فیزیولوژی و بیوتکنولوژی آبزیان
سال سیزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

اثرات به کارگیری غذاهای زنده هنگام گذار به غذای فرموله بر شاخص‌های رشد و ترکیب آمینواسیدهای لارو فیل‌ماهی (*Huso huso*)

DOI: 10.22124/japb.2024.27604.1543

سهیل یوسفی[۱]، حمید علاف نویریان[۲]، مجیدرضا خوش‌خلق[۲]*، ذبیح‌اله پژند[۳]، مریم منصف شکری[۴]

تاریخ دریافت: خرداد ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۴۰۳

چکیده

در مطالعه حاضر، اثر عادت‌دهی به جیره‌های فرموله با استفاده از غذای زنده بر عملکرد رشد و محتوای آمینواسیدهای لارو فیل‌ماهی (*Huso huso*) بررسی شد. لاروهای فیل‌ماهی با میانگین وزن اولیه ۰/۰۱±۰/۴۴ گرم در ۱۲ مخزن فایبر گلاس به طور تصادفی توزیع شدند. فرایند عادت‌دهی طی ۴۲ روز با استفاده از انواع غذای زنده شامل لارو منجمد شیرونومید (CH)، زی‌توده منجمد آرتمیا (A)، مخلوطی از زی‌توده آرتمیا و شیرونومید (M) انجام شد. همچنین، لاروها در گروه D در تمامی طول دوره تنها با جیره فرموله تغذیه شدند. هر شش روز یک‌بار به میزان ۱۶/۶ درصد از غذای زنده مصرفی کاسته و به میزان غذای فرموله اضافه شد. در پایان دوره، شاخص‌های رشد، میزان بقا و پروفایل آمینواسیدهای لاروها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که وزن نهایی و وزن به دست آمده در گروه D و CH به طور معنی‌داری بالاتر از گروه‌های دیگر بود (P<۰/۰۵). بالاترین درصد زنده‌مانی متعلق به گروه‌های CH (۹۸/۳۳ درصد) و M (۹۵ درصد) بود (P<۰/۰۵). آمینواسیدهای ضروری لوسین و متیونین در تیمار CH بالاتر از تیمارهای دیگر بود (P<۰/۰۵). همچنین با وجود معنی‌دار نبود تفاوت‌ها، بالاترین میزان آمینواسید ترئونین در بین تیمارهای تغذیه شده با غذای زنده و کمترین مقدار مجموع آمینواسیدهای ضروری بین همه تیمارها در گروه CH مشاهده شد (P>۰/۰۵). بر اساس نتایج به دست آمده، استفاده از لارو شیرونومید به دلیل اثرات مثبت بر رشد و ترکیب آمینواسیدهای بدن برای عادت‌پذیری به جیره فرموله در لارو فیل‌ماهی توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: *فیل‌ماهی، عادت‌دهی، شیرونومید، آرتمیا، لارو.*

۱- دانشجوی دکتری تکثیر و پرورش، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.
۲- دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.
۳- دانشیار بخش آبزی‌پروری، انستیتو تحقیقات بین المللی ماهیان خاویاری، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، رشت، ایران.
۴- استادیار بخش فیزیولوژی و بیوشیمی، انستیتو تحقیقات بین المللی ماهیان خاویاری، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، رشت، ایران.
* نویسنده مسئول: majidreza@guilan.ac.ir

مقدمه

امروزه، دستیابی به اهداف آبزی‌پروری پایدار و توسعه آن، مستلزم توجه به بیوتکنیک تولید گونه‌های بومی سازگار به شرایط هر منطقه جغرافیایی است (Kalbassi et al., 2013; Wang et al., 2015; Teletchea, 2019). از جمله این گونه‌ها، اعضای خانواده تاس‌ماهیان (Acipenseridae) هستند که امروزه ذخایر آنها به دلایل مختلفی مانند صید بیش از حد، عدم حفاظت، آلودگی‌های شدید زیست‌محیطی، ساخت سد بر روی رودخانه‌ها و بستر تولیدمثلی با محدودیت روبه‌رو شده است (Hurvitz etal., 2007; Vasilyeva et al., 2019)، به طوری که بسیاری از آنها در فهرست گونه‌های در معرض خطر انقراض قرار گرفته‌اند (IUCN, 2022). کاهش شدید مولدین در محیط‌های طبیعی و به دنبال آن کاهش عرضه خاویار به بازار مصرف داخلی و بازارهای جهانی، توجه آبزی‌پروران را برای تولید گوشت و خاویار تحت شرایط اسارت به خود جلب کرده است. در حال حاضر، ۲۷ گونه از تاس‌ماهیان در آب‌های نیمکره شمالی وجود دارند و دریای خزر به عنوان مخزن بزرگی از انواع مختلف این ماهیان دربرگیرنده ۵ گونه مهم از تاس‌ماهیان بوده و تجارب ارزنده‌ای در زمینه پرورش و تکثیر سبب شده است که طرح پرورش ماهی در شرایط متراکم با بهره‌گیری از غذای دستی در کشور شکل گیرد (Adeli and Namdar, 2015).

فیل‌ماهی یا بلوگا (*Huso huso*) یکی از گونه‌های مهم حوضه خزر بوده که دارای یکی از ارزشمندترین نوع خاویارها در جهان است. در سال‌های اخیر، بنا به دلایل یاد شده، میزان صید این گونه در جهان به میزان چشمگیری کاهش یافته است. (Graham and Murphy, 2007; Fazli et al., 2020). فیل‌ماهی با وجود شرایط دشوار تکثیر در شرایط طبیعی، تحت شرایط اسارت رشد بالایی دارد و قادر به تکثیر مصنوعی است (Chebanov and Galich, 2011). تولید بچه‌ماهی این گونه با کیفیت به منظور استفاده در بازسازی ذخایر و مقاصد تجاری، همواره یکی از چالش‌های تکثیر و پرورش این گونه بوده است.

مهم‌ترین چالش تکثیر و پرورش این ماهی، پرورش در دوره لاروی است که میزان مرگ و میر گاهی به ۸۰ درصد نیز می‌رسد (Asgari et al., 2013). از این رو، فراهم‌سازی مواد مغذی که پاسخگوی نیازهای تغذیه‌ای باشد، یکی از موارد کلیدی در زمینه رشد، تکامل و

بقای موفق آنها است (Gisbert et al., 2016). فیل‌ماهی در دوران لاروی از غذاهای زنده مختلفی تغذیه می‌کند که از جمله مهم‌ترین آنها جنس *Artemia* است. گزارش‌های فراوانی به مزایای کاربرد و ارزش غذایی زی‌توده آرتمیا در تغذیه مراحل لاروی تاس‌ماهیان اشاره دارند (Agh et al., 2013; Najdegerami et al., 2015; Kolman and Kapusta, 2018). برای مثال گفته می‌شود که گونه‌های مختلف آرتمیا دربردارنده مجموعه‌ای از اسیدهای چرب ضروری شامل لینولنیک اسید، ایکوزاپنتانوئیک اسید و دکوزاهگزانوئیک اسید هستند (Sorgeloos et al., 2001). علاوه بر این، لارو شیرونومید (کرم خونی)، یکی دیگر از غذاهای زنده شناخته شده در بیشتر کشورها است و در اغلب اکوسیستم‌های آب شور و شیرین گسترش دارد. ارزش غذایی بالای لاروهای شیرونومید شامل مقادیر بالای پروتئین (حدود ۵۵/۷ درصد وزن خشک) و حضور آمینواسیدهای ضروری، آنها را به غذای مناسبی برای اغلب ماهیان و بویژه ماهیان خاویاری مبدل ساخته است (Volkman et al., 2004). با این حال، تولید و دسترسی به غذای زنده اغلب هزینه زیادی به پرورش‌دهندگان تحمیل می‌کند (Buddington and Doroshov, 1984) و مطالعات و بررسی‌ها نشان داده‌اند که بسیاری از غذاهای زنده با وجود ویژگی‌های مطلوب، دارای کمبودهایی نیز از نظر برخی مواد مغذی و ویتامین‌ها هستند. از طرفی، مسئله مهم در طول دوره گذار از غذای زنده به فرموله، ارزیابی تغییرات ایجاد شده در سطح فیزیولوژی، بافت‌شناسی و مولکولی در لارو است که می تواند در درک بیشتر تکامل اونتوژنی و انتخاب استراتژی مناسب تغذیه‌ای و زمان مناسب گذار در جهت افزایش بقا و رشد فیل‌ماهی کارساز باشد، زیرا عدم سازگاری و طولانی شدن این مرحله سبب بروز مشکلات جبران‌ناپذیری طی مراحل بعدی چرخه زندگی این گونه از ماهیان مانند غیریکنواختی اندازه، کاهش رشد و حتی همنوع‌خواری می‌شود (Dabrowski et al., 1985; Mohseni et al., 2012; Agh et al., 2013). مطالعات مختلفی به بررسی اهمیت تغذیه لاروی و به‌کارگیری انواع غذای زنده در این دوره از زندگی تاس‌ماهیان پرداخته‌اند (Noori et al, 2011; Mohseni et al., 2012; Valentine et al., 2017). در مطالعه‌ای، Williot و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی تغذیه تاس‌ماهی اروپایی با شیرونومید و

ناپلی آرتمیا و گذار به دو جیره فرموله مختلف طی بازه‌های زمانی متنوع (۳ تا ۴۰ روز) پرداختند و نتایج آنها نشان داد که عملکرد رشد و بقا در گروه تغذیه شده با ناپلی آرتمیا و عادت‌دهی شده در بازه‌های ۲۰ و ۴۰ روزه، به طور معنی‌داری بهتر از گروه‌های دیگر بود. Ghorbani Vaghei و همکاران (۲۰۲۳) دریافتند که استفاده از شیرونومید و آرتمیا در تغذیه مرحله گذار لارو فیل‌ماهی می‌تواند موجب بهبود شاخص‌های رشد و ترکیبات شیمیایی لاشه شود. در پژوهشی به ارزیابی ترکیبات بدن و شاخص‌های رشد لارو تاس‌ماهی ایرانی تغذیه شده با انواع غذای زنده به مدت ۱۱ روز پرداخته شد که طی این پژوهش بیشترین وزن نهایی و بالاترین مقادیر اسیدهای چرب EPA و n3 در گروه تغذیه شده با ترکیب آرتمیا و دافنی مشاهده شد (Efatpanah et al., 2024). همچنین، با توجه به تاثیر بازه زمانی مرحله گذار از غذای زنده به فرموله، تاکنون مطالعه متمرکزی در زمینه به کارگیری راهبردهای مختلف عادت دهی با غذای زنده طی مرحله گذار به غذای فرموله در یک بازه زمانی طولانی‌تر در لارو فیل ماهی انجام نپذیرفته است.

با توجه به اهمیت بالای فیل‌ماهی در تولید گوشت و خاویار، به کارگیری تکنیک‌های پرورشی مناسب در دوران لاروی و بررسی سازوکارهای مختلف متابولیکی و فیزیولوژیکی بویژه در دوران گذار لارو از غذای زنده به غذای فرموله از مهم‌ترین مسائل مرتبط در مراکز تکثیر است تا بتوان این ماهیان را در اندازه انگشت‌قد برای پرورش و بازسازی مورد استفاده قرار داد. از این رو، در مطالعه حاضر به بررسی سازگاری لارو فیل‌ماهی به عنوان یکی از گونه های ارزشمند تاس‌ماهیان با غذاهای زنده شامل لارو شیرونومید، زی‌توده آرتمیا و ترکیب آن دو در فرایند گذار به غذای فرموله بر شاخص‌های رشد و ترکیب آمینواسیدهای بدن طی ۴۲ روز پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

تاییدیه‌های اخلاقی

در این مطالعه، از دستورالعمل‌های کار با جانوران آزمایشگاهی مربوط به کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه گیلان با شناسه مرجع IR.GUILAN.REC.1401.089 برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد.

تهیه لارو فیل‌ماهی و طراحی آزمایش

این مطالعه در بهار ۱۴۰۱ و در انستیتو تحقیقات بین‌المللی ماهیان خاویاری انجام پذیرفت. این پژوهش در چهار تیمار آزمایشی و سه تکرار (جدول ۱)، به مدت ۴۲ روز انجام شد. برای این منظور، ۱۲۰۰ قطعه لارو فیل ماهی (*Huso huso*) با میانگین وزن اولیه ۰/۰۱±۰/۴۴گرم به ۱۲ مخزن فایبرگلاس ۱۱۵ لیتری با قطر ۶۰ سانتی‌متر و حجم آبگیری ۸۰ لیتر در بخش آبزی‌پروری انستیتو منتقل و به شکل تصادفی با تراکم ۱۰۰ قطعه در هر مخزن توزیع شدند.

رژیم‌های غذایی آزمایشی شامل لارو منجمد شیرونومید (پروتئین خام: ۵۲/۰۴ درصد و چربی خام: ۱۳/۷۲ درصد) و زی‌توده منجمد آرتمیا (پروتئین خام: ۵۷/۵۴ درصد و چربی خام: ۱۲/۰۷ درصد) از شرکت گوار کویر آریا (رفسنجان، ایران) خریداری شد و جیره کنسانتره (قطر ۰/۵ میلی‌متر؛ جدول ۲) در انستیتو تحقیقات بین المللی تاس‌ماهیان دریای خزر ساخته شد. شاخص‌های کیفی آب شامل دما، اکسیژن محلول و pH در طول دوره اندازه‌گیری شد و به ترتیب برابر با ۱۸/۵۲±۰/۲۲ درجه سانتی‌گراد، ۹/۲۰±۰/۱۴ میلی‌گرم در لیتر و ۷/۴۶±۰/۰۴ بود. آب مخازن پرورشی با میانگین دبی ۰/۵ لیتر در دقیقه از مخلوط آب رودخانه سفیدرود و چاه تامین و پس از رسوب‌گیری و عبور از فیلترها وارد حوضچه‌های بخش پرورش لارو شد. تیمارهای CH، M و A در شروع دوره به صورت کامل (۱۰۰ درصد) با غذای زنده تغذیه شدند. سپس هر شش روز به میزان ۱۶/۶ درصد از غذای زنده کاسته و به درصد غذای فرموله افزوده شد. دفعات غذادهی روزانه ۱۲ مرتبه طی ۲۴ ساعت (با فاصله هر دو ساعت یک‌بار) بود و درصد غذادهی با غذای زنده و جیره فرموله به ترتیب به میزان ۵۰ درصد و ۱۰-۳ درصد در شبانه‌روز غذای خشک در هر وعده تعیین شد (Mohseni et al., 2012). همچنین تلفات در هر مخزن در ابتدای هر روز جمع‌آوری و شمارش می‌شد.

جدول ۱: مشخصات تیمارهای مختلف آزمایشی طی ۴۲ روز تغذیه لارو فیل‌ماهی (*Huso huso*) برای عادت‌دهی به غذای فرموله

تیمار	تغذیه تا روز ۱۷ پس از تخم‌گشایی	جیره‌های آزمایشی
CH	ناپلی آرتمیا	شیرونومید + جیره فرموله
A	ناپلی آرتمیا	آرتمیا + جیره فرموله

M	ناپلی آرتمیا	آرتمیا + شیرونومید + جیره فرموله
D	ناپلی آرتمیا	جیره فرموله

جدول ۲: اقلام و ترکیب تقریبی جیره فرموله مورد استفاده در عادت‌دهی لارو فیل ماهی (*Huso huso*)

اقلام غذایی	ماده خشک (‰)
پودرماهی	۵۶۰
گلوتن گندم	۵۰
شیرخشک	۵۰
آرد گندم	۶۰
آرد سویا	۶۰
روغن ماهی	۷۰
لکتین سویا	۳۰
ویتامین E	۶
پرمیکس ویتامین	۲۰
پرمیکس معدنی	۱۵
لیزین	۲۰
متیونین	۱۰
مخمر	۲۰
بتافین	۵
تیامین	۴
آگار	۲۰
مجموع	۱۰۰۰
ترکیبات	**ماده خشک** (٪)
پروتئین	۵۵/۵۹
چربی	۲۱/۲۱
رطوبت	۷/۸۳
خاکستر	۱۱/۷۶

بررسی شاخص‌های رشد

پیش از شروع غذادهی در روزهای ۱۷، ۲۷، ۳۸ و ۵۸ پس از تخم‌گشایی، تمامی ماهیان با رعایت احتیاط توسط ترازوی دیجیتال (XB-1200C، Precisa، سوئیس) با دقت ۰/۰۰۱ گرم و تخته زیست‌سنجی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر از نظر وزن و طول کل بررسی شدند و شاخص‌های رشد که شامل وزن نهایی، وزن به دست آمده، نرخ رشد ویژه، میانگین رشد روزانه و ضریب چاقی بودند، محاسبه شدند (Falahatkar, 2015).

سنجش محتوای آمینواسید لارو و غذاها

در پایان دوره عادت‌دهی ۴۲ روزه، ۲۰ گرم نمونه از هر کدام از غذاهای زنده شامل لارو شیرونومید و زی‌توده آرتمیا، جیره خشک و ۱۰ قطعه لارو به طور تصادفی از هرکدام از مخازن صید و تا انجام سنجش محتوای آمینواسیدهای لاشه در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. هیدرولیز اسیدی

نمونه‌ها توسط HCl و تحت اتمسفر نیتروژنی و در ۱۱۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت انجام شد. میزان لارو همگن شده در این مرحله ۲۰ میلی‌گرم به ازای هر میلی‌لیتر اسید بود. ماده به دست آمده ۵۰ بار توسط آب مقطر رقیق‌سازی و پس از عبور از فیلتر ۰/۴۵ میکرومتر در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد برای بررسی‌های بعدی ذخیره شد. نمونه‌ها پس از رقیق‌سازی و سوسپانسیون مجدد توسط امواج صوتی به مدت ۱۵ دقیقه، در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد طی ۱۰ دقیقه در حضور کاتالیزور ACQ تجزیه شدند. جداسازی آمینواسیدها نیز توسط HPLC انجام و در نهایت، غلظت و درصد هر کدام از آمینواسیدها تعیین شد (Cara et al., 2007). به منظور ارزیابی هم‌ترازی محتوای آمینواسید (A/E) لارو و جیره‌های مختلف از رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده شد (Teodosio et al., 2022).

رابطه ۱:

$$A/E = (AA_n / AA_T) \times 1000$$

AA_n: درصد هر کدام از آمینواسیدهای ضروری؛ AA_T: مجموع درصد آمینواسیدهای ضروری.

رابطه ۲:

$$AAR\ (\%) = [(A/E_D - A/E_F) / A/E_F] \times 100$$

AAR: تفاوت نسبی آمینواسیدهای ماهی و جیره؛ A/E_D: ضریب A/E جیره؛ A/E_F: ضریب A/E ماهی.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

مقایسه میانگین داده‌ها پس از بررسی نرمال بودن آنها توسط روش Kolmogorov-Smirnov و همگنی واریانس از طریق آزمون Levene، با استفاده از تحلیل واریانس یک طرفه (One-way ANOVA) و پس‌آزمون توکی در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P<0/05$) انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Microsoft Excel 2010 انجام گرفت.

نتایج

شاخص‌های رشد

نتایج بررسی شاخص‌های رشد لاروهای فیل‌ماهی در تیمارهای مختلف در جدول ۳ آمده است. بر این اساس، بین گروه‌های آزمایشی از نظر رشد و نرخ بقا اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P<0/05$)، به نحوی که وزن نهایی و وزن به دست آمده در گروه تغذیه شده با جیره فرموله (D) در سراسر دوره به طور معنی‌داری بالاتر از گروه‌های تغذیه

شده با زی‌توده آرتمیا (A) و مخلوط دو غذای زنده آرتمیا و شیرونومید (M) بود (P<۰/۰۵). همچنین، بین دو گروه CH (شیرونومید) و D از نظر این دو شاخص اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵).

جدول ۳: عملکرد رشد لارو فیل‌ماهی پس از گذار از غذاهای زنده به جیره فرموله به مدت ۴۲ روز (میانگین ± خطای استاندارد)

شاخص‌ها	تیمارهای آزمایشی			
	CH	A	M	D
وزن اولیه (گرم)	۰/۴۸±۰/۰۱ ^{a}	۰/۴۲±۰/۰۵ ^{a}	۰/۴۳±۰/۰۴ ^{a}	۰/۴۳±۰/۰۵ ^{a}
وزن نهایی (گرم)	۱۴/۱۹±۲/۷۰ ^{ab}	۱۲/۳۹±۲/۳۱ ^{b}	۹/۹۵±۲/۵۱ ^{b}	۱۸/۱۰±۱/۵۸ ^{a}
طول اولیه (سانتی‌متر)	۴/۰۳±۰/۱۵ ^{a}	۴/۱۰±۰/۱۰ ^{a}	۴/۱۰±۰/۱۰ ^{a}	۴/۱۴±۰/۲۴ ^{a}
طول نهایی (سانتی‌متر)	۱۵/۹۸±۱/۰۸ ^{a}	۱۴/۳۳±۰/۸۳ ^{ab}	۱۳/۲۸±۱/۴۸ ^{b}	۱۴/۹۰±۰/۳۵ ^{ab}
وزن به‌دست آمده (گرم)	۱۳/۷۱±۲/۷۱ ^{ab}	۱۱/۹۷±۲/۳۴ ^{b}	۹/۵۲±۲/۵۰ ^{b}	۱۷/۶۷±۱/۶۳ ^{a}
میانگین رشد روزانه (درصد)	۱۰/۹۴±۰/۲۵ ^{a}	۸/۶۰±۰/۵۷ ^{b}	۷/۳۹±۰/۵۳ ^{b}	۸/۳۱±۰/۰۳ ^{b}
ضریب چاقی	۰/۳۵±۰/۰۱ ^{c}	۰/۴۲±۰/۰۱ ^{b}	۰/۴۲±۰/۰۳ ^{b}	۰/۵۴±۰/۰۱ ^{a}
نرخ بقا (درصد)	۹۸/۳۳±۰/۸۸ ^{a}	۷۷/۰۰±۵/۷۷ ^{b}	۹۵/۰۰±۱/۱۵ ^{a}	۵۳/۵۰±۰/۲۹ ^{c}

در هر ردیف حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف غذایی است (P<۰/۰۵). CH: تغذیه شده با لارو منجمد شیرونومید؛ A: تغذیه شده با زی‌توده منجمد آرتمیا؛ M: تغذیه شده با مخلوطی از لارو منجمد شیرونومید و زی‌توده منجمد آرتمیا؛ D: تغذیه شده با جیره فرموله.

میانگین رشد روزانه در گروه CH به طور معنی‌داری بالاتر از گروه‌های آزمایشی دیگر بود (P<۰/۰۵) و بین سه گروه دیگر از نظر این شاخص اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (P>۰/۰۵). بالاترین میزان ضریب چاقی در گروه D و پایین‌ترین میزان آن در گروه CH ثبت شد (P<۰/۰۵). طول نهایی در گروه M به طور معنی‌داری پایین‌تر از گروه CH بود (P<۰/۰۵)، با این وجود اختلافی با گروه‌های دیگر نشان نداد (P>۰/۰۵). همچنین، نرخ بقا در گروه D به طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای آزمایشی دیگر کاهش یافت (P<۰/۰۵) و بالاترین درصد زنده‌مانی متعلق به

گروه‌های تغذیه شده با لارو شیرونومید و ترکیب شیرونومید و آرتمیا بود.

پروفایل آمینواسید لاشه

بررسی ترکیب آمینواسیدهای لاشه لارو فیل‌ماهی در پایان دوره ۴۲ روزه گذار از غذای زنده به جیره فرموله (جدول ۴) نشان داد که در بین آمینواسیدهای ضروری کمترین و بیشترین درصد ترئونین به ترتیب در تیمارهای D و CH مشاهده شد (P<۰/۰۵). همین طور بین تیمارهای A و M با یکدیگر و تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). تیمارهای CH و A درصد آرژنین بالاتری نسبت به دو تیمار دیگر داشتند (P<۰/۰۵). درصد هیستیدین در سه تیمار آزمایشی CH، A و M به طور معنی داری بالاتر از تیمار D بود (P<۰/۰۵). سطوح آمینواسیدهای والین و تیروزین نیز به ترتیب در تیمارهای M و D به طور معنی‌داری بالاتر از تیمارهای دیگر بود (P<۰/۰۵) و در بین تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). سطح لوسین در تیمار CH پایین‌تر از تیمارهای دیگر بود (P<۰/۰۵)، اما در بین گروه‌های دیگر اختلافی مشاهده نشد (P>۰/۰۵). درصد متیونین لاشه لارو فیل‌ماهی در تیمارهای مختلف از بیشترین به کمترین شامل A، M و CH بود که اختلاف سطوح متیونین در این تیمارها معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). سطح متیونین تیمار D با وجود این که به طور معنی‌داری بیشتر از گروه CH بود، اما با دو تیمار A و M اختلاف معنی‌دار نداشت (P>۰/۰۵). بین تیمارهای CH و A از نظر درصد ایزولوسین اختلافی مشاهده نشد (P>۰/۰۵)، اما بالاترین درصد این آمینواسید در تیمار M مشاهده شد (P<۰/۰۵) و تیمار D با هیچ یک از گروه‌های دیگر اختلاف معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵). کمترین و بیشترین سطوح فنیل‌آلانین به ترتیب در تیمارهای CH و M مشاهده شد که اختلاف این دو گروه با یکدیگر معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). بین درصد فنیل‌آلانین تیمارهای A و D با یکدیگر و تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). سطوح لیزین در هیچ یک از تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵).

در بین آمینواسیدهای غیرضروری درصد آلانین تیمار D و درصد آسپارتیک اسید در تیمار A کمتر از تیمارهای دیگر بود (P<۰/۰۵). گلوتامین در تیمارهای M و D به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار معنی‌دار را

درمقایسه با گروه‌های آزمایشی دیگر داشت (P<۰/۰۵). با این وجود، بین دو تیمار CH و A اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (P>۰/۰۵). لاشه لارو فیل‌ماهی تیمار CH در مقایسه با تیمار A سرین بالاتری داشت (P<۰/۰۵)، اما اختلاف این تیمارها با دو تیمار دیگر معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵). پرولین نیز در گروه M از گروه‌های آزمایشی دیگر سطح بالاتری داشت (P<۰/۰۵).

جدول ۴: ترکیب آمینواسیدهای لاشه لارو فیل‌ماهی پس از گذار از غذاهای زنده به جیره فرموله به مدت ۴۲ روز (میانگین ± خطای استاندارد)

آمینواسیدها (درصد)	تیمارهای آزمایشی			
	CH	A	M	D
آمینواسیدهای ضروری				
آرژینین	۷/۱۵±۰/۲۹ b	۷/۹۵±۰/۳۲ b	۴/۹۵±۰/۲۰ a	۵/۵۲±۰/۲۳ a
هیستیدین	۲/۰۲±۰/۰۸ b	۱/۹۴±۰/۰۸ b	۲/۱۶±۰/۰۹ b	۱/۳۷±۰/۰۵ a
ایزولوسین	۳/۵۱±۰/۱۴ a	۳/۵۵±۰/۱۴ a	۴/۲۵±۰/۱۷ b	۳/۷۷±۰/۱۵ ab
لوسین	۵/۴۵±۰/۲۲ a	۶/۷۹±۰/۲۷ b	۷/۱۸±۰/۲۹ b	۷/۱۶±۰/۲۹ b
لیزین	۷/۹۶±۰/۳۲ a	۸/۰۵±۰/۳۳ a	۸/۵۱±۰/۳۴ a	۸/۷۱±۰/۳۵ a
متیونین	۱/۵۶±۰/۰۶ a	۲/۲۵±۰/۰۹ c	۱/۸۶±۰/۰۸ b	۲/۱۰±۰/۰۸ bc
فنیل آلانین	۲/۸۲±۰/۱۱ a	۳/۰۱±۰/۱۲ ab	۳/۳۶±۰/۱۴ b	۳/۱۶±۰/۱۳ ab
ترئونین	۶/۹۶±۰/۲۸ b	۶/۵۲±۰/۲۷ ab	۶/۲۳±۰/۲۵ ab	۵/۸۵±۰/۲۴ a
والین	۳/۳۳±۰/۱۳ a	۳/۴۲±۰/۱۴ a	۴/۲۶±۰/۱۷ b	۳/۵۳±۰/۱۴ a
تیروزین	۲/۹۶±۰/۱۲ a	۲/۹۷±۰/۱۲ a	۲/۹۴±۰/۱۲ a	۳/۶۳±۰/۱۴ b
آمینواسیدهای غیرضروری				
آلانین	۸/۴۱±۰/۳۴ b	۷/۶۸±۰/۳۱ b	۷/۶۲±۰/۳۱ b	۴/۳۳±۰/۱۷ a
آسپارتیک اسید	۱۰/۴۳±۰/۴۲ b	۸/۶۰±۰/۳۵ a	۱۱/۸۲±۰/۴۸ b	۱۰/۵۶±۰/۴۳ b
گلوتامین	۱۵/۹۸±۰/۶۴ b	۱۷/۲۹±۰/۷۰ b	۱۲/۰۰±۰/۴۸ a	۱۹/۶۷±۰/۸۰ c
گلیسین	۷/۷۵±۰/۳۱ a	۷/۸۹±۰/۳۲ a	۸/۴۱±۰/۳۴ a	۷/۶۲±۰/۳۱ a
پرولین	۴/۵۷±۰/۱۹ a	۴/۲۲±۰/۱۷ a	۵/۶۵±۰/۲۳ b	۴/۴۱±۰/۱۸ a
سرین	۹/۱۳±۰/۳۷ b	۷/۸۹±۰/۳۲ a	۸/۸۰±۰/۳۶ ab	۸/۶۱±۰/۳۵ ab
مجموع آمینواسیدهای ضروری	۴۳/۷۳±۱/۷۷ a	۴۶/۴۴±۱/۸۸ a	۴۵/۷۰±۱/۸۵ a	۴۴/۸۰±۱/۸۱ a

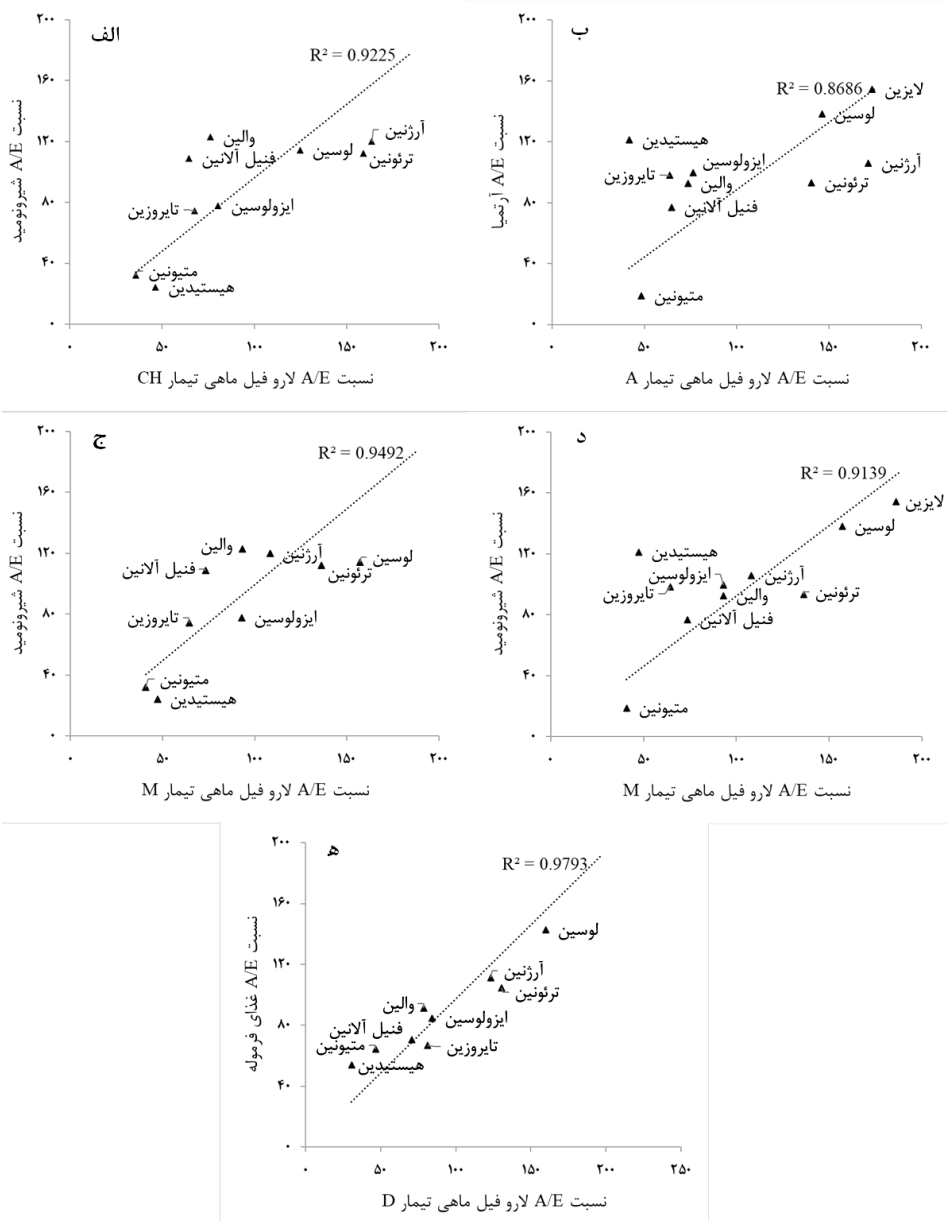
مجموع آمینواسیدهای غیرضروری	۵۶/۲۷±۲/۲۷ [a]	۵۳/۵۶±۲/۱۶ [a]	۵۴/۳۰±۲/۱۹ [a]	۵۵/۲۰±۲/۲۳ [a]
نسبت آمینواسیدهای ضروری به غیرضروری	۰/۷۸	۰/۸۷	۰/۸۴	۰/۸۱
مجموع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

در هر ردیف حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف غذایی است (P<۰/۰۵). CH: تغذیه شده با لارو منجمد شیرونومید؛ A: تغذیه شده با زی‌توده منجمد آرتمیا؛ M: تغذیه شده با مخلوطی از لارو منجمد شیرونومید و زی‌توده منجمد آرتمیا؛ D: تغذیه شده با جیره فرموله.

در بین هیچ یک از تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری از نظر درصد آمینواسید گلیسین مشاهده نشد (P>۰/۰۵). در بین تیمارهای آزمایشی کمترین میزان هیستیدین و آلانین در تیمار D مشاهده شد (P<۰/۰۵) و مقادیر این دو آمینواسید در تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵). مقادیر آرژنین در تیمارهای D و M به طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای CH و A بود (P<۰/۰۵). بیشترین میزان پرولین در تیمار M مشاهده شد (P<۰/۰۵)، در حالی که مقادیر این آمینواسید در تیمارهای دیگر با هم اختلاف معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵).

مقایسه ضریب A/E آمینواسیدهای ضروری هر تیمار با غذایی که در طول دوره مصرف کرده بودند در شکل ۱ آورده شده است. بر این اساس ضریب همبستگی بین لارو و جیره فرموله در تیمار D (r =۰/۹۸۹۶) از تیمارهای دیگر بیشتر بود. در تیمار M ضریب همبستگی لارو فیل‌ماهی و شیرونومید (r =۰/۹۷۴۳) از تیمار CH (r =۰/۹۶۰۴) بیشتر بود و ضریب همبستگی بین لارو فیل‌ماهی و آرتمیای تیمار M (r =۰/۹۵۶۰) از آنها کمتر بود. کمترین میزان همبستگی بین محتوای آمینواسیدهای لارو فیل‌ماهی و آرتمیای منجمد در تیمار A (r=۰/۹۳۲۰) مشاهده شد.

در تیمار CH بیشترین تفاوت نسبی بین آمینواسیدهای ضروری جیره و لارو در هیستیدین مشاهده شد که محتوای این آمینواسید در لارو شیرونومید ۴۷/۸۹ درصد کمتر از بدن ماهی بود. مقدار متیونین لارو آرتمیا در مقایسه با لارو تیمار A، ۶۱/۰۷ درصد کمتر بود که تفاوت نسبی محتوای این آمینواسید ضروری بین لارو و جیره از آمینواسیدهای دیگر بیشتر بود. در مقایسه پروفایل آمینواسیدهای تیمار M با جیره شیرونومید، بالاترین میزان کمبود معادل ۴۹/۱۲ درصد در محتوای هیستیدین غذای زنده و در مقایسه لاروهای این تیمار با آرتمیا بیشترین محدودیت به میزان ۵۳/۷۲ درصد در محتوای متیونین غذای زنده مشاهده شد. در لاروهای تغذیه شده با غذای فرموله (تیمار D) بالاترین تفاوت در بین آمینواسیدهای ضروری بدن لارو و جیره آزمایشی در آمینواسید ترئونین و به میزان ۲۰/۰۱ درصد مشاهده شد.



شکل ۱: مقایسه نسبت A/E آمینواسیدهای ضروری لارو فیل‌ماهی (*Huso huso*) و آمینواسیدهای ضروری غذاهای زنده تغذیه شده. الف) تیمار CH: تغذیه شده با لارو منجمد شیرونومید. ب) تیمار A:

تغذیه شده با زی‌توده منجمد آرتمیا. ج و د) تیمار M: تغذیه شده با مخلوطی از لارو منجمد شیرونومید و زی‌توده منجمد آرتمیا، (ه) تیمار D: تغذیه شده با جیره فرموله.

بحث

بقای ماهیان در مراحل ابتدایی چرخه زندگی ارتباط مستقیمی به میزان سازگاری با جیره‌های فرموله دارد. از این رو، توجه به این مرحله نیازمند دانش کافی و بهره‌گیری از روش تغذیه‌ای مناسب است (Gisbert et al., 2018). در مطالعات زیادی، استفاده از راهبردهای مختلف برای تغذیه مختلط در ماهیانی مانند باس آسیایی (*Lates calcarifer*)، سوف معمولی (*Sander lucioperca*)، ماهی کاد (*Gadus morhua*) و تاس‌ماهی ایرانی (*Acipenser persicus*) بررسی شده‌اند که موفقیت در پرورش لاروی را ارتقا بخشیده‌اند (Curnow et al., 2006; Hamza et al., 2007; Rosenlund and Halldorsson, 2007; Shakourian et al., 2011). در مطالعه کنونی مشاهده شد که استفاده از راهبردهای غذایی گذار از غذای زنده به فرموله تاثیر بسزایی در عملکرد رشد و بقای لارو فیل‌ماهی طی ۴۲ روز داشت. به نحوی که عملکرد رشد گروه تغذیه شده با جیره خشک در سراسر دوره نسبت به گروه‌های آزمایشی دیگر به طور معنی‌داری بهبود یافت. نتایج مشابهی نیز در مطالعات دیگر مشاهده شد. برای مثال، Dediu و همکاران (۲۰۱۱) دریافتند که رشد لارو تاس‌ماهی روسی (*Acipenser gueldenstaedtii*) پس از تغذیه مستقیم با جیره مصنوعی به دلیل کارکرد پروتئینی بالا نسبت به گروه‌های تغذیه شده با غذای زنده افزایش یافت. Bardi و همکاران (۱۹۹۸) نیز مشاهده کردند که تاس‌ماهی خلیج مکزیک (*Acipenser oxyrinchus desotoi*) می‌تواند به طور مستقیم با جیره فرموله از شروع تغذیه خارجی غذادهی شود، اگرچه نرخ بقا در گروه‌های تغذیه شده با آرتمیا به طور معنی‌داری بالاتر بود. در ارتباط با مطالعه حاضر نیز نرخ مرگ و میر در ماهیانی که از طریق لارو منجمد شیرونومید و یا مخلوط دو غذای زنده با جیره فرموله سازگار شدند، نسبت به گروه D کاهش یافت.

مطالعات نشان داده‌اند که تغییرات فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی در فیل‌ماهی بویژه در مراحل ابتدایی چرخه زندگی بسرعت انجام می‌گیرد و در صورتی که نیازمندی‌های تغذیه‌ای لارو در مرحله گذار به غذای دستی

برطرف نشود، می‌تواند با مرگ و میر بالایی همراه باشد (Miandare et al., 2013; Kim, 2023). در مطالعه حاضر، کاهش بقا در لارو فیل‌ماهی پس از تغذیه با جیره فرموله بر خلاف عملکرد بالای رشد می‌تواند به دلیل ترکیبات جیره و توانایی هضم و جذب مواد مغذی و کاهش فعالیت آنزیمی در این مرحله رخ داده باشد (Cahu and Zambonino Infante, 2001). استفاده از غذای زنده برای تطابق با جیره فرموله به دلیل ارتقای فعالیت آنزیم‌های گوارشی و افزایش هضم و جذب غذا می‌تواند در حفظ رشد و سلامت لارو مفید باشد. Agh و همکاران (۲۰۱۳) نیز در این ارتباط نشان دادند که گذار تدریجی از ناپلی آرتمیا به جیره فرموله می‌تواند رشد و بقای تاس‌ماهی ایرانی را تضمین کند. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، نرخ مرگ و میر در گروهی که لارو منجمد شیرونومید و مخلوطی از غذاهای زنده مصرف کرده بودند، کاهش یافت. در مطالعه Nath و همکاران (۲۰۲۱) که سه نوع غذای زنده و خشک را در دو گونه از ماهیان شامل گورامی مخطط (*Trichogaster fasciata*) و گربه‌ماهی آسیایی (*Heteropneustes fossilis*) بررسی کردند، دریافتند که بالاترین کارایی متعلق به گروه تغذیه شده با شیرونومید به دست آمد. همچنین، Hamidoghli و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که تغذیه تاس‌ماهی ایرانی با لارو زنده شیرونومید می‌تواند از کاهش بقا جلوگیری کند. Mohseni و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان دادند که نرخ رشد و بقای لارو تاس ماهی تغذیه شده با ترکیب شیرونومید نسبت به گروهی که در سراسر طول دوره گذار تنها با جیره فرموله تغذیه شدند، بالاتر بود و علائمی از ناهنجاری‌های رفتاری و ظاهری در طول رشد و نمو این ماهیان مشاهده نشد که می‌تواند به دلیل جذابیت بالا، ترکیبات مغذی متعادل و سهولت هضم‌پذیری شیرونومید باشد (Bogut et al., 2007; Policar et al., 2013).

تشخیص زمان آغاز تغذیه خارجی از اهمیت بالایی برخوردار است. زمانی که تغذیه آغازین به تعویق افتد، توانایی ماهیان برای یافتن غذا و هضم آن کاهش می‌یابد و به دنبال آن رشد و بقا با اختلال مواجه می‌شود. در کنار این مشکلات، غذای مصرف نشده می تواند سبب بروز آلودگی و بیماری در طول دوره پرورش شود (Ghelichi et al., 2010). تغذیه آغازین با بروز رفتار گله‌ای، پراکندگی تدریجی لاروها در بستر مخزن و جذب کیسه

زرده همزمان است. در مطالعه حاضر، تغذیه آغازین در لارو فیل‌ماهی از روز هشتم پس از تخم‌گشایی آغاز شد که با زمان‌بندی مطالعات دیگر مانند مطالعه Gisbert و Williot (۱۹۹۷) در تاس‌ماهی سیبری (*Acipenser baerii*) مطابقت داشت.

آمینواسیدها به عنوان اجزایی مهم در جیره آبزیان، نقشی کلیدی در تولید پروتئین‌ها، تامین انرژی، سلامت ماهی و ایمنی دارند. مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که برخی عوامل مانند شرایط محیطی، گونه، اندازه، جیره و ژنتیک می‌توانند بر ترکیبات بدن و آمینواسیدها تاثیرگذار باشند (Orban et al., 2000; Zhao et al., 2010). ماهیان در مراحل لاروی فاقد توانایی تولید آمینواسیدها در بدن هستند و این موضوع لزوم به کارگیری غذای مناسب در این مرحله را دوچندان می‌کند (Ronnestadet al., 1999; Hoseini et al., 2019). برهم خوردن تعادل آمینواسیدهای مصرفی و آمینواسیدهای بدن ماهی موجب تشدید اکسیداسیون آنها و در نتیجه افزایش ضریب تبدیل غذایی می‌شود (Fauconneau et al., 1992).

در این پژوهش از بین آمینواسیدهای ضروری سطح ترئونین در تیمار عادت‌دهی شده با استفاده از لارو شیرونومید از تیمارهای دیگر بالاتر بود. ترئونین در بهبود عملکرد گوارشی از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های گوارشی و کنترل شاخص‌های استرسی نقش دارد (Dong et al., 2022). هیستیدین در تیمارهای عادت‌دهی شده با غذای زنده بالاتر از تیمار تغذیه شده با جیره فرموله بود. سطح آرژنین تیمارهای CH و A از تیمارهای دیگر بالاتر بود. Babaei و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی دریافتند که تغییر غذای زنده از آرتمیا به دافنی موجب افزایش سطح آرژنین می‌شود. با توجه به نقش آرژنین در تکامل لاروها در آب شیرین، تولید پروتئین و آمینواسیدهای دیگر همچون پرولین و گلوتامین می‌توان بالاتر رفتن نرخ رشد تیمار تغذیه شده با شیرونومید را با آنها مرتبط دانست (Soosean et al., 2010). با وجود کمتر بودن مجموع آمینواسیدهای ضروری تیمار عادت‌دهی شده با شیرونومید، مجموع آمینواسیدهای غیرضروری این تیمار از گروه‌های دیگر بیشتر بود و در بین آمینواسیدهای غیرضروری سطوح بالایی از آسپارتیک اسید، گلوتامین، سرین و آلانین در

تیمار CH مشاهده شد. در این مطالعه، ترکیب آمینواسیدهای ضروری در بدن لارو فیل‌ماهی با ترکیب آمینواسیدهای ضروری در غذاهای زنده متفاوت بود. ضریب همبستگی پروفایل آمینواسیدهای ضروری لارو با پروفایل آمینواسیدهای ضروری غذای تغذیه شده با آن در تیمار تغذیه شده با شیرونومید (CH) بیشتر از تیمار تغذیه شده با آرتمیا (A) بود. این موضوع نشان دهنده این است که شیرونومید از نظر آمینواسیدهای ضروری در مقایسه با آرتمیا تعادل بیشتری دارد. در همین راستا Babaei و همکاران (۲۰۱۱) نیز در پژوهشی به عدم توازن آمینواسیدهای لارو تاس‌ماهی ایرانی تغذیه شده با آرتمیا در مقایسه با دافنی اشاره کردند. Kabir و همکاران (۲۰۱۵) دریافتند که نبود یک یا چند آمینواسید می‌تواند موجب محدودیت تولید پروتئین و رشد در گربه‌ماهی آفریقایی (*Clarias gariepinus*) شود. در مطالعه حاضر، بین آمینواسیدهای ضروری دارای کمبود در لاشه لارو فیل‌ماهی، آمینواسیدهای هیستیدین و متیونین با توجه به بیشترین درصد کمبود، عامل محدود کننده بودند. قابلیت انحلال پروتئین یکی از عوامل کلیدی در فرایند هضم و جذب لاروها است (Carvalho et al., 2004). در غذاهای زنده مورد استفاده در تغذیه لاروها با وجود برخی کمبودها در آمینواسیدها، به دلیل وجود مقادیر بالای پروتئین‌های محلول در آب، عموما هضم و جذب بهتری را در لارو نشان می‌دهد که این موضوع می‌تواند تا حدودی روشن کننده بقای بهتر تیمارهای تغذیه شده با غذاهای زنده در مقابل گروه شاهد باشد (Conceicao et al., 2010). همچنین، Efatpanah و همکاران (۲۰۲۴) دریافتند که تغذیه لارو تاس‌ماهی ایرانی با غذاهای زنده مختلفی چون شیرونومید و آرتمیا تاثیر معنی‌داری بر پروفایل آمینواسیدهای این ماهی ندارد.

در مجموع، در این پژوهش اثر استفاده از ترکیب مختلف غذاهای زنده شامل لارو شیرونومید، زی‌توده آرتمیا و ترکیب این دو غذای زنده بر شاخص‌های رشد، بقا و ترکیب آمینواسیدهای لاشه با هدف عادت‌دهی لارو فیل‌ماهی به غذای فرموله مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده از این مطالعه می‌توان اظهار داشت که استفاده از لارو شیرونومید طی تغذیه مختلط لارو فیل‌ماهی می‌تواند به صورت چشمگیری موجب ارتقای رشد و کاهش تلفات در روند عادت‌دهی این ماهی به غذای فرموله شود. با این که لاروهای

تغذیه شده با زی‌توده آرتمیا رشد کمتری را در مقایسه با لاروهای تغذیه شده با شیرونومید نشان دادند، اما شاخص‌های رشد تیمارهای تغذیه شده با ترکیب شیرونومید و آرتمیا از هر دو تیمار قبلی کمتر بود. ارزیابی پروفایل آمینواسیدها نشان داد که مجموع آمینواسیدهای ضروری تیمار تغذیه شده با شیرونومید از گروه‌های آزمایشی دیگر و گروه تغذیه شده با غذای فرموله کمتر بود. در مجموع با وجود رشد و بقای بیشتر لاروهای تیمار CH و با توجه به نتایج به دست آمده، استفاده از لارو شیرونومید به منظور عادت‌دهی لارو فیل‌ماهی به غذای فرموله طی ۴۲ روز قابل توصیه است. اما ارزیابی جنبه‌های دیگر استفاده از این غذای زنده، شامل اثرات عادت-دهی توسط آن در بازه زمانی کوتاه‌تر و همچنین بررسی فعالیت دستگاه گوارشی، ترکیبات لاشه و بیان ژن‌های مرتبط با رشد و اشتها می‌تواند به درک بهتر موضوع کمک کند.

منابع

Adeli A. and Namdar M. 2015. The Iranian caviar and its substitutes in the world market. Ecopersia, 3: 933–944.

Agh N., Noori F., Irani A., Van Stappen G. and Sorgeloos P. 2013. Fine tuning of feeding practices for hatchery produced Persian sturgeon, *Acipenser persicus* and beluga sturgeon, *Huso huso*. Aquaculture Research, 44: 335–344. doi: 10.1111/j.1365-2109. 2011.03031.x

Asgari R., Rafiee G., Eagderi S., Noori F., Agh N., Poorbagher H. and Gisbert E. 2013. Ontogeny of the digestive enzyme activities in hatchery produced beluga (*Huso huso*). Aquaculture, 416: 33–40. doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.08.014

Babaei S., Abedian Kenari A. and Mohammadnazari R. 2011. Study of amino acid composition of Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) larvae fed by live Artemia and Daphnia foods [In Persian]. Iranian Scientific Fisheries Journal, 20(2): 1–8. doi: 10.22092/isfj.2017.109986

Bardi Jr R.W., Chapman F.A. and Barrows F.T. 1998. Feeding trials with hatchery-produced Gulf of Mexico sturgeon larvae. The Progressive Fish-Culturist, 60: 25–31. doi: 10.1577/1548-8640(1998)06 0<0025:FTWHPG>2.0.CO;2

Bogut I., Has-Schon E., Adamek Z., Rajkovic V. and Galovic D. 2007. *Chironomus plumosus* larvae- A suitable nutrient for freshwater farmed fish. Poljoprivreda, 13: 159–162. doi: 10.18047/poljo.13.2.7

Buddington R.K. and Doroshov S.I. 1984. Feeding trials with hatchery produced white sturgeon juveniles (*Acipenser transmontanus*). Aquaculture, 36: 237–243. doi: 10. 1016/0044-8486(84)90239-4

Cahu C. and Zambonino Infante J. 2001. Substitution of live food by formulated diets in marine fish larvae. Aquaculture, 200: 161–180. doi: 10.1016/S0044-8486(01)00699-8

Cara J.B., Moyano F.J., Zambonino J.L. and Alarcon F.J. 2007. The whole amino acid profile as indicator of the nutritional condition in cultured marine fish larvae. Aquaculture Nutrition, 13: 94–103. doi: 10.1111/j.1365-2095.20 07.00459.x

Carvalho A.P., Sa R., Oliva-Teles A. and Bergot P. 2004. Solubility and peptide profile affect the utilization of dietary protein by common carp (*Cyprinus carpio*) during early larval stages. Aquaculture, 234(1): 319–333. doi: 10.1016/j.aquaculture. 2004.01.007

Chebanov M. and Galich E.V. 2011. Sturgeon Hatchery Manual. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Italy. 338P.

Conceicao L.E.C., Aragao C. and Ronnestad I. 2010. Protein metabolism and amino acid requirements in fish larvae. Avances en Nutricion Acuicola X-Memorias del DecimoSimposio Internacional de Nutricion Acuicola, Universidad Autonoma de Nuevo Leon, Mexico. P: 250–263.

Curnow J., King J., Partridge G. and Kolkovski S. 2006. Effects of two commercial microdiets on growth and survival of barramundi (*Lates calcarifer* Bloch) larvae within various early weaning protocols. Aquaculture Nutrition, 12: 247–255. doi: 10.1111/j.1365-2095.2006.00399.x

Dabrowski K., Kaushik S.J. and Fauoconnea B. 1985. Rearing of sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt) larvae: I. Feeding trial. Aquaculture, 47: 185–192. doi: 10.1016/0044-8486(85)90064-X

Dediu L., Maereanu M., Cristea V. and Maereanu D. 2011. Effect of formulated diet versus live food on growth and survival of Russian sturgeon (*Acipenser guldenstaedti*) larvae starting exogenous feeding. Bulletin of UASVM, Animal Science and Biotechnologies, 68: 130–136. doi: 10.15835/buasvmcn-asb:68:1-2:6683

Dong Y.W., Jiang W.D., Wu P., Liu Y., Kuang S.Y., Tang L., Tang W.N., Zhou X.Q. and Feng L. 2022. Nutritional digestion and absorption, metabolism fates alteration was associated with intestinal function improvement by dietary threonine in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). Aquaculture, 555: 738194. doi: 10.1016/j.aquaculture.2022.738194

Efatpanah I., Falahatkar B., Sajjadi M.M. and Monsef Shokri M. 2024. The effect of feeding with chironomid and *Artemia* on fatty acids and amino acids profiles in Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) larvae. Aquaculture Nutrition, 2024: 1–13 (6975546). doi: 10.1155/2024/6975546

Falahatkar B. 2015. Fish Nutrition and Feed Formulation [In Persian]. Agricultural Education and Extension Institute, Iran. 334P.

Fauconneau B., Basseres A. and Kaushik S.J. 1992. Oxidation of phenylalanine and threonine in response to dietary arginine supply in rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). Comparative Biochemistry and Physiology, 101: 395–401. doi: 10.1016/0300-9629(92)90552-2

Fazli H., Tavakoli M., Khoshghalb M.R., Moghim M. and Valinasab T. 2020. Population

dynamics and the risk of stock extinction of Persian sturgeon (Borodin) in the Caspian Sea. Fisheries and Aquatic Life, 28: 62–72. doi: 10.2478/aopf-2020-0009

Ghelichi A., Makhdoomi N., Jorjani S. and Taheri A. 2010. Effect of water temperature on the timing of initial feeding of Persian sturgeon *Acipenser persicus* larvae. International Aquatic Research, 2: 113–119.

Ghorbani Vaghei R., Yousefi Jourdehi A., Pajand Z., Monsef Shokri M. and Mohseni M. 2023. Effects of different feeding regimes on growth performance, survival rate, carcass composition, fatty acids profile, and digestive enzyme activities of great sturgeon (*Huso huso* Linnaeus, 1758) larvae. Aquaculture Research, 2023(1): 1–14 (9936622). doi: 10.1155/2023/993 6622

Gisbert E. and Williot P. 1997. Larval behavior and effect of the timing initial feeding on growth and survival of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) larvae under small scale hatchery production. Aquaculture, 156: 63–76. doi: 10. 1016/S0044-8486(97)00086-0

Gisbert E., Mozanzadeh M.T., Kotzamanis Y. and Estevez A. 2016. Weaning wild flathead grey mullet (*Mugil cephalus*) fry with diets with different levels of fish meal substitution. Aquaculture, 462: 92–100. doi: 10.1016/j.aquaculture.2016.04.035

Gisbert E., Solovyev M., Bonpunt E. and Mauduit C. 2018. Weaning in Siberian sturgeon larvae. P: 59–72. In: Williot P., Nonnotte G. and Chebanov M. (Eds.). The Siberian Sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869), Vol. 2: Farming. Springer International Publishing, Switzerland. doi: 10.1007/978-3-319-61676-6

Graham L.J. and Murphy B.R. 2007. The decline of the beluga sturgeon: A case study about fisheries management. Journal of Natural Resources and Life Sciences Education, 36: 66–75. doi: 10.2134/jnrlse2007.36166x

Hamidoghli A., Falahatkar B., Khoshkholgh M. and Sahragard A. 2014. Production and enrichment of chironomid larva with different levels of vitamin C and effects on performance of Persian sturgeon larvae. North American Journal of Aquaculture, 76: 289–295. doi: 10.1080/1522205 5.2014.911224

Hamza N., Mhetli M. and Kestemont P. 2007. Effects of weaning age and diets on ontogeny of digestive activities and structures of pikeperch (*Sander lucioperca*) larvae. Fish Physiology and Biochemistry, 33: 121–133. doi: 10.1007/s10695-006-9123-4

Hoseini S.M., Perez-Jimenez A., Costas B., Azeredo R. and Gesto M. 2019. Physiological roles of tryptophan in teleosts: Current knowledge and perspectives for future studies. Reviews in Aquaculture, 11: 3–24. doi: 10.11 11/raq.12223

Hurvitz A., Jackson K., Degan G. and Levavi-Sivan B. 2007. Use of endoscopy for gender and ovarian stage determinations in Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) grown in aquaculture. Aquaculture, 270: 158–166. doi: 10.1016/j.aquaculture. 2007.05.020

IUCN. 2022. Red List of Threatened Species, Version 2022. The International Union for Conservation of Nature's Red List of Threatened Species (IUCN). Retrieved August 31, 2025, from https://www.iucnredlist.org.

Kabir M.A., Ghaedi A., Talpur A.D. and Hashim R. 2015. Effect of dietary protein levels on reproductive development and distribution of amino acids in the body tissues of female *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage, 1878) broodstock in captivity. Aquaculture Research, 46: 1736–1747. doi: 10.1111/are.12 326

Kalbassi M.R., Abdollahzadeh E. and Salari-Joo H. 2013. A review on aquaculture development in Iran. Ecopersia, 1: 159–178.

Kim D.I. 2023. A study on the metabolic rate change pattern in F2 hybrid sturgeon, the bester (*Huso huso* and *Acipenser ruthenus*), during the early developmental stage. Fishes, 8(2): 1–12 (113). doi: 10.3390/fishes8020113

Kolman R. and Kapusta A. 2018. Food characteristics and feeding management on sturgeon with a special focus on the Siberian sturgeon. P: 75–84. In: Williot P., Nonnotte G. and Chebanov M. (Eds.). The Siberian Sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869), Vol. 2: Farming. Springer International Publishing, USA. doi: 10.10 07/978-3-319-61676-6_5

Miandare H.K., Farahmand H., Akbarzadeh A., Ramezanpour S., Kaiya H., Miyazato M., Rytkonen K.T. and Nikinmaa M. 2013. Developmental transcription of genes putatively associated with growth in two sturgeon species of different growth rate. General and Comparative Endocrinology, 182: 41–47. doi: 10.1016/j.ygcen.2012.11. 013

Mohseni M., Pourkazemi M., Hassani S.H., Okorie O.E., Min T.S. and Bai S.C. 2012. Effects of different three live foods on growth performance and survival rates in beluga (*Huso huso*) larvae. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 11: 118–131.

Najdegerami E.H., Baruah K., Shiri A., Rekecki A., Van Den Broeck W., Sorgeloos P., Boon N., Bossier P. and De Schryver P. 2015. Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) larvae fed *Artemia* nauplii enriched with poly-β-hydroxybutyrate (PHB): Effect on growth performance, body composition, digestive enzymes, gut microbial community, gut histology and stress tests. Aquaculture Research, 46: 801–812. doi: 10.1111/are.12231

Nath S., Samanta S. and Das S. 2021. Effectiveness of chironomid larvae in compare to other fish foods on growth parameters and body protein of two economically important fishes. Alinteri Journal of Agriculture Sciences, 36(2): 147–155. doi: 10.47059/alinteri/V36 I2/AJAS21128

Noori F., Takami G.A., Van Speybroeck M., Van Stappen G., Shiri-Harzevili A.R. and Sorgeloos P. 2011. Feeding *Acipenser persicus* and *Huso huso* larvae with *Artemia urmiana* nauplii enriched with highly unsaturated fatty acids and vitamin C: Effect on growth, survival and fatty acid profile. Journal of Applied Ichthyology, 27: 781–786. doi: 10.1111/j.1439-0426.2010.01647. x

Orban E., Di Lena G., Ricelli A., Paoletti F., Casini I., Gambelli L. and Caproni R. 2000. Quality characteristics of sharpsnout sea bream (*Diplodus puntazzo*) from different intensive rearing systems. Food Chemistry, 70: 27–32. doi: 10.1016/S0956-7135(99)00112-7

Policar T., Stejskal V., Kristan J., Podhorec P., Svinger V. and Blaha M. 2013. The effect of fish size and stocking density on the weaning success of pond-cultured pikeperch *Sander lucioperca* L. juveniles. Aquaculture International, 21: 869–882. doi: 10. 1007/s10499-012-9563-z

Ronnestad I., Thorsen A. and Nigel Finn R. 1999. Fish larval nutrition: A review of recent advances in the roles of amino acids. Aquaculture, 177: 201–216. doi: 10.1016/S0044-8486(99)00082-4

Rosenlund G. and Halldorsson O. 2007. Cod juvenile production: Research and commercial developments. Aquaculture, 268(1): 188–194. doi: 10.1016/j. aquaculture.2007.04.040

Shakourian M., Pourkazemi M., Yazdani Sadati M.A., Hassani M.H.S., Pourali H.R. and Arshad U. 2011. Effects of replacing live food with formulated diets on growth and survival rates in Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) larvae. Journal of Applied Ichthyology, 27: 771–774. doi: 10.1111/j.1439-0426.2010.01632. x

Soosean C., Marimuthu K., Sudhakaran S. and Xavier R. 2010. Effect of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) extracts as a feed additive on growth and hematological parameters of African catfish (*Clarias gariepinus*) fingerlings. European Review for Medical and Pharmacological Sciences, 14: 605–611.

Sorgeloos P., Dhert P. and Candreva P. 2001. Use of the brine shrimp, *Artemia* spp., in marine fish larviculture. Aquaculture, 200: 147–159. doi: 10.1016/S0044-8486(01)00698-6

Teletchea F. 2019. Fish domestication in aquaculture: Reassessment and emerging questions. Cybium, 43: 7–15. doi: 10.26028/cybium/2019-43 1-001

Teodosio R., Aragao C., Conceiçao L.E.C., Dias J. and Engrola S. 2022. Metabolic fate is defined by amino acid nature in gilthead seabream fed different diet formulations. Animals, 12(13): 1–14 (1713). doi: 10.3390/ani12131713

Valentine S.A., Bauman J.M. and Scribner K.T. 2017. Effects of alternative food types on body size and survival of hatchery-reared Lake Sturgeon larvae. North American Journal of Aquaculture, 79: 275–282. doi: 10.1080/15222055.2017.1330788

Vasilyeva L.M., Elhetawy A.I.G., Sudakova N.V. and Astafyeva S.S. 2019. History, current status and prospects of sturgeon aquaculture in Russia. Aquaculture Research, 5: 979–993. doi: 10.1111/ are.13997

Volkman E.T., Pangel K.L., Rajchel D.A. and Sutton T.M. 2004. Hatchery performance butes of juvenile lake sturgeon fed two attrinatural food types. North American Journal of Aquaculture, 66: 105–112. doi: 10.1577/A03-047.1

Wang Q., Cheng L., Liu J., Li Z., Xie S. and De Silva S.S. 2015. Freshwater aquaculture in PR China: Trends and prospects. Reviews in Aquaculture, 7: 283–302. doi: 10.1111/raq.12086

Williot P., Brun R., Rouault T., Pelard M. and Mercier D. 2005. Attempts at larval rearing of the endangered western European sturgeon, *Acipenser sturio* (Acipenseridae), in France. Cybium, 29: 381–387.

Zhao F., Zhuang P., Zhang L. and Shi Z. 2010. Biochemical composition of juvenile cultured vs. wild silver pomfret, *Pampus argenteus*: Determining the diet for cultured fish. Fish Physiology and Biochemistry, 36: 1105–1111. doi: 10.1007/s10695-010-9388-5

Aquatic Physiology and Biotechnology

Vol. 13, No. 1, Spring 2025

Research Paper

The effects of using live foods during the transition to formulated diet on growth indices and amino acid composition of beluga sturgeon (*Huso huso*) larvae

Soheil Yousefi[1], Hamid Allaf Noveirian[2], Majid Reza Khoshkholgh[2]*, Zabihollah Pajand[3], Maryam Monsef Shokri[4]

DOI: 10.22124/japb.2024.27604.1543

Received: June 2024 Accepted: September 2024

Abstract

In the present study, the effects of adaptation to formulated diet using live food were evaluated on growth performance and amino acid profile of beluga (*Huso huso*) larvae. The beluga sturgeon larvae with an initial weight of 0.44±0.01g were randomly distributed into 12 fiberglass tanks. The adaptation process was carried out by live food organisms, including frozen chironomid larvae (CH), frozen *Artemia* biomass (A), and a combination of chironomid and *Artemia* (M) during 42 days. Also, fish in group D received the formulated diet throughout the trial. The live foods were decreased by 16.6% every six days and added to the formulated diet. At the end of trial, growth index, survival and amino acids profile of larvae were evaluated. The results of this study revealed that final weight and weight gain were significantly higher in D and CH groups than others ($P<0.05$). The highest survival rates were observed in the groups CH (98.33%) and M (95%) ($P<0.05$). Levels of leucine and methionine as two essential amino acids were significantly higher in CH, in comparison to other treatments ($P<0.05$). Furthermore, despite the insignificant differences, the highest threonine content among treatments fed by live foods and the lowest composition of total essential amino acids were shown in the CH group ($P>0.05$). Regarding the achieved results, it is recommended to use the chironomid larvae for the adaptation of beluga larvae to the formulated diet due to its positive effects on growth and amino acid content.

Key words: *Beluga*, *Weaning*, *Chironomids*, Artemia, *Larvae*.

1- Ph.D. Student in Aquaculture, Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran.

2- Associate Professor in Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran.

3- Associate Professor in Department of Aquaculture, International Sturgeon Research Institute, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

4- Assistant Professor in Department of Physiology and Biochemistry, International Sturgeon Research Institute, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

*Corresponding Author: majidreza@guilan.ac.ir