ماهی زبرا: گونه مدل مطالعاتی بیماری‌های انسانی و تغییرات رفتارشناسی

سعید شفیعی ثابت[۱،*]، فاطمه علیزاده لادمخی[۱]، شقایق جامی[۱]

چکیده

ماهی زبرا (*Danio rerio*) یک‌گونه ماهی استخوانی متعلق به خانواده کپور ماهیان بوده و بومی آب شیرین رودخانه‌های شمال شرقی کشور هند و بنگلادش می‌باشد. این ماهی به‌عنوان یک‌گونه آکواریومی و دارای زندگی گروهی-اجتماعی در دنیا شناخته شده است. این گونه از نظر مطالعات آزمایشگاهی دارای مزایای زیادی است که شامل نگهداری آسان، قدرت تولیدمثل بالا، شفافیت بدن در مراحل جنینی و لاروی، تراکم‌پذیری بالا و هزینه نگهداری پایین می‌باشد. از مزایای دیگر این‌گونه امکان بررسی گسترده مراحل تخم، جنینی، لاروی و بالغ در مطالعات علوم مختلف می‌باشد. امروزه ماهی زبرا به‌عنوان یک‌گونه مدل در علوم شامل عصب‌شناسی، سم‌شناسی، ژنتیک، اختلالات غدد درون‌ریز، زیست‌شناسی مهره‌داران، تکامل زیستی، بیماری‌های انسانی و همچنین رفتارشناسی شناخته‌شده می‌باشد. در این مقاله ابتدا مروری بر اهمیت استفاده از ماهی زبرا به‌عنوان مدل و گونه پیشرو در انجام مطالعات بیماری‌های مختلف انسانی پرداخته می‌شود. در ادامه به بررسی و ارزیابی این‌گونه در مطالعات رفتارشناسی و پاسخ‌های رفتاری این‌گونه نسبت به محرک‌های محیطی با استفاده از حواس بویایی، شنوایی و بینایی می‌پردازیم. در پایان، محققین رفتارشناسی باید رفاه جانوران در اسارت را در نظر گرفته و اثرات بالقوه محرک‌های محیطی که قابل ادراک توسط حواس در ماهی‌ها می‌باشد را در نظر داشته باشند.

واژگان کلیدی: علم، بیماری‌های انسانی، زیست‌شناسی رفتار، ماهی زبرا

* عهده‌دار مکاتبات، استادیار، تلفن ۰۱۳۴۴۳۲۳۵۹۹، فکس ۰۱۳۴۴۳۲۲۱۰۲، پست الکترونیکی: s.shafiei.sabet@guilan.ac.ir
۱ گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا

DOR:20.1001.1.2008935.1399.11.1.8.7

مقدمه

معرفی گونه: ماهی زبرا[1]

ماهی زبرا یک‌گونه ماهی آب شیرین با اندازه کوچک (با طول استاندارد به‌طور میانگین ۳۰ میلی‌متر) از خانواده کپور ماهیان می‌باشد که برای اولین بار در دلتای رودخانه گنگ بین کشور بنگلادش و هند گزارش شده است [۱]. دامنه پراکنش طبیعی این‌گونه در حوضه‌های رودخانه‌ای گنگ و براهاماپوترا در قسمت‌های جنوب شرقی هند، بنگلادش، نپال و قسمت‌های شمالی میانمار گزارش‌شده است [۲]. از نظر شناگری ماهی زبرا معمولاً از تمامی ستون آبی برای انجام فعالیت‌های شناگری خود استفاده می‌نماید و در کشور بنگلادش و هند مناطق آب‌های باز رودخانه‌های سیلابی، دریاچه‌ها و استخرها در بین اجتماعات گیاهی به‌طور طبیعی پراکنش دارند [۱]. ماهی زبرا برای اولین بار در یک مرکز نگهداری ماهیان زینتی در توبینگن کشور آلمان به‌صورت کلاسیک و استاندارد غربالگری شد [۳]. این‌گونه دارای زندگی اجتماعی بوده و امروزه از ماهیان متداول در صنعت ماهیان آکواریومی می‌باشد (شکل ۱). همچنین دستورالعمل‌ها و شیوه‌های آزمایشگاهی نگهداری [۴] و تکثیر و پرورش آن به‌صورت رایج ایجاد شده است [۵]. ماهی زبرا به‌عنوان یک‌گونه ارگانیسم الگو برای انجام تحقیقات و پژوهش‌های زیست‌شناسی مدرن مطرح شده است [۶].

شکل ۱: ماهی زبرا (*Danio rerio*) بالغ مورد استفاده در مطالعات رفتارشناسی. شکل با اجازه و اقتباس شده از [۴۰].

ماهی زبرا دارای یکسری ویژگی‌ها و مزایایی می‌باشد که به‌عنوان گونه مدل و ابزاری مناسب برای تحقیق و پژوهش انتخاب شده است [۷]. این مزایا شامل نگهداری آسان، قدرت تولیدمثل بالا، شفافیت بدن در مراحل جنینی و لاروی، تراکم‌پذیری بالا و هزینه نگهداری پایین می‌باشد. همچنین حجم قابل‌توجهی از ذخیره ژنتیکی و اختصاصات آنها با ژنوم انسانی مشترک بوده و سیستم‌های اندامی ماهی زبرا به‌طور ویژه شبیه به انسان‌ها می‌باشد [۷]. از مزایای دیگر این‌گونه می‌توان به امکان بررسی گسترده مراحل تخم، جنینی، لاروی و بالغ در مطالعات علوم مختلف اشاره داشت. ماهی زبرا به‌عنوان یک‌گونه مدل در انجام مطالعات ژنتیکی و بیان ژن [۸] و [۹]، زیست‌پزشکی و عملکرد اندام‌ها [۱۰] و مکانیسم بیماری‌ها شناخته‌شده می‌باشد [۱۱]. علاوه‌بر این ماهی زبرا به‌عنوان یک‌گونه مدل در مطالعات فیزیولوژی تلفیقی می‌باشد [۱۲]. لازم به ذکر می‌باشد که مطالعات کمتری درزمینه زیست‌شناسی جمعیت‌های طبیعی این‌گونه و همچنین رفتارشناسی آن انجام شده است [۱۳] که البته در دهه گذشته رشد و توسعه بیشتری یافته است. در این مقاله مروری بر اهمیت استفاده از ماهی زبرا به‌عنوان یک ابزار و گونه مدل و پیشرو در انجام مطالعات بیماری‌های مختلف انسانی پرداخته و در ادامه به بررسی مطالعات قبلی نویسندگان مقاله و سایر محققین در خصوص پاسخ‌های رفتارشناسی این‌گونه نسبت به محرک‌های محیطی می‌پردازیم.

ماهی زبرا به‌عنوان یک‌گونه مدل در علوم پزشکی و مطالعات بیماری‌های انسانی

مطالعه و بررسی سایر گونه‌های جانوری به‌عنوان گونه‌های مدل در علوم مختلف کمک بسیاری در پیشرفت علم و شناخت هر چه بیشتر روش‌های درمان بیماری‌های انسانی داشته است. امروزه پیشرفت‌های زیادی درزمینه استفاده از ماهی زبرا در مهندسی بیماری‌های ژنتیکی انسانی صورت گرفته و کاربرد ویژه‌ای دارد [۱۴]. ماهی زبرا یک‌گونه مدل قوی برای انجام مطالعات زیست‌شناسی مهره‌داران به‌ویژه در آنالیزهای ژنتیکی و تکاملی می‌باشد [۱۴] و [۱۵]. پایش‌های مولکولی و ژنتیکی در مقیاس بزرگ صدها نوع از انواع فنوتیپ‌های جهش‌یافته را در

[1] *Danio rerio*

ماهی زبرا شناسایی کرده‌اند که بسیار از آنها شبیه به اختلالات بالینی در انسان‌ها می‌باشد [۱۴]. غربالگری‌های پیوسته ماهی زبرا در خصوص جهش‌زایی برای رشد مفهوم مطالعات ژنتیکی در مگس سرکه در سال ۱۹۸۰ انجام گرفت [۱۶] که در ادامه منجر به شناسایی ژن‌های دارای اهمیت در توسعه و تکامل مراحل اولیه مگس سرکه و دریافت جایزه نوبل گردید [۳]. ایجاد و تهیه معرف‌های ژنتیکی حساس همراه با پیشرفت سریع شناسایی توالی ژنوم ماهی زبرا [۷] که از سال ۲۰۱۳ تکمیل شده است [۱۷]، این‌گونه را به سمت اهمیت بیشتر در زمینه مطالعه زیست‌شناسی مهره‌داران، فیزیولوژی و بیماری‌های انسانی سوق می‌دهد [۱۴]. ماهی زبرا همچنین در مطالعات سم‌شناسی نیز دارای اهمیت بوده و به‌عنوان یک‌گونه مدل شناخته می‌شود [۱۸]. به‌طوری‌که ساختار آبشش ماهی در پایش و غربالگری انواع آلودگی‌های آب استفاده می‌گردد [۱۹].

تکامل بیرونی و شفافیت ساختار بدنی در طی مراحل جنین‌زایی تجزیه‌وتحلیل بصری را از مراحل ابتدایی رشد در این‌گونه امکان‌پذیر می‌سازد [۱۴]. میزان هماوری بالا و زمان کوتاه هر نسل تجزیه‌وتحلیل‌های ژنتیکی را تسهیل می‌نماید [۱۴]. بنابراین می‌توان به مراحل اندام‌زایی، بیماری‌های پیچیده و سایر فرایندهای مهره‌داران بر اساس عملکردشان و بدون نیاز به اطلاعات قبلی ژنوم آنها اقدام نمود [۱۴]. استفاده از ماهی زبرا در مراحل جنینی منافاتی با قوانین صادرشده و وضع‌شده در خصوص رفاه گونه‌های جانوری را ندارد و بنابراین به‌عنوان اصل پالایش در انتخاب مرحله زندگی گونه مدل آزمایشی به‌حساب می‌آید و نه به‌عنوان جایگزینی آزمایش‌ها می‌باشد [۲۰]. مراحل جنینی ماهی زبرا یک الگوی مناسب برای ارزیابی ریسک محیطی مواد شیمیایی می‌باشد [۲۰].

شروع گردش خون در ماهی زبرا بسیار زود و در تقریباً ۲۴ ساعت پس از لقاح آغاز می‌گردد به‌طوری‌که تعداد و ریخت‌شناسی سلول‌های خونی در زیر میکروسکوپ‌ها قابل‌مشاهده می‌باشد. بنابراین عنوان گونه مدل در مطالعه بیماری‌ها و نارسایی‌های تولید و زایش سلول‌های خون [۲۱] استفاده می‌شود. برای مثال در مطالعات درون‌تنی[1] به‌صورت نرمال با توان و کارایی بالا جهت بررسی روند تشکیل و توسعه پلاکت‌های خونی که در مطالعات بیماری‌های خونی کاربرد دارد با موفقیت مورد استفاده قرارگرفته است [۲۲]. علاوه‌بر این به‌دلیل شباهت‌های بسیار زیاد ساختار قبل در مراحل جنینی ماهی زبرا با ساختار قلب در انسان‌ها پس از سه هفته گذران از دوران حاملگی [۲۳] به‌عنوان یک مدل مناسب برای مطالعه نارسایی‌ها و اختلالات قلبی عروقی در انسان می‌باشد. با توجه به ساختار ابتدایی‌تر کلیه نسبت به سایر مهره‌داران با درجه تکامل بالاتر بسیاری از عملکردها و مراحل رشد و عملکرد در ساختار کلیه ماهی زبرا شبیه به سایر مهره‌داران رده‌های بالاتر می‌باشد که یک سیستم ساده و در دسترس را برای انجام مطالعات مربوط به اختلالات کلیوی فراهم و مقدور می‌سازد [۲۴]. ماهی زبرا همچنین در مطالعه تنظیمات هومئوستازی پایداری انرژی و کنترل فعالیت‌های سوخت و سازی بدن استفاده می‌گردد [۷]. در مطالعه و اختراع انواع داروها جهت درمان بیماری‌های کبد چرب، تصلب شرایین، دیابت نوع ۲، چاقی و هم به‌عنوان گونه مدل استفاده می‌شود [۷].

ماهی زبرا به‌عنوان یک‌گونه مدل در مطالعات رفتارشناسی

علاوه‌بر کاربرد ماهی زبرا به‌عنوان گونه مدل در علوم مختلف، همچنین این‌گونه به‌طور گسترده‌ای در انجام مطالعات زیست‌شناسی و رفتارشناسی استفاده می‌شود. این‌گونه به‌عنوان مدل رفتاری امکان درک کنترل عصبی و ژنتیکی الگوهای رفتاری وابسته به جنس و گونه مرتبط با تغذیه و همچنین اجتناب از گونه‌های شکارگر را فراهم نماید [۲۵]. علاوه‌بر این محرک‌های زیستی و غیرزیستی از طریق کانال‌های مختلف ادراکی دریافت شده و پاسخ‌های رفتاری به آنها داده می‌شود که در بسیاری از موارد این الگوها در سایر گونه‌های جانوری مشاهده شده و قابل تفسیر می‌باشد.

پاسخ‌های رفتاری مرتبط با بویایی

تقریباً تعداد ۸۰۰۰ گونه از ماهیان استخوانی (فوق رده Ostariophysi) که بیشتر آنها در آب‌های شیرین پراکنش دارند در ساختار پوست خود دارای سلول‌هایی هستند که ترکیبات شیمیایی و عصاره مرتبط با ترس و هشدار را ترشح می‌نمایند

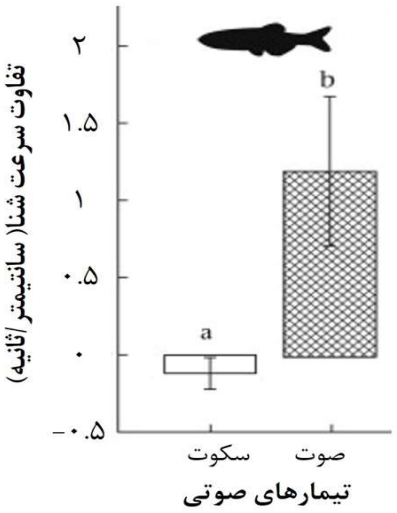
[1] in vivo

[۲۶]. در یک مطالعه رفتارشناسی در محیط طبیعی با استفاده از فیلم‌برداری در زیرآب پاسخ‌های رفتاری جمعیت‌های ماهی مینو اروپایی (کوهستان) در پاسخ به هشدارهای شیمیایی ناشی از ترس بررسی شده است [۲۷]. با توجه به اینکه ماهی زبرا در بیست‌روزگی پس از تبدیل تخم به لارو (تفریخ) حساسیت‌پذیری ذاتی خود را نسبت به فرومون‌های شیمیایی آزادشده مرتبط با هشدار و ترس نشان می‌دهند که برای انجام مطالعات اجتناب از خطر در مراحل اولیه زیستی قابل‌توجه می‌باشند [۲۸]. علاوه‌بر این، مطالعات نشان داده است که ماهی زبرا نیز می‌تواند محرک‌های بویایی جدید را با حضور فرومون‌های شیمیایی محرک هشدار و ترس مرتبط نموده و یک نمونه الگو برای انجام مطالعات مربوط به حافظه و یادگیری باشد [۲۹]. همچنین در مطالعات دیگر بیان‌شده است که سایر گونه‌های ماهی‌ها نیز توانایی پاسخ به فرومون‌های شیمیایی حاصله از گونه‌های شکارگر و یا ناشی از بافت‌های آسیب‌دیده گونه‌های شکار محیط اطراف خود را داشته و پاسخ‌های رفتاری متناسب جهت مقابله با شکارگری را نشان می‌دهند. به‌طوری‌که منجر به کاهش فعالیت‌های تغذیه‌ای، افزایش تراکم و تجمعات گروهی، کاهش سرعت شنا و عدم تحرک می‌گردد [۳۲-۳۰]. در مقالات مروری به‌طور مبسوط به بررسی کاربرد علائم هشداردهنده شیمیایی در روابط شکار شکارگری گونه‌های جانوری آبزی پرداخته شده است [۳۳، ۳۴].

پاسخ‌های رفتاری مرتبط با شنوایی

ماهی زبرا از دسته ماهیان استخوانی می‌باشد که از نظر شنوایی در گروه ماهیان با شنوایی عالی دسته‌بندی می‌گردد [۳۵]. با توجه به افزایش پیوسته فعالیت‌های انسانی و درنتیجه افزایش سطوح اصوات زمینه در منابع آبی زیستگاه‌های طبیعی آبزیان، مطالعه رفتارشناسی و بررسی اثرات بالقوه این آلاینده زیست‌محیطی امری لازم و ضروری می‌باشد [۳۶]. همچنین با توجه به اینکه بسیار از گونه‌های جانوری برای مطالعات در علوم مختلف در محیط‌های آزمایشگاهی و لابراتوارهای تخصصی نگهداری می‌شوند، اهمیت بررسی سطح رفاه این‌گونه‌های جانوری نیز حائز اهمیت می‌باشد [۳۷، ۳۸]. ماهی زبرا به‌عنوان یک‌گونه مدل برای اندازه‌گیری سطوح رفاه نیز به‌طور گسترده‌ای مورداستفاده قرار می‌گیرد [۳۹].

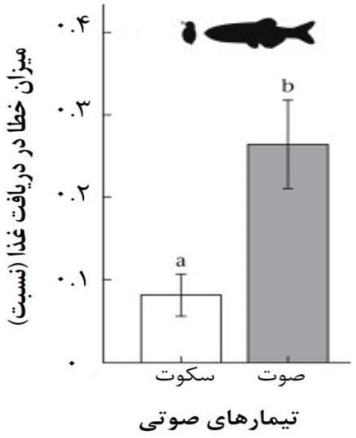
در مطالعات قبلی نویسنده مقاله نشان داده‌شده است که اصوات ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌تواند باعث ایجاد استرس و تغییرات رفتار شناگری ماهی زبرا گردد که به‌صورت افزایش تعداد حرکت انفجاری[1] و تغییر در رفتار شناگری کوتاه‌مدت شامل افزایش سرعت شنا هم‌زمان با پخش اصوات (شکل ۲) بیان می‌گردد [۴۰]. اصوات همچنین می‌توانند اثرات منفی بر رفتار شکارگری و راندمان تغذیه‌ای این‌گونه نیز (شکل ۳) داشته باشد [۴۰، ۴۱]. لازم به ذکر است که ماهی زبرا همانند سایر گونه‌های جانوری برای اطلاع و به‌دست آوردن درک بهتر از محیط اطراف خود [۴۲] از محرک‌ها و حسگرها مختلف حواس خود استفاده می‌کند که همین موضوع بیانگر پیچیدگی بیشتر و نیاز مبرم به مطالعه اثرات زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های انسانی بر این‌گونه‌ها به‌صورت تجمعی می‌باشد [۴۲، ۴۳]. مطالعات قبلی نشان داده که گونه‌های ماهی‌ها به‌صورت کاملاً اختصاصی به محرک‌های استرس‌زا پاسخ داده و حتی در سطح یک‌گونه هم می‌تواند این پاسخ‌ها به‌صورت گسترده‌ای متفاوت باشد و اثرات این دسته از محرک‌ها به‌راحتی قابل پیش‌بینی و



شکل۲: اثر صوت بر رفتار شناگری ماهی زبرا. با پخش صوت میزان سرعت شنای ماهی زبرا نسبت به تیمار سکوت (شاهد) به‌طور معنی‌داری بیشتر می‌گردد. شکل با اجازه و اقتباس‌شده از [۴۰].

[1] Startle response

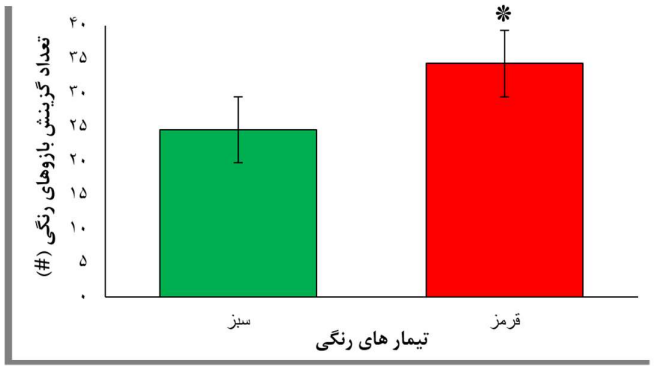
مقایسه نمی‌باشد [۳۶]. تغییر رفتار و فعالیت‌های ماهی درنتیجه آلودگی‌های محیطی ناشی از فعالیت‌های انسانی هم در سطح انفرادی و به‌طور گسترده‌تر در سطوح جمعیت‌ها و اجتماعات جانوری تأثیرات گسترده و در برخی موارد غیرقابل‌جبران در سطح اکوسیستم‌های خشکی و آبی خواهد داشت [۳۶].



شـــکل۳: اثر صـــوت بر رفتار تغذیه‌ای ماهی زبرا. با پخش صوت میزان خطای ماهی زبرا در دریافت ماده غذایی نسبت به تیمار سـکوت (شـاهد) به‌طور معنی‌داری بیشـتر می‌گردد. شکل با اجازه و اقتباس‌شده از [۴۰].

پاسخ‌های رفتاری مرتبط با بینایی

ماهی زبرا دارای قدرت بینایی خوبی می‌باشد به‌طوری‌که در روز سوم بعد از لقاح توانایی پاسخ‌گویی به محرک‌های بینایی را دارند [۴۴]. نشان داده‌شده است که ماهی زبرا توانایی تشخیص بینایی و تمایز بین رنگ‌ها و ارتباط آن با دریافت غذا را دارد [۴۵]. در مطالعات انجام‌شده در خصوص ترجیحات رنگی در ماهی زبرا نشان داده‌شده است که این‌گونه در مراحل لاروی و بلوغ دارای ترجیحات رنگی می‌باشد [۴۶]. در تحقیقات قبلی بیان‌شده است که بیشینه توانایی دریافت رنگ‌ها در ماهی زبرا در دامنه طول‌موج رنگ‌های بنفش، آبی، سبز و قرمز می‌باشد [۴۷]. همچنین در خصوص مکانیسم‌های یادگیری و ارزیابی حافظه ماهی زبرا به‌عنوان گونه مدل شناخته‌شده می‌باشد و مطالعات زیادی توسط متخصصین رفتارشناسی در خصوص توسعه تئوری یادگیری و حافظه در این‌گونه انجام گرفته است [۴۵، ۴۸]. تمایلات رنگی در ماهی زبرا می‌تواند به شرایط محیط زندگی، ژنتیک، مراحل رشد، رنگ‌های مرتبط با احساس خطر و تغذیه‌ای مرتبط باشد [۴۷، ۴۹].



شکل۴: تعداد دفعات گزینش بازوهای رنگی (سبز و قرمز) در ماهی زبرا در شرایط آزمایشگاهی. تعداد ماهی در هر یک از گروه‌های رنگی ۸ قطعه بوده است(N:8) . علامت * بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری در سطح $P<0.05$ می‌باشد (با اجازه و اقتباس از شفیعی ثابت و همکاران، ۱۳۹۹).

نتیجه‌گیری

در اینجا نویسندگان لازم می‌دانند که نکاتی را در خصوص استفاده از گونه‌های جانوری به‌عنوان مدل در مطالعات تحت شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی یادآوری نماید. بررسی و در نظر گرفتن نیازها و خواسته‌های گونه‌های جانوری در قالب عنوان «رفاه جانوران آزمایشگاهی» به‌عنوان یک روش و شیوه‌ای استاندارد دارای اهمیت می‌باشد [۵۰]. به‌طوری‌که عدم رعایت اصول و

چارچوب‌های اولیه رفاه جانوری به‌ویژه در شرایط اسارت می‌تواند تا حد زیادی بر نتایج آزمایش‌ها و مطالعات پژوهشگران [۵۱] و همچنین تجزیه‌وتحلیل آنها از یافته‌هایشان در عرصه‌های مختلف تحقیقاتی تأثیرگذار باشد [۵۲]. در نظر گرفتن حداقل رفاه لازم هم ازنظر اصول اخلاقی، هم ازنظر دینی و همچنین ازنظر ثابت نگه‌داشته و پایداری شرایط نگهداری گونه‌های جانوری برای انجام مطالعات آزمایشگاهی امری ضروری می‌باشد. برخی محققین به بررسی شرایط لازم و موردنیاز جهت تأمین رفاه برای ماهی زبرا در شرایط آزمایشگاهی پرداخته‌اند [۳۹، ۵۳]. با توجه به اینکه توسعه علوم نوین و گسترش مرزهای دانش از اولویت‌های برنامه‌های آموزشی و پژوهشی دانشگاه‌ها می‌باشد، نویسندگان این مقاله انجام مطالعات پژوهشی بیشتر درزمینه بررسی ماهی زبرا به‌عنوان یک‌گونه با پتانسیل بالا و ظرفیت کافی در انجام مطالعات علوم زیستی و رفتارشناسی و تهیه الگوهای رفتاری و مقایسه‌ای جانوری را پیشنهاد می‌نمایند. همچنین با توجه به شباهت‌های بالای ژنتیکی این‌گونه با انسان و مزیت‌های بیان‌شده به‌عنوان ابزاری مناسب در جهت بررسی مکانیسم‌های یادگیری، حافظه و اختلالات مرتبط با فراموشی در انسان‌ها پیشنهاد می‌گردد.

تشکر و قدردانی

احتراماً از پیشنهادهای جناب آقای دکتر موسوی موحدی که موجب ارتقا و بهبود کیفیت محتوای متنی این مقاله شد تشکر و قدردانی می‌نماییم. از زحمات داوران محترم مقاله که با مرور با دقت مقاله، نظرات و اصلاحات خواسته‌شده آنها موجب افزایش همبستگی و ساختار مقاله گردید، تشکر می‌گردد. همچنین از سرکار خانم‌ها موسوی صانع و علیقلی‌زاده و جناب آقای محسن‌پور که در تهیه و آماده‌سازی فایل‌های ویدئویی ضمیمه همکاری داشتند قدردانی می‌گردد.

لینک فایلهای ویدئویی ضمیمه

1) https://www.dropbox.com/s/8mpjx3s6wewg30q/Zebrafish%20startle%20response.MOV?dl=0 (فایل با اجازه برگرفته و اقتباس از [۴۰])
2) http://uupload.ir/view/3ick_zebrafish_acclimatization_in_the_start_box.mp4/
3) http://uupload.ir/view/j7d_zebrafish_colour_preference_test.mp4/

منابع و مؤاخذ

[1]. Spence, R., Fatema, M. K., Reichard, M., Huq, K. A., Wahab, M. A., Ahmed, Z. F., & Smith, C. (2006). The distribution and habitat preferences of the zebrafish in Bangladesh, Fish Biol., Vol.69, No.5, PP.1435–1448.
[2]. Laale, H. W. (1977). The biology and use of zebrafish, Brachydanio rerio in fisheries research. A literature review, Fish Biol., Vol.10, No.2, PP.121-173.
[3]. Haffter, P., Granato, M., Brand, M., Mullins, M.C., Hammerschmidt, M., Kane, D.A., Odenthal, J., Van Eeden, F.J., Jiang, Y.J., Heisenberg, C.P. and Kelsh, R.N. (1996). The identification of genes with unique and essential functions in the development of the zebrafish, Danio rerio, Development, Vol. 123, No.1, PP. 1–36.
[4]. Lawrence, C. (2007). The husbandry of zebrafish (Danio rerio): A review, Aquaculture, Vol. 269, PP. 1–20.
[5]. M. Westerfield, “The Zebrafish Book. A Guide for the Laboratory Use of Zebrafish (Danio rerio), 5th Edition,” Univ. Oregon Press. Eugene, 2007.
[6]. Streisinger, G., Walker, C., Dower, N., Knauber, D., & Singer, F. (1981). Production of clones of homozygous diploid zebra fish (Brachydanio rerio), Nature, Vol.291, No.5813, PP.293-296.
[7]. Seth, A., Stemple, D. L., & Barroso, I. (2013). The emerging use of zebrafish to model metabolic disease, DMM Dis. Model. Mech, Vol. 6, No. 5, PP. 1080–1088.
[8]. Kimmel, C. B. (1989). Genetics and early development of zebrafish. Trends in Genetics, No.5, PP.283-288.
[9]. M. Granato and C. Nüsslein-Volhard. (1996). Fishing for genes controlling development, Curr. Opin. Genet. Dev., Vol.6, No.4, PP.461-468.
[10]. Grunwald, D. J., & Eisen, J. S. (1996). Headwaters of the zebrafish - emergence of a new model vertebrate, Nature Reviews Genetics. Vol.3, No.9, PP.717-724.
[11]. R. Gerlai, M. Lahav, S. Guo, and A. Rosenthal. (2000). Drinks like a fish: Zebra fish (Danio rerio) as a behavior genetic model to study alcohol effects, Pharmacol. Biochem. Behav, No.4, PP.773-782.
[12]. Briggs, J. P. (2002). The zebrafish: a new model organism for integrative physiology. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, Vol.282, No.1, R3-R9.
[13]. Spence, R., Fatema, M. K., Reichard, M., Huq, K. A., Wahab, M. A., Ahmed, Z. F., & Smith, C. (2006). The distribution and habitat preferences of the zebrafish in Bangladesh, Fish Biol, Vol.69, No.5, PP.1435–1448.
[14]. K. Dooley and L. I. Zon. (2000). Zebrafish: A model system for the study of human disease, Current Opinion in Genetics and Development. Vol.10, No.3, PP.252-256.
[15]. W. Driever, D. Stemple, A. Schier, and L. Solnica-Krezel. (1994). Zebrafish: genetic tools for

fish to recognize chemical cues of a predator. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, Vol.55, No.3, PP.611-617.
[31]. Brown, G. E., & Godin, J. G. J. (1999). Chemical alarm signals in wild Trinidadian guppies (Poecilia reticulata). Canadian Journal of Zoology, Vol.77, No.4, PP.562-570.
[32]. Brown, G. E., LeBlanc, V. J., & Porter, L. E. (2001). Ontogenetic changes in the response of largemouth bass (Micropterus salmoides, Centrarchidae, Perciformes) to heterospecific alarm pheromones. Ethology, Vol.107, No.5, PP.401-414.
[33]. Chivers, D. P., & Smith, R. J. F. (1998). Chemical alarm signalling in aquatic predator-prey systems: a review and prospectus. Ecoscience, Vol.5, No.3, PP.338-352.
[34]. Chivers, D. P., Brown, G. E., & Smith, R. J. F. (1996). The evolution of chemical alarm signals: attracting predators benefits alarm signal senders. The American Naturalist, Vol.148, No.4, PP.649-659.
[35]. Higgs, D. M., Souza, M. J., Wilkins, H. R. Presson, J. C., and Popper, A. N. (2002). Age- and size-related changes in the inner ear and hearing ability of the adult zebrafish (Danio rerio), JARO - J. Assoc. Res. Otolaryngol, Vol. 3, No. 2, PP.174–184.
[36]. Shafiei Sabet, S., Y. Y. Neo, and H. Slabbekoorn. (2016). Impact of anthropogenic noise on aquatic animals: From single species to community- level effects, in Advances in Experimental Medicine and Biology, PP. 957-961.
[37]. Sneddon, L. U., Lopez-Luna, J., Wolfenden, D. C., Leach, M. C., Valentim, A. M., Steenbergen, P. J., ... & Brown, C. (2018). Fish sentience denial: Muddying the waters. Animal Sentience, Vol.3, No.21, P.1.
[38]. Shafiei Sabet, S., Wesdorp, K., van Dooren, D., & Slabbekoorn, H. (2016, July). Sound affects behavior of captive zebrafish: always consider the potential for acoustic effects on your laboratory tests. Acoustical Society of America., Vol.27, No.1, P.010010.
[39]. White, L. J., Thomson, J. S., Pounder, K. C., Coleman, R. C., & Sneddon, L. U. (2017). The impact of social context on behaviour and the recovery from welfare challenges in zebrafish, Danio rerio. Animal Behaviour, Vol.132, PP.189-199.
[40]. Shafiei Sabet, S., Y. Y. Neo, and H. Slabbekoorn. (2015). The effect of temporal variation in sound exposure on swimming and foraging behaviour of captive zebrafish, Animal Behaviour, Vol. 107, PP. 49–60.
[41]. Shafiei Sabet, S., K. Wesdorp, J. Campbell, P. Snelderwaard, and Slabbekoorn, H. (2016). Behavioural responses to sound exposure in captivity by two fish species with different hearing ability, Journal of Anim. Behav, Vol. 116, PP. 1–11.
[42]. Halfwerk, W. and Slabbekoorn, H., (2015). Pollution going multimodal: the complex impact of the human-altered sensory environment on animal perception and performance. Biology letters, Vol.11, No.4, PP.20141051.
studying vertebrate development, Trends in Genetics. Vol.10, No. 5, PP.152-159.
[16]. Nüsslein-Volhard, C., & Wieschaus, E. (1980). Mutations affecting segment number and polarity in Drosophila. Nature, Vol.287, No.5785, PP.795-801.
[17]. K. Howe et al., “The zebrafish reference genome sequence and its relationship to the human genome,” Nature, 2013.
[18]. Hill, A. J., Teraoka, H., Heideman, W., & Peterson, R. E. (2005). Zebrafish as a model vertebrate for investigating chemical toxicity. Toxicological sciences, Vol.86, No.1, PP.6-19.
[19]. Jönsson, M. E., Brunström, B., & Brandt, I. (2009). The zebrafish gill model: Induction of CYP1A, EROD and PAH adduct formation. Aquatic toxicology, Vol.91, No.1, PP.62-70.
[20]. S. Scholz, S. Fischer, U. Gündel, E. Küster, T. Luckenbach, and D. Voelker. (2008). The zebrafish embryo model in environmental risk assessment - Applications beyond acute toxicity testing, Environ. Sci. Pollut. Res, Vol. 15, No. 5, PP. 394–404.
[21]. Amatruda, J. F., & Zon, L. I. (1999). Dissecting hematopoiesis and disease using the zebrafish. Developmental biology, Vol.216, No.1, PP.1-15.
[22]. Gehrig, J., Reischl, M., Kalmár, É., Ferg, M., Hadzhiev, Y., Zaucker, A., Song, C., Schindler, S., Liebel, U. and Müller, F. (2009). Automated high-throughput mapping of promoter-enhancer interactions in zebrafish embryos. Nature methods, Vol.6, No.12, PP.911.
[23]. Warren, K. S., & Fishman, M. C. (1998). Physiological genomics: mutant screens in zebrafish. American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology, Vol.275, No.1, H1-H7.
[24]. Drummond, I.A., Majumdar, A., Hentschel, H., Elger, M., Solnica-Krezel, L., Schier, A.F., Neuhauss, S.C., Stemple, D.L., Zwartkruis, F., Rangini, Z. and Driever, W., (1998). Early development of the zebrafish pronephros and analysis of mutations affecting pronephric function. Development, Vol.125, No.23, PP.4655-4667.
[25]. Miklósi, Á., & Andrew, R. J. (2006). The zebrafish as a model for behavioral studies. Zebrafish, Vol.3, No.2, PP.227-234.
[26]. Wisenden, B. D., Vollbrecht, K. A., & Brown, J. L. (2004). Is there a fish alarm cue? Affirming evidence from a wild study. Animal Behaviour, Vol.67, No.1, PP.59-67.
[27]. Magurran, A. E., Irving, P. W., & Henderson, P. A. (1996). Is there a fish alarm pheromone? A wild study and critique. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, Vol.263, No.1376, PP.1551-1556.
[28]. Pfeiffer, W. (1963). Alarm substances. Experientia, Vol.19, No.3, PP.113-123.
[29]. Hall, D., & Suboski, M. D. (1995). Visual and olfactory stimuli in learned release of alarm reactions by zebra danio fish (Brachydanio rerio). Neurobiology of learning and memory, Vol.63, No.3, PP.229-240.
[30]. Brown, G. E., & Smith, R. J. F. (1998). Acquired predator recognition in juvenile rainbow trout (Oncorhynchus mykiss): conditioning hatchery-reared

[43]. Shafiei Sabet, S., Van Dooren, D., and Slabbekoorn, H. (2016). Son et lumiere: Sound and light effects on spatial distribution and swimming behavior in captive zebrafish. Environmental pollution, Journal of Environmental pollution, Vol.212, PP.480-488.
[44]. Easter Jr, Stephen S., and Gregory N. Nicola. (1996). The development of vision in the zebrafish (Danio rerio). Journal of Developmental biology, Vol.180. No.2, PP.646-663.
[45]. Colwill, R. M., Raymond, M. P., Ferreira, L., & Escudero, H. (2005). Visual discrimination learning in zebrafish (Danio rerio), Behavioural Processes, Vol.70, No.1, PP.19-31.
[46]. Peeters, B. W. M. M. Moeskops, M. and Veenvliet A. R. J. (2016). Color Preference in Danio rerio: Effects of Age and Anxiolytic Treatments, Zebrafish, Vol. 13, No. 4, PP. 330–334.
[47]. Spence R. and Smith C. (2008). Innate and learned colour preference in the zebrafish, Danio rerio, Ethology, Vol. 114, No. 6, PP. 582–588.
[48]. Williams, F. E., White, D. and Messer, W. S. (2002). A simple spatial alternation task for assessing memory function in zebrafish, Behav. Processes, Vol. 58, No. 3, PP. 125–132.
[49]. Roberts, A. C., Bill, B. R., & Glanzman, D. L. (2013). Learning and memory in zebrafish larvae. Frontiers in neural circuits, Vol.7, No.126.
[50]. Broom, D. M. (1991). Animal welfare: concepts and measurement. Journal of animal science, Vol.69, No.10, PP.4167-4175.
[51]. Fraser, D. (2008). Understanding animal welfare. Acta Veterinaria Scandinavica, Vol.50, No.1, S1.
[52]. Broom, D. M. (1988). The scientific assessment of animal welfare. Applied Animal Behaviour Science, Vol.20, No.1-2, PP.5-19.
[53]. Sneddon, L. U. (2006). Ethics and welfare: pain perception in fish. in Bulletin of the European Association of Fish Pathologists.