rood River in Chahar Mahal-e-Bakhtiary Province. Iranian Journal of Fisheries Sciences. 8 (4), PP: 43-56.

33. Guderley, H., 2004. Locomotor performance and muscle metabolic capacities: impact of temperature and energetic status. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology. 139 (3), PP: 371-382.

34. Hazel, J. R., and Prosser, C. L., 1974. Molecular mechanisms of temperature compensation in poikilotherms. Physiological Reviews. 54 (3), PP: 620-677.

35. Ibarz, A., Padrós, F., Gallardo, M. Á., Fernández-Borràs, J., Blasco, J., and Tort, L., 2010. Low-temperature challenges to gilthead sea bream culture: review of cold-induced alterations and 'Winter Syndrome'. Reviews in Fish Biology and Fisheries. 20 (4), PP: 539-556.

36. Kieffer, J., and Wakefield, A., 2009. Oxygen consumption, ammonia excretion and protein use in response to thermal changes in juvenile Atlantic salmon Salmo salar. Journal of fish biology. 74 (3), PP: 591-603.

37. Kieffer, J. D., 2000. Limits to exhaustive exercise in fish. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology. 126 (2), PP:161-179.

38. Kieffer, J. D., Penny, F. M., and Papadopoulos, V., 2014. Temperature has a reduced effect on routine metabolic rates of juvenile shortnose sturgeon (*Acipenser brevirostrum*). Fish Physiology and Biochemistry. 40 (2), PP: 551-559.

39. Lassalle, G., Crouzet, P., Gessner, J., and Rochard, E., 2010. Global warming impacts and conservation responses for the critically endangered European Atlantic sturgeon. Biological conservation. 143 (11), PP: 2441-2452.

40. Madeira, C., Madeira, D., Diniz, M. S., Cabral, H. N., Vinagre, C., 2016. Thermal acclimation in clownfish: an integrated biomarker response and multi-tissue experimental approach. Ecological Indicators. 71, PP:280-292.

41. Majhi, S. K., and Das, S. K., 2013. Thermal tolerance, oxygen consumption and stress response in *Danio dangila* and *Brachydanio rerio* (Hamilton, 1822) acclimated to four temperatures. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 13(2), PP: 359-365.

42. Malekpouri, P., Peyghan, R., Mahboobi-Soofiani, N., and Mohammadian, B., 2016. Metabolic capacities of common carp (*Cyprinus carpio*) following combined exposures to copper and environmental hypoxia. Ecotoxicology and Environmental Safety. 127, PP:1-11.

43. Moore, E. W., 1958. Thermal" pollution" of streams. Industrial & Engineering Chemistry. 50 (4), PP: 87A-88A.

44. Nilsson, G. E., Crawley, N., Lunde, I. G., and Munday, P. L., 2009. Elevated temperature reduces the respiratory scope of coral reef fishes. Global Change Biology. 15 (6), PP: 1405-1412.

45. Nordell, B., 2003. Thermal pollution causes global warming. Global and planetary change. 38 (3), PP:305-312.

46. Pörtner, H. O., and Knust, R., 2007. Climate change affects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance. Science. 315 (5808), PP: 95-97.

47. Price, C. A., Weitz, J. S., Savage, V. M., Stegen, J., Clarke, A., Coomes, D. A., Dodds, P. S., Etienne, R. S., Kerkhoff, A. J., and McCulloh, K., 2012. Testing the metabolic theory of ecology. Ecology Letters. 15 (12), PP: 1465-1474.

48. Prosser, C. L., 1991. Comparative animal physiology, environmental and metabolic animal physiology. John Wiley & Sons, P, 591.

49. Randall, D., and Brauner, C., 1991. Effects of environmental factors on exercise in fish. Journal of Experimental Biology. 160 (1), PP:113-126.

50. Rastogi, S., 2007. Essentials of animal physiology. New Age International, P, 577.

51. Sarma, K., Pal, A., Ayyappan, S., Das, T., Manush, S., Debnath, D., and Baruah, K., 2010. Acclimation of *Anabas testudineus* (Bloch) to three test temperatures influences thermal tolerance and oxygen consumption. Fish Physiology and Biochemistry. 36 (1), PP: 85-90.

52. Schulte, P. M., 2007. Responses to environmental stressors in an estuarine fish: Interacting stressors and the impacts of local adaptation. Journal of Thermal Biology. 32 (3), PP: 152-161.

53. Sloman, K. A., Wilson, R.W., and Balshine, S., 2006. Behaviour and physiology of fish, vol 24. Gulf Professional Publishing, P, 504.

54. Soofiani, N., and Hawkins, A., 1982. Energetic costs at different levels of feeding in juvenile cod, *Gadus morhua* L. Journal of Fish Biology. 21, PP: 577–592.

55. Tuckey, N. P., Forgan, L. G., and Jerrett, A. R., 2012. Fillet colour correlates with biochemical status in Australasian snapper (Pagrus auratus) during storage in refrigerated seawater. Aquaculture. 356, PP: 256-263.

56. Uliano, E., Cataldi, M., Carella, F., Migliaccio, O., Iaccarino, D., and Agnisola, C., 2010. Effects of acute changes in salinity and temperature on routine metabolism and nitrogen excretion in gambusia (*Gambusia affinis*) and zebrafish (*Danio rerio*). Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology. 157 (3), PP: 283-290.

57. Welch, H. E., 1999. Freshwater ecosystems: Revitalizing educational programs in limnology. Wiley Online Library, 78(48), PP:552-557.

58. Ziegeweid, J. R., Jennings, C. A., and Peterson, D. L., 2008. Thermal maxima for juvenile shortnose sturgeon acclimated to different temperatures. Environmental Biology of Fishes. 82 (3), PP: 299-307.

Effects of different thermal acclimations on metabolic rate of Brond-snout *Chondrostoma regium*

Mohammadi M.[1], Mahboobi-Soofiani N.A. [1], Farhadian O.[1] and Malekpouri P.[2]

[1] Fisheries Dept., Faculty of Natural Resources Engineering, 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

The whole-body metabolic rates, which are known as indicatives of the physiological functions of an organism are influenced by biotic and abiotic factors. In this study, the effect of temperature on metabolic capacity of *Chondrostoma regium* was estimated following thermal tolerance range, which was obtained between 1.9 - 31.7 ℃. To address that, 56 fish weighing 20.77±1.35 g were exposed different temperature treatments, including 3.5-4.5 ℃ as acute low temperature, 5.5-6.5 ℃ for 24 h and 5.5-6.5 ℃ for a week as low temperature treatment, 30-31 ℃ as acute high temperature, 29-30 ℃ for 24 h and 28-29 ℃ for a week as high temperature and a control treatment (22-23 ℃). Metabolic rate, including standard metabolic rate, maximum metabolic rate and aerobic scope were determined for each individual fish by intermittent flow respirometer. The results indicate that standard and maximum metabolic rate was elevated ($P<0.05$) in all high temperature treatments as compared with control while aerobic scope didn't show any significant changes. On the other hand, all metabolic parameters (standard metabolic rate, maximum metabolic rate and aerobic scope) were reduced ($P<0.05$) in low treatments when compared with control treatment. Based on the present results, it could be concluded that increase in water temperature act as a loading stressor and decrease in temperature act as a limiting stressor to *C. regium*.

Key words: Thermal Effect, Oxygen Consumption, Aerobic Scope, *Chondrostoma regium*