



مجله علوم آبروی و منابع آب

بهره‌برداری و پرورش آبزیان
جلد هشتم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸

۱-۱۵

<http://japu.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/japu.2019.15264.1449

مروری بر امکان جایگزینی آرد حشرات با آرد ماهی در جیره غذایی آبزیان

*عباس ارباب

دانشیار گروه حشره‌شناسی، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۳۱

چکیده

کاهش دسترسی به آرد ماهی و همچنین افزایش قیمت آن موجب شده است تا جستجو برای جایگزین‌های مناسب آن شروع شود. حشرات که بخشی از غذای طبیعی ماهی‌ها محسوب می‌شوند، برای تکثیر به فضای کمی نیاز دارند و اثرات مخرب زیست‌محیطی آنها نیز کم است. رشد سریع، تکثیر آسان و کم‌هزینه، بازده مطلوب تبدیل خوراک به زیست‌توده و همچنین همانندی پروفایل اسیدهای آمینه (به‌جز هیستیدین، ترئونین و لیزین) موجود در آرد حشرات با آرد ماهی، از مزایای حشرات محسوب می‌شود. با این حال، مقدار اسید چرب موجود در آرد حشرات با میزان آن در آرد ماهی متفاوت است. آرد ماهیان دریایی غنی از اسیدهای چرب امگا ۳، به‌ویژه ایکوساپنتائونیک اسید (EPA) و دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) می‌باشد که عمدتاً در حشرات وجود ندارد. ولی نسبت‌های بالاتری از اسیدهای چرب امگا ۶ و چربی‌های غیراشباع در حشرات دیده می‌شود. آرد حشرات دارای پروتئین بیش‌تر ولی چربی کم‌تری نسبت به آرد ماهی است. در بین راسته‌های حشرات، راسته دوبالان (Diptera) بیش‌ترین مشابهت را با آرد ماهی دارا است. نتیجه بررسی‌ها نشان می‌دهد هر چند در پرورش بعضی از گونه‌ها از جمله ماهی‌های سالمون، گربه‌ماهی آفریقایی و تیلاپیای نیل می‌توان آرد حشرات را به‌طور کامل جایگزین آرد ماهی نمود ولی گونه‌هایی نیز هستند که سازگاری کم‌تری با آرد حشرات دارند. بنابراین پژوهش‌های بیش‌تری در این زمینه مورد نیاز است.

واژه‌های کلیدی: آبی‌پروری، آرد ماهی، حشرات، خوراک‌های جایگزین، خوراک ماهی، غذای ماهی، ماهی

مقدمه

آبزیان یکی از منابع اصلی غذای انسان به‌شمار می‌روند (آیولا، ۲۰۱۰)، اما در سال‌های اخیر میزان صید جهانی آن‌ها کاهش یافته است. بر اساس گزارش سازمان خواروبار جهانی، نرخ کاهش ۰/۵ درصد در

سال می‌باشد (فائو، ۲۰۱۰). در حال حاضر، آبی‌پروری به‌عنوان مکمل صید ماهی، نقش مهمی در تامین تقاضای موجود در تجارت غذاهای دریایی بازی می‌کند. برای پاسخگویی به این نیاز، در سال‌های اخیر تولید آبزیان پرورشی رشد قابل‌ملاحظه‌ای (۳۲ درصد) داشته است (فائو، ۲۰۱۰). در حال حاضر

* مسئول مکاتبه: abbasarbab@hotmail.com

و روغن ماهی جهت ساخت غذای ماهی و سایر حیوانات استفاده می‌شود (اوگونجی و همکاران، ۲۰۰۶). گزارش‌ها نشان می‌دهد مقدار آرد ماهی که برای تغذیه آبزیان استفاده می‌شود، از ۱۰ درصد در سال ۱۹۸۸ تا حدود ۴۵ درصد در سال ۲۰۰۲ افزایش یافته است. بیش‌تر شدن تقاضای جهانی و کاهش میزان دسترسی به آرد ماهی باعث شده است تا قیمت آن به شدت افزایش یابد که پیامد آن بالا رفتن هزینه آبی‌پروری بوده است (آیولا، ۲۰۱۰).

منابع پروتئینی جایگزین: کمبود فعلی آرد ماهی و نگرانی‌ها از عدم تامین آن در آینده باعث شده است تا پژوهشگران به دنبال منابع پروتئینی جایگزین باشند که از نظر ارزش‌های تغذیه‌ای به‌خصوص محتوای اسیدهای آمینه ضروری، فسفولیپیدها و اسیدهای چرب، مشابه آرد ماهی باشند. در این میان ترکیباتی که حاوی اسیدهای چرب ایکوساپنتانویک اسید و دوکوساهگزانوئیک اسید (اسیدهای چرب تشکیل‌دهنده خانواده امگا-۳) باشند، برای گونه‌های ماهیان دریایی در اولویت هستند. زیرا آن‌ها با تحریک رشد و نمو و همچنین تولیدمثل، موجب کاهش هزینه‌های آبی‌پروری می‌شوند.

منابع گیاهی: در حال حاضر حدود ۴۰ درصد از گیاهان تولید شده برای تغذیه دام و آبزیان پرورشی استفاده می‌شود. سازمان خواروبار جهانی (فائو) پیش‌بینی می‌کند که این مقدار در سال ۲۰۵۰ می‌تواند به ۶۰ درصد برسد. منابع پروتئینی گیاهی هر چند ارزان‌تر از مواد پروتئینی جانوری هستند، اما از لحاظ میزان اسیدهای آمینه ضروری به‌ویژه لیزین و متیونین ضعیف هستند. همچنین وجود عوامل ضد تغذیه‌ای مانند تانن‌ها و ساپونین‌ها باعث کاهش هضم غذا و در نهایت کاهش رشد ماهی‌ها می‌شوند. از طرف دیگر، تولید گیاهان مستلزم زمین و آب می‌باشد (هنری و همکاران، ۲۰۱۵). به عبارت دیگر تولید گیاهان برای تولید غذای آبزیان می‌تواند رقیبی جدی برای تامین غذای انسان باشد.

سرانه مصرف جهانی آبزیان ۲۰ کیلوگرم برآورد شده است که تقریباً نصف آن توسط آبزیان پرورشی تامین می‌شود (فائو، ۲۰۱۶). غذا نقش مهمی را در تولید آبزیان پرورشی بازی می‌کند. امروزه آرد ماهی مهم‌ترین بخش جیره غذایی را تشکیل می‌دهد. با توجه به محدودیت‌هایی که در تامین آن در آینده وجود دارد، از دهه‌های گذشته تلاش‌هایی توسط پژوهشگران برای جایگزینی آن با سایر منابع گیاهی و جانوری صورت گرفته است. تعدادی از آن‌ها از جمله آرد سویا و آرد ضایعات دام‌ها توانسته‌اند جایگزین بخشی از آرد ماهی در جیره غذایی شوند. یکی منابعی که آینده روشنی برای آن متصور است، آرد حشرات می‌باشد. در این نوشتار برآنیم تا با معرفی حشرات به‌عنوان یکی از نامزدهای مناسب منابع جانوری، مزایا و محدودیت‌های آن‌ها را مورد بررسی قرار دهیم.

چالش‌های تامین غذای آبزیان پرورشی: یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی این صنعت تامین کمی و کیفی غذای آبزیان پرورشی است. هزینه غذا بیش از نیمی از هزینه‌های تولید آبزیان را شامل می‌شود، که حدود ۶۷ درصد آن مربوط به منابع پروتئینی جیره غذایی است (اریاب، ۲۰۱۸). بر خلاف سایر حیوانات اهلی، آبزیان برای رشد و نمو مطلوب خود نیاز به پروتئین بالا (حدود ۵۷ درصد) در جیره غذایی دارند (تومان و همکاران، ۱۹۹۹). همان‌گونه که اشاره شد، آرد ماهی یکی از مهم‌ترین اجزای اصلی جیره غذایی آن‌ها به‌شمار می‌رود. این ترکیب که برای افزایش بهره‌وری خوراک به رژیم‌های غذایی اضافه می‌شود، می‌تواند با افزایش هضم و جذب ترکیبات جیره غذایی، رشد بیش‌تر آبی‌ری را موجب شود (میل و چاپمن، ۲۰۰۶). آرد ماهی بین ۴۰ تا ۷۰ درصد کل هزینه‌های تولید در آبزیان پرورشی را تشکیل می‌دهد (هنری و همکاران، ۲۰۱۵). برآورد شده است که تقریباً ۳۰ درصد از کل ماهی صید شده برای تهیه آرد

گیاهی دارای معایب تغذیه‌ای از جمله فقر اسیدهای آمینه می‌باشند (امره و همکاران، ۲۰۰۳) از طرف دیگر هیچ‌کدام از موارد ذکر شده جزو غذاهای طبیعی آبزیان نیستند، بنابراین در همه مطالعات انجام شده هیچ‌یک نتوانسته‌اند به‌طور کامل جایگزین آرد ماهی شوند.

حشرات: در طبیعت بسیاری از گونه‌های ماهی‌ها از حشرات تغذیه می‌کنند (ریدیک و همکاران، ۲۰۱۳). حدود ۵ درصد از یک میلیون گونه حشرات شناخته‌شده آبری بوده و در تعاملی نزدیک با سایر آبزیان از جمله ماهی‌ها می‌باشند (ارباب، ۲۰۱۸). در زیست‌بوم‌های آب شیرین حدود ۱۲۶۰۰۰ گونه جانوری شناسایی شده است که بیش از ۶۰ درصد (۷۶۰۰۰ گونه) آن‌ها را حشرات تشکیل می‌دهند. هر چند گونه‌های حشرات آبری در ۱۲ راسته از حشرات پراکنده هستند ولی بیش‌ترین فراوانی مربوط به راسته دوبالان با بیش از ۳۲۰۰ گونه است (بالیان و همکاران، ۲۰۰۸) (جدول ۱).

در میان منابع گیاهی (کلزا، سویا، بزرک، آزولا، آفتابگردان و گلرنگ)، آرد سویا بهترین گزینه موجود است. زیرا از نظر محتوای پروتئین و پروفایل اسیدهای آمینه ضروری از موقعیت خوبی برخوردار است. ولی از لحاظ مقدار برخی اسیدهای آمینه گوگردار (مانند سیستئین) و دارا بودن بعضی از ترکیبات ضد تغذیه‌ای مانند بازدارنده‌های تریپسین، آنتی‌ویتامین‌ها، فیتات و هم‌گلوکوتین دارای نقطه ضعف‌هایی است (تاکون، ۱۹۹۳). بنابراین امروزه منابع پروتئین حیوانی که بتوانند جایگزین آرد ماهی شوند، به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته‌اند.

منابع جانوری: آرد ضایعات ماکیان (مورکی و مصطفوی، ۱۳۹۵)، آرد گوشت و استخوان، آرد خون و آرد پر (مکر، ۲۰۰۶) از مهم‌ترین منابع پروتئینی جانوری در دسترس هستند که ارزش غذایی آن‌ها برای جایگزینی با آرد ماهی مورد ارزیابی قرار گرفته است. این منابع هر چند ارزان، در دسترس و دارای مزیت‌های زیست‌محیطی هستند ولی همانند منابع

جدول ۱- تعداد گونه‌های حشرات در زیست‌بوم‌های آب شیرین به تفکیک راسته (بالیان و همکاران، ۲۰۰۸).

تعداد گونه	راسته / خانواده
۱۳۵۱۴	سخت بالپوشان (Coleoptera)
۴۱۸۸	دوبالان (Diptera) / خانواده Chironomidae
۴۱۴۷	دوبالان (Diptera) / خانواده Culicidae
۳۴۹۲	دوبالان (Diptera) / خانواده Simuliidae
۲۰۰۰	دوبالان (Diptera) / خانواده Tabanidae
۵۰۰۰	دوبالان (Diptera) / خانواده Tipulidae
۱۳۴۵۴	دوبالان (Diptera) / سایر خانواده‌ها
۳۰۴۳	یک‌روزه‌ها (Ephemeroptera)
۴۸۰۱	ناجوربالان (Heteroptera)
۱۴۷	بالغشاییان (Hymenoptera)
۷۳۷	بالپولکداران (Lepidoptera)
۸	دم عقربی‌ها (Mecoptera)
۴۴۶	بال توری‌ها (Megaloptera-Neuroptera)
۵۶۸۰	سنجاقک‌سانان (Odonata)
۱۸۸	راست‌بالان (Orthoptera)
۳۴۹۷	مگس‌های سنگ (Plecoptera)
۱۱۵۳۲	بال موداران (Trichoptera)
۷۵۸۷۴	مجموع

تاریخچه: هر چند کم‌تر از دو دهه از شروع مطالعه برای ارزیابی گونه‌های مختلف حشرات به‌عنوان جایگزین آرد ماهی در حوزه آبزیان سپری نشده است (نگ و همکاران، ۲۰۰۱؛ اوگونجی و همکاران، ۲۰۰۷؛ باروسو و همکاران، ۲۰۱۴؛ ماخار و همکاران، ۲۰۱۴؛ ولوک و همکاران، ۲۰۱۶) ولی پیشینه استفاده از حشرات به‌عنوان مکمل غذای آبزیان به بیش از ۲۵۰۰ سال قبل می‌رسد. بررسی‌ها نشان می‌دهد در این زمان چینی‌ها از لاروهای کرم ابریشم (*Bombyx mori*) که یک محصول جانبی تولید ابریشم می‌باشد، به‌عنوان مکمل غذایی ماهی کپور استفاده می‌کردند (هیکلینگ، ۱۹۶۲). نتایج مثبت مطالعات موجب شده است تا در دسامبر ۲۰۱۶ کمیسیون اتحادیه اروپا موافقت خود را برای استفاده از پروتئین‌های مشتق شده از حشرات برای تهیه خوراک آبزیان اعلام نماید.

مزایا: حشرات دارای سرعت رشد سریع و تکثیر آسان هستند. همچنین بازده تبدیل خوراک به بافت آن‌ها بالا بوده و می‌تواند از مواد غذایی دارای کیفیت پایین تغذیه کنند. به‌طور متوسط یک کیلوگرم زیست‌توده حشرات می‌تواند از تغذیه دو کیلوگرم غذا تولید شود (کولاو و همکاران، ۲۰۰۵).

استفاده از حشرات دارای مزایای زیست‌محیطی متعددی نیز می‌باشد. همان‌گونه که می‌دانیم اثرات و یا هزینه‌های زیست‌محیطی تولید غذا توسط موجودات زنده یکی از معیارهای انتخاب آن‌ها برای تولید مواد غذایی به‌صورت پایدار به‌شمار می‌رود. این عامل خود به سه بخش مقدار زمین مورد نیاز برای تولید پایدار مواد غذایی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید شده به‌ازای تولید هر کیلوگرم غذا و همچنین مقدار آب مصرفی به‌ازای هر کیلوگرم غذای تولید شده تقسیم می‌شود (ارباب، ۱۳۹۷).

حشرات به فضای بسیار کمی برای پرورش نیازمند هستند. به‌عنوان مثال، جیرجیرک‌ها در یک

فضای یک مترمربعی می‌توانند ۲ کیلوگرم ضایعات کشاورزی را به ۱ کیلوگرم پروتئین تبدیل کنند. این در حالی است که برای تولید همین مقدار (۱ کیلوگرم) پروتئین از طریق پرورش گاو علاوه بر آن‌که به مقدار فضای بسیار بیش‌تری نیاز است، به ۸ کیلوگرم خوراک با کیفیت نیز نیازمند هستیم. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در طی فرایند تولید پروتئین حشرات نیز بسیار ناچیز است. میزان تولید گازهای گلخانه‌ای به‌ازای یک کیلوگرم افزایش وزن حشرات بین ۱۲۲-۲ گرم است در حالی‌که برای افزایش یک کیلوگرم وزن گاو ۲۸۵۰ گرم گاز گلخانه‌ای تولید می‌شود (اونینکس، ۲۰۱۰).

هر چند داده‌های مستندی برای میزان مصرف آب در فرایند تکثیر حشرات در دسترس نیست. با این وجود، مصرف آب در سیستم‌های پرورش حشرات بسیار کم‌تر از آب مورد نیاز برای پرورش گیاهان است. زیرا حشرات به‌طور معمول آب مورد نیاز خود را از رطوبت موجود در مواد غذایی تامین می‌کنند. برای تولید یک کیلوگرم پروتئین حیوانی (به غیر از حشرات) نیاز به ۵ تا ۲۰ برابر آب بیش‌تر نسبت به تولید یک کیلوگرم پروتئین گیاهی می‌باشد. متوسط آب مورد نیاز برای تولید هر تن سویا ۲۱۴۵ مترمکعب و در مجموع ۳۶۰ میلیارد مترمکعب در سال است. برای تهیه یک تن آرد سویا مقدار آب مورد نیاز به ۲۵۲۳ مترمکعب می‌رسد (تسچینر و کلواس، ۲۰۱۷).

مقایسه ترکیبات تشکیل‌دهنده آرد حشرات با آرد ماهی: برای ارزیابی بهتر امکان جایگزینی آرد حشرات با آرد ماهی، لازم است ترکیبات تشکیل‌دهنده آن‌ها با هم مقایسه شوند. مقدار پروتئین خام و پروفایل اسیدهای آمینه، مقدار چربی کل و نوع اسیدهای چرب، مقدار هیدرات‌های کربن و مواد معدنی مهم‌ترین ترکیباتی هستند که می‌توانند معیار

لاروهای دوبالان (مانند لارو مگس سرباز سیاه و مگس خانگی) و لارو سوسک زرد حاوی پروتئین کمتری نسبت به حشرات کامل راست‌بالان (ملخ‌ها و جیرجیرک‌ها) و شفیره کرم ابریشم می‌باشند.

محتوی چربی حشرات بسیار متغیر است. این تفاوت هم به علت تفاوت گونه‌ها است و هم به علت تفاوت مرحله زندگی و نوع رژیم غذایی. برای مثال در حالی که حشرات کامل ملخ‌ها ۸/۶ درصد چربی دارند، لاروهای سوسک زرد حاوی ۳۶ درصد چربی هستند. ملخ‌ها در مرحله پورگی می‌توانند تا ۳۰ درصد چربی داشته باشند.

مقایسه باشند. برای این منظور ۷ حشره رایج (مگس سرباز سیاه، مگس خانگی، سوسک زرد آرد، ملخ، جیرجیرک خانگی، جیرجیرک صحرایی و کرم ابریشم) که مطالعات بیش‌تری در مورد آن‌ها صورت گرفته است، با آرد ماهی و آرد سویا مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

پروتئین و چربی: اجزای اصلی شیمیایی حشرات در جدول ۲ ارائه شده است. محتوای پروتئین خام حشرات بسیار بالا است و از ۴۲ تا ۶۳ درصد متفاوت است. این مقدار پروتئین قابل رقابت با پروتئین آرد سویا است ولی کمی کم‌تر از پروتئین آرد ماهی است.

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی آرد حشرات در مقایسه با آرد ماهی و آرد سویا (تران و همکاران، ۲۰۱۵).

ترکیبات شیمیایی (درصد ماده خشک)	لارو مگس سرباز سیاه	لارو مگس خانگی	لارو سوسک زرد آرد	ملخ	جیرجیرک خانگی	جیرجیرک صحرایی	شفیره کرم ابریشم	آرد ماهی	آرد سویا
پروتئین خام	۴۲	۵۰/۴	۵۲/۸	۵۷/۳	۶۳/۳	۵۹/۸	۶۰/۷	۷۰/۶	۵۱/۸
چربی	۲۶	۱۸/۹	۳۶/۱	۸/۵	۱۷/۳	۱۳/۳	۲۵/۷	۹/۹	۲
کلسیم	۷/۵۶	۰/۴۷	۰/۲۷	۰/۱۳	۱/۰۱	۰/۲۰	۰/۳۸	۴/۳۴	۰/۳۹
فسفر	۰/۹	۱/۶۰	۰/۷۸	۰/۱۱	۰/۷۹	۱/۰۴	۰/۶۰	۲/۷۹	۰/۶۹
نسبت کلسیم به فسفر	۸/۴	۰/۲۹	۰/۳۵	۱/۱۸	۱/۲۸	۰/۱۹	۰/۶۳	۱/۵۶	۰/۵۷

هر چند فعالیت آنزیم کیتیناز در گونه‌های مختلف ماهی دیده شده است و لیپوند b1، 4 در کیتین برای چند گونه از ماهی‌ها غیرقابل هضم گزارش شده است (روست، ۲۰۰۲).

توانایی آن‌ها برای هضم کیتین توسط کیتیناز بستگی به گونه‌های ماهی و وجود باکتری‌های همزیست در روده آن‌ها دارد. به‌عنوان مثال، در تیلایپای قرمز، *O. niloticus* * *O. hornorum* و تیلایپای نیل، آرد ماهی می‌تواند به‌طور قابل توجهی با آرد میگو که غنی از کیتین است جایگزین شود بدون آن‌که اثر منفی بر رشد و نمو آن‌ها داشته باشد. این در حالی است که در سایر گونه‌های تیلایپا گنجاندن

هیدرات‌های کربن: حشرات در مقایسه با گیاهان دارای کربوهیدرات کم‌تری (کم‌تر از ۲۰ درصد) هستند (باروسو و همکاران، ۲۰۱۴). رایج‌ترین کربوهیدراتی که ماهی‌ها در طبیعت با آن مواجه می‌شوند، کیتین است. این ترکیب، پلیمری از گلوکوزامیناست که در اسکلت خارجی حشرات یافت می‌شود (لیندسی و همکاران ۱۹۸۴). مقدار کیتین در حشرات متغیر است و بستگی به گونه و مرحله زندگی آن‌ها دارد. در برخی موارد خیلی زیاد (بیش از ۱۰ درصد ماده خشک) و یا خیلی کم (کم‌تر از ۱۰۰ mg/kg ماده خشک) است (فینک، ۲۰۰۷). توانایی ماهی‌ها برای هضم کیتین نیز متفاوت است.

شفیره کرم ابریشم بیش‌تر است. مقدار تریپتوفان نیز به‌جز در آرد شفیره کرم ابریشم و آرد مگس خانگی به‌طورکلی کم‌تر است. برای دستیابی به رشد بهینه و با توجه به نیاز خاص گونه ماهی، استفاده از آمینو اسیدهای مصنوعی به‌صورت مکمل آرد حشره اجتناب‌ناپذیر است. در مقایسه با آرد سویا، آرد شفیره کرم ابریشم و لارو دوبالان دارای پروفایل اسید آمینه بهتری هستند و می‌توانند جایگزین مناسبی برای آرد ماهی باشند (تران و همکاران، ۲۰۱۵).

کیتین کاهش رشد را به دنبال خواهد داشت (کاتایا و همکاران، ۲۰۱۷).

اسیدهای آمینه: پروفایل اسیدهای آمینه مختلف حشرات در جدول ۳ نشان داده شده است. در مقایسه با آرد ماهی، پروتئین خام ملخ‌ها و سوسک زرد آرد حاوی لیزین کم‌تری هستند در حالی که لارو دوبالان (مگس‌ها) و شفیره کرم ابریشمی نسبتاً غنی از لیزین هستند. به‌جز در شفیره کرم ابریشم مقدار اسیدهای آمینه گوگرددار در آرد حشرات کم‌تر از آرد ماهی است. مقدار ترئونین تقریباً قابل مقایسه است اما در

جدول ۳- پروفایل اسیدهای آمینه (گرم / ۱۶ گرم نیتروژن) موجود در آرد حشرات در مقایسه با آرد ماهی و آرد سویا (ماخار و همکاران، ۲۰۱۴).

اسیدهای آمینه	لارو مگس سرباز سیاه	لارو مگس خانگی	لارو سوسک زرد آرد	ملخ	جیرجیرک خانگی	جیرجیرک صحرایی	شفیره کرم ابریشم	آرد ماهی	آرد سویا
ضروری									
متیونین	۲/۱	۲/۲	۱/۵	۲/۳	۱/۴	۱/۴	۳/۵	۲/۷	۱/۳۲
والین	۸/۲	۴	۶	۴	۵/۱	۶	۵/۵	۴/۹	۴/۵
ایزولئوسین	۵/۱	۳/۲	۴/۶	۴	۴/۴	۴/۸	۵/۱	۴/۲	۴/۱۶
لئوسین	۷/۹	۵/۴	۸/۶	۵/۸	۹/۸	۸	۷/۵	۷/۲	۷/۵۸
فنیل آلانین	۵/۲	۴/۶	۴	۳/۴	۳	۲/۵	۵/۲	۳/۹	۵/۱۶
تیروزین	۶/۹	۴/۷	۷/۴	۳/۳	۵/۲	۵/۲	۵/۹	۳/۱	۳/۳۵
هیستیدین	۳	۲/۴	۳/۴	۳	۲/۳	۳	۲/۶	۲/۴	۳/۰۶
لیزین	۶/۶	۶/۱	۵/۴	۴/۷	۵/۴	۵/۹	۷	۷/۵	۶/۱۸
تریونین	۳/۷	۳/۵	۴	۳/۵	۳/۶	۴/۲	۵/۱	۴/۱	۳/۷۸
تریپتوفان	۰/۵	۱/۵	۰/۶	۰/۸	۰/۶	۰/۶	۰/۹	۱	۱/۳۶
غیرضروری									
سرین	۳/۱	۳/۶	۷	۵	۴/۶	۴/۹	۵	۳/۹	۵/۱۸
آرژنین	۵/۶	۴/۶	۴/۸	۵/۶	۶/۱	۵/۳	۵/۶	۶/۲	۷/۶۴
گلوتامیک اسید	۱۰/۹	۱۱/۷	۱۱/۳	۱۵/۴	۱۰/۴	۱۱/۷	۱۳/۹	۱۲/۶	۱۹/۹۲
آسپارتیک اسید	۱۱	۷/۵	۷/۵	۹/۴	۷/۷	۸/۸	۱۰/۴	۹/۱	۱۴/۱۴
پرولین	۶/۶	۳/۳	۶/۸	۲/۹	۵/۶	۶/۲	۵/۲	۴/۲	۵/۹۹
گلایسین	۵/۷	۴/۲	۴/۹	۴/۸	۵/۲	۵/۹	۴/۸	۶/۴	۴/۵۲
آلانین	۷/۷	۵/۸	۷/۳	۴/۶	۸/۸	۹/۵	۵/۸	۶/۳	۴/۵۴
سیستین	۰/۱	۰/۷	۰/۸	۱/۱	۰/۸	۰/۱	۱	۰/۸	۱/۳۸

بیش‌تری از اسید چرب اشباع نشده 6-n و مقادیر ناچیزی از ایکوزاپنتانویک اسید (EPA) و اسید داکوساگزاونیک (DHA) هستند. این کمبود EPA و DHA یک عامل محدودکننده برای استفاده از حشرات خاکزی در جیره غذایی ماهی‌هایی است که به این اسیدهای چرب نیاز دارند اما توانایی محدودی برای سنتز کردن آن‌ها دارند. آزاد ماهیان (مانند قزل‌آلا) می‌توانند EPA و DHA را از ALA (اسید آلفا لینولنیک) سنتز کنند، اما دریافت آن از طریق غذا کارآمدتر است (مدال و همکاران، ۲۰۱۳؛ سانچز موروس و همکاران، ۲۰۱۴). از سوی دیگر، حشرات آبزی حاوی مقادیر قابل‌توجهی از EPA هستند و به‌عنوان منبع خوراک برای ماهی‌های آب شیرین پیشنهاد شده‌اند (سانچز موروس و همکاران، ۲۰۱۴). به‌عنوان مثال، چربی حشرات آب شیرین که بخشی از رژیم غذایی طبیعی ماهی قزل‌آلا (*Salmo salar*) هستند، دارای بیش از ۱۵ درصد EPA است (بل و همکاران، ۱۹۹۴).

بررسی‌ها نشان داده است که غلظت و پروفایل چربی حشرات بسیار وابسته به رژیم غذایی است و می‌تواند با تغییر ترکیب بستر پرورش تغییر یابد (سانچز موروس و همکاران، ۲۰۱۴). به‌عنوان مثال، با تغییر بستر پرورش لارو مگس سرباز سیاه از کود گاو به ترکیبی شامل ۵۰:۵۰ کود گاو و ماهیان گوشتی، سطح اسیدهای چرب امگا ۳ در لاروها از ۰/۲ درصد به ۲ درصد و غلظت کل چربی از ۲۰ به ۳۱ درصد ماده خشک می‌رسد (استی-هیلا و همکاران، ۲۰۰۷).

مواد معدنی: هر چند مقدار خاکستر حشرات معمولاً کم‌تر از ۵ درصد وزن خشک است، ولی در بعضی گونه‌ها مانند لاروهای مگس سرباز سیاه مقدار آن بیش از ۱۵ درصد وزن خشک گزارش شده است. لاروهای مگس سرباز سیاه غنی از کلسیم (۷/۶ درصد ماده خشک) هستند، اما حشرات دیگر دارای سطوح کلسیم بسیار پایینی هستند بنابراین در صورت استفاده از آرد حشرات به‌عنوان جایگزین آرد ماهی، مکمل کلسیم مورد نیاز است. البته با غنی‌سازی بستر پرورش حشرات با کلسیم می‌توان سطح کلسیم در آرد لاروها را افزایش داد (جدول ۲). نسبت کلسیم به فسفر در حشرات معمولاً بین ۰/۲ تا ۱/۲ متفاوت است (به‌جز برای لاروهای مگس سرباز سیاه که این نسبت ۸/۴ است) این مقدار کم‌تر از مقادیر بهینه توصیه شده برای ماهی (۱/۴-۱/۱) است (چاوز-سانچز و همکاران، ۲۰۰۰). در برخی از حشرات مانند آرد مگس خانگی و جیرجیرک میزان فسفر نسبتاً بالا است (۱ تا ۱/۶ درصد ماده خشک).

اسیدهای چرب: پروفایل اسیدهای چرب حشرات مختلف در جدول ۴ آورده شده است. غلظت اسیدهای چرب اشباع نشده در آرد لارو سوسک زرد آرد، جیرجیرک خانگی و مگس خانگی حداکثر (۷۰-۶۰ درصد) و در لاروهای مگس سرباز سیاه، به دلیل سطح بالای اسیدهای چرب اشباع شده، حداقل (۳۷-۱۹ درصد) است. همانند بسیاری از روغن‌های گیاهی (از جمله سویا و آفتابگردان)، غلظت اسید لینولنیک بسیار بیشتر از اسید آلفا لینولنیک است. در مقایسه با روغن ماهی، حشرات خاکزی حاوی مقادیر

جدول ۴- ترکیب اسیدهای چرب موجود در چربی حشرات (ماخار و همکاران، ۲۰۱۴).

نوع اسیدهای چرب	مگس سرباز سیاه	مگس خانگی	سوسک زرد آرد	جیرجیرک خانگی	روغن ماهی
اسیدهای چرب اشباع (%)					
اسید لوریک C12:0	۲۱/۴	-	۰/۵	-	-
اسید میریستیک C14:0	۲/۹	۵/۵	۴	۰/۷	۳/۷-۷/۶
اسید پالمیتیک C16:0	۱۶/۱	۳۱/۱	۲۱/۱	۲۳/۴	۱۰/۲-۲۰/۹
اسید استاریک C18:0	۵/۷	۳/۴	۲/۷	۹/۸	۱/۱-۴/۷
اسیدهای چرب اشباع دارای یک پیوند دوگانه (%)					
اسید پالمیتوئیک C16:1 (امگا ۷)	۳/۵	۱۳/۴	۴	۱/۳	۸/۷-۱۲/۵
اسید اولئیک C18:1 (امگا ۹)	۱۱/۸	۲۴/۸	۳۷/۷	۲۳/۸	۱۱/۴-۱۸/۶
اسیدهای چرب غیر اشباع (%)					
اسید لینولئیک C18:2 (امگا ۶)	۴/۵	۱۹/۸	۲۷/۴	۳۸	۱/۱-۱/۳
اسید آلفا لینولئیک C18:3 (امگا ۳)	۰/۱۹	۲	۱/۲	۱/۲	۰/۳-۰/۸
اسید ایکوزاپنتانوئیک (EPA) C20:5n-3	۰/۰۳	-	-	-	۳/۷-۱۶/۹
اسید داکوساگزاوئیک (DHA) C22:6n-3	۰/۰۰۶	-	-	-	۲-۲۲

نمونه‌های کاربردی: تاکنون ۱۵ گونه از ۵ راسته حشرات برای پرورش بیش از ۲۰ گونه ماهی پرورشی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند (جدول ۵). نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که مقدار مجاز جایگزینی آرد ماهی با آرد حشرات بین ۱۰۰-۱۵ درصد متفاوت است. این تفاوت بستگی به گونه‌های حشرات و گونه‌های ماهی دارد (راپاتسا و مویو، ۲۰۱۷). قزل‌آلای رنگین‌کمان از جمله مهم‌ترین ماهی‌های تجاری است که برای پرورش آن از غذاهای مبتنی با حشرات استفاده شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که

این گونه واکنش‌های متفاوتی را در برابر حشرات مختلف نشان می‌دهد برای مثال در حالی که مقدار مجاز جایگزینی آرد مگس سرباز سیاه با آرد ماهی ۵۰ درصد گزارش شده است، مقدار مجاز جایگزینی آرد مگس خانگی و سوسک زرد آرد ۲۵ درصد می‌باشد (جدول ۵). ماهی‌های سالمون، گربه‌ماهی آفریقایی و تیلاپیانیل از جمله گونه‌هایی هستند که می‌توان در پرورش آن‌ها آرد حشرات را به‌طور کامل جایگزین نمود.

جدول ۵- فهرستی از حشرات استفاده شده در جیره غذایی ماهی‌ها.

منبع	مقدار مجاز جایگزینی با آرد ماهی (درصد)	ماهی مورد آزمایش	حشره مورد آزمایش	
			راسته	گونه
Katya et al., 2017	بین ۲۸-۵۰	سی‌باس آسیایی <i>Latescalcarifer</i>		
Stameret et al., 2014, Borgognoet al., 2016	۵۰	قزل‌آلای رنگین‌کمان <i>Oncorhynchus mykiss</i>		
Cumminset al., 2017	۱۵-۲۵	میگوی سفید <i>Litopenaeus vannamei</i>		
Kroeckeleit et al., 2012	۳۳	سپر ماهی <i>Psetta maxima</i>		
Lock et al., 2015, Belghit et al., 2018	۱۰۰	سالمون <i>Salmo salar</i>	مگس سرپاز سیاه <i>Hermetia illucens</i>	
Bondari & Sheppard, 1987	۱۰	تیلاپای آبی <i>Oreochromis aureus</i>		
Bondari & Sheppard, 1987	۲۵	گره‌ماهی <i>Ictalurus punctatus</i>		
Webster et al., 2015	۷۵	تیلاپا نیل <i>Oreochromis niloticus</i>		
St-Hilaire et al., 2007	۲۵	قزل‌آلای رنگین‌کمان <i>O. mykiss</i>		
Fasakin et al. 2003, Idowu et al., 2003	۵۰-۱۰۰	گره‌ماهی آفریقایی <i>Clarias gariepinus</i>		دوبالان Diptera
Dong et al., 2013	-	گره‌ماهی <i>Pseudobagrus vachellii</i>		
Ogunji et al., 2007	۵۰-۱۰۰	تیلاپا نیل <i>O. niloticus</i>		
Ming et al., 2013	-	کیور سیاه <i>Mylopharyngodon piceus</i>		
Madu and Ufodike, 2003	-	گره‌ماهی آفریقایی <i>C. anguillaris</i>	مگس خانگی <i>Musca domestica</i>	
Dong et al., 2013	۷۰	کیور نقره‌ای <i>Carassius auratus gibelio</i>		
Ossey et al., 2012	۸۰	گره‌ماهی <i>Heterobranchus longifilis</i>		
St-Hilaire et al., 2007	۲۵	قزل‌آلای رنگین‌کمان <i>O. mykiss</i>		
Sogbesan et al., 2006	۷۵	ماهی <i>H. longifilis</i> × <i>C. gariepinus</i>		
Ostaszewska et al., 2011	-	قزل‌آلای رنگین‌کمان <i>O. mykiss</i>	پشه خانگی <i>Culex pipiens</i>	
Gasco et al. 2014	۲۵-۵۰	قزل‌آلای رنگین‌کمان <i>O. mykiss</i>		
Ng et al., 2001	۴۰-۸۰	گره‌ماهی آفریقایی <i>C. anguillaris</i>		
Henry et al., 2015	۲۵	ماهی خاردار اروپایی <i>Dicentrarchus labrax</i>	سوسک زرد آرد <i>Tenebrio molitor</i>	
Sánchez-Muros et al., 2015	۲۵-۵۰	تیلاپا نیل <i>O. niloticus</i>		سخت بالپوشان Coleoptera
Roncarati et al., 2014	۵۰	ماهی <i>Ameiurus melas</i>		
Jabir et al. 2012	۵۰-۷۵	تیلاپا نیل <i>O. niloticus</i>	سوسک سیاه آرد <i>Zophobas morio</i>	
Ogunji et al., 2008	کم‌تر از ۱۵	تیلاپا نیل <i>O. niloticus</i>	سوسک کرگدنی نارگیل <i>Oryctes rhinoceros</i>	

ادامه جدول ۵-

منبع	مقدار مجاز جایگزینی با آرد ماهی (درصد)	ماهی مورد آزمایش	حشره مورد آزمایش	
			گونه	راسته
Solomon et al., 2007	۷۵	گره ماهی <i>Heterobranchus bidorsalis</i>	موریانه	
Achionye-Nzeh et al., 2004	۴۰	گره ماهی آفریقایی <i>C. anguillaris</i>	<i>Macrotermes nigeriensis</i>	مساوی بالان Isoptera
Sogbesan & Ugwumba, 2008	۵۰	گره ماهی <i>H. longifilis</i>	موریانه <i>Macrotermes sp.</i>	
Venkatesh et al., 1986	-	گره ماهی <i>Clarias batrachus</i>		
Boscolo et al., 2001	۵	تیلاپیا نیل <i>O. niloticus</i>		
Nandeeshya et al., 1999	۱۰۰	کیپر معمولی <i>Cyprinus carpio</i>		
Makkar et al., 2014	۵۰	<i>Tor khudree</i>		
Sawhney, 2014	۷۰	<i>Tor putitora</i>		
Begun et al., 1994	۵۰	ماهی <i>Labeo rohita</i>		
Mahata et al., 1994	۱۹	ماهی <i>Barbonymus gonionotus</i>	کرم ابریشم <i>Bombyx mori</i>	
Hossain et al., 1993	۷۵	ماهی <i>Heteropneustes fossilis</i>		بالیولکداران Lepidoptera
Ji et al., 2010	-	ماهی سوزوکی <i>Lateolabrax japonicus</i>		
Jintasatapom et al., 2011	۵۰	ماهی <i>Trichogaster pectoralis</i>		
Lee et al., 2012	۱۰	ماهی کفشک زیتونی <i>Paralichthys olivaceus</i>		
Akiyama et al., 1984	۵	ماهی آزاد <i>Oncorhynchus keta</i>		
Rapatsa & Moyo, 2017	۶۰	تیلاپای موزامبیک <i>Oreochromis mossambicus</i>	لارو پروانه <i>Imbrasiabelina</i>	
Oso & Ola-Oladimeji, 2016	۱۰۰	گره ماهی آفریقایی <i>C. anguillaris</i>	لارو پروانه <i>Cirinaforda</i>	
Johri et al., 2011	۱۰۰	گره ماهی <i>C. batrachus</i>	ملخ <i>Poeciloceruspictus</i>	
Abanikannda, 2012	۲۵	تیلاپیا نیل <i>O. niloticus</i>	ملخ مهاجر <i>Locustamigratoria</i>	راست بالان
Alegbeleye et al., 2012	۲۵	گره ماهی آفریقایی <i>C. anguillaris</i>	ملخ <i>Zonocerus variegatus</i>	Orthoptera
Balogun, 2011	۲۵	گره ماهی آفریقایی <i>C. anguillaris</i>	ملخ صحرائی <i>Schistocerca gregaria</i>	

است. در بین راسته‌های حشرات نیز آرد به‌دست آمده از گونه‌های متعلق به راسته دوبالان (Diptera) مانند آرد مگس خانگی و آرد مگس سرباز سیاه بیش‌ترین مشابهت را با آرد ماهی دارا هستند. با این‌حال استفاده از آرد حشرات باید در نظر گرفتن ملاحظات همراه باشد. مقدار اسید چرب موجود در آرد حشرات با میزان آن در آرد ماهی متفاوت است. آرد ماهی غنی از اسیدهای چرب امگا ۳، به‌ویژه ایکوساپنتائوئیک اسید (EPA) (۱۴ درصد) و دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) (۱۶ درصد) می‌باشد که عمدتاً در حشرات وجود ندارد. ولی حشرات دارای نسبت‌های بالاتری از اسیدهای چرب امگا ۶ و چربی‌های غیراشباع هستند (Barroso et al. 2014). همچنین همه حشرات دارای کیتین در اسکلت خارجی خود هستند. هر چند مزایای استفاده از کیتین در رژیم غذایی ماهی‌ها گزارش شده است (رینگو و همکاران، ۲۰۱۲)، اما به‌طورکلی عقیده بر آن است که کیتین یکی از عوامل محدودکننده استفاده از حشرات در خوراک ماهی است (نگ و همکاران، ۲۰۰۱؛ سانچز موروس و همکاران، ۲۰۱۴). البته امروزه می‌توان این نواقص را در فرایند فرآوری کنترل کرد.

ارزیابی اقتصادی: موفقیت هر محصول در رقابت با محصولات مشابه مرهون مقرون به صرفه بودن تولید آن است. تولید آرد حشرات نیز از این اصل مستثنی نیست. هر چند در حال حاضر سایر رقبای آرد حشرات مانند آرد سویا و آرد ضایعات کشتارگاهی، به‌علت سابقه و تولید در اشل صنعتی از قیمت مناسب‌تری برخوردار هستند، ولی باید توجه داشت که دسترسی به هر کدام از آن‌ها در آینده نزدیک دارای محدودیت‌هایی خواهد بود. برای مثال با توجه محدودیت تامین آب کشاورزی و از طرف دیگر کاهش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی، اختصاص بخشی از تولید سویا به تولید غذای آبزیان دور از انتظار می‌باشد. همچنین نقش دام‌ها، به‌خصوص دام‌های سنگین در افزایش گازهای گلخانه‌ای و تخریب لایه ازن را نباید از نظر دور داشت.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج پژوهش‌هایی که تاکنون انجام شده است می‌توان دریافت که حشرات از پتانسیل خوبی برای تامین غذای آبزیان پرورشی برخوردار هستند. در این میان سازگاری آبزیان آب شیرین نسبت به آبزیان آب شور در تغذیه از حشرات بیش‌تر

منابع

1. Arbab, A. 2018. The role of insects in aquatic diets: a case study of mealworm, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). Ornamental aquatics, 5: 1. 41-52.
2. Arbab, A. 2018. Industrial insects: Volume I: Mealworm, *Tenebrio molitor* (Col.: Tenebrionidae) Familiarization, breeding, processing and applications. Islamic Azad Univ. Press, 215p.
3. Abanikannda, M.F. 2012. Nutrient digestibility and haematology of *Nile tilapia* (*Oreochromis niloticus*) fed with varying levels of locust (*Locusta migratoria*) meal. Bachelor of aquaculture and fisheries management, Federal University of Agriculture, Abeokuta, Ogun State.
4. Akiyama, T., Murai, T., Hirasawa, Y., and Nose, T. 1984. Supplementation of various meals to fishmeal diet for chum salmon fry. *Aquaculture*. 37: 217-222.
5. Alegbeleye, W.O., Obasa, S.O., Olude, O.O., Otubu, K., and Jimoh, W. 2012. Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (*Zonocerus variegatus* L.) for African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fingerlings. *Aquaculture Research*. 43: 412-420.

6. Ayoola, A.A. 2010. Replacement of Fish Meal with Alternative Protein Source in Aquaculture Diets. M.Sc. Thesis, North Carolina State University, North Carolina, USA.
7. Balian, E., Segers, H., Le've'que, C., and Martens, K. 2008. The freshwater animal diversity assessment: an overview of the results. In: Balian, E. et al. (eds), Freshwater Animal Diversity Assessment. Hydrobiologia. 595: 627-637.
8. Balogun, B.I. 2011. Growth performance and feed utilization of *Clarias gariepinus* (Teugels) fed different dietary levels of soaked *Bauhinia monandra* (Linn.) seed meal and sun-dried locust meal (*Schistocerca gregaria*). Unpublished Ph.D Thesis, Ahmadu Bello University, Zaria.
9. Barroso, F.G., de Haro, C., Sánchez-Muros, M.J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., and Pérez-Bañón, C. 2014. The potential of various insect species for use as food for fish. Aquaculture. 422-423: 193-201.
10. Belghit, I., Liland, N.S., Waagbø, R., Biancarosa, I., Pelusio, N., Li, Y., Krogdahl, Å., and Lock, E.J. 2018. Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*), Aquaculture. 491: 72-81.
11. Bell, J.G., Ghioni, C., and Sargent, J.R. 1994. Fatty acid compositions of 10 freshwater invertebrates which are natural food organisms of Atlantic salmon parr (*Salmo salar*): A comparison with commercial diets. Aquaculture. 128: 301-313.
12. Bondari, K., and Sheppard, D.C. 1987. Soldier fly, *Hermetia illucens* L., larvae as feed for channel catfish, *Ictalurus punctatus* Rafinesque, and blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner) Aquaculture and Fisheries Mgt. 18: 209-20.
13. Borgogno, M., Dinnella, C., Iaconisi, V., Fusi, R., Scarpaleggia, C., Schiavone, A., Monteleone, E., Gasco, L., and Parisi, G. 2017. Inclusion of *Hermetia illucens* larvae meal on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feed: effect on sensory profile according to static and dynamic evaluations. J. Sci. Food Agric. 97: 3402-3411.
14. Chavez-Sanchez, C., Martinez-Palacios, C.A., Martinez-Perez, G., and Ross, L.G. 2000. Phosphorus and calcium requirements in the diet of the American cichlid *Cichlasoma urophthalmus* (Gunther). Aquaculture Nutrition. 6: 1. 1-10.
15. Collavo, A., Glew, R.H., Huang, Y.S., Chuang, L.T., Bosse, R., and Paoletti, M.G. 2005. Housecricket small-scale farming. In: Ecological Implications of Minilivestock: Potential of Insects, Rodents, Frogs and Snails. Ed. Paoletti, M.G. New Hampshire Science Publishers. Pp: 519-544.
16. Cummins, V.C. Jr, Rawles, S.D., Thompson, K.R., Velasquez, A., Kobaya-shi, Y., Hager, J., and Webster, C.D. 2017. Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Aquaculture. 473: 337-344.
17. Emre, Y., Sevgili, H., and Diler, I. 2003. Replacing fish meal with poultry by-product meal in practical diets for mirror carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings. Turk. J. Fish. Aqua. Sci. 3: 81-85.
18. FAO. 2010. The State of World Fisheries and Aquaculture 2010. www.fao.org/3/a-i1820e.pdf.
19. FAO. 2016. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016 Contributing to Food.
20. Fasakin, E.A., Balogun, A.M., and Ajayi, O.O. 2003. Nutrition implication of processed maggot meals; hydrolyzed, defatted, full-fat, sun-dried and oven-dried, in the diets of *Clarias gariepinus* fingerlings. Aquaculture Research. 9: 34. 733-738.
21. Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., and Fountoulaki, E. 2015. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future Animal Feed Science and Technology, 203: 1-22.
22. Hickling, C.F. 1962. Fish culture. Faber and Faber, London, 296p.

23. Idowu, A.B., Amusan, A.S., and Oyediran, A.G. 2003. The response of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) to the diet containing housefly maggot, (*Musca domestica*). Niger. J. Anim. Prod. 30: 1. 139-144.
24. Ji, W.X., Wang, Y., and Tang, J.Y. 2010. Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) reared in sea water. J. Fish. China. 34: 101-107.
25. Johri, R., Singh, R., and Johri, P.K. 2011. Histopathological examination of the gill, liver, kidney, stomach, intestine, testis and ovary of *Clarias batrachus* Linn. during the feeding on different formulated feeds. J. Exp. Zool. Ind. 14: 77-79.
26. Katya, K., Borsra, M.Z.S., Ganesan, D., Kuppusamy, G., Herriman, M., Salter, A., and Ali, S.A. 2017. Efficacy of insect larval meal to replace fish meal in juvenile barramundi, *Lates calcarifer* reared in freshwater. International Aquatic Research, 9: 303-31.
27. Kroeckel, S., Harjes, A.G.E., Roth, I., Katz, H., Wuertz, S., Susenbeth, A., and Schulz, C. 2012. When a turbot catches a fly: evaluation of a prepupae meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). Aquaculture, 364-365: 345-352.
28. Lee, J., Choi, I.C., Kim, K.T., Cho, S.H., and Yoo, J.Y. 2012. Response of dietary substitution of fishmeal with various protein sources on growth, body composition and blood chemistry of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*, Temminck & Schlegel, 1846). Fish Physiology and Biochemistry. 38: 735-744.
29. Lindsay, G.J.H., Walton, M.J., Adron, J.W., Fletcher, T.C., Cho, C.Y., and Cowey, C.B. 1984. The growth of rainbow trout given diets containing chitin and its relationship to chitinolytic enzymes and chitin digestibility. Aquaculture, 37: 315-334.
30. Lock, E.J., Arsiwalla, T., and Waagbø, R. 2014. Insect meal: A promising source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*). In: Insects to Feed The World, The Netherlands, 14-17 May 2014. 74p.
31. Makkar, H.P.S., Tran, G., Heuzé, V., and Ankers, P. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. Animal Feed Science and Technology, 197: 1-33.
32. Médale, F., Le Boucher, R., Dupont-Nivet, M., Quillet, E., Aubin, J., and Panserat, S. 2013. Des aliments à base de végétaux pour les poissons d'élevage. INRA Productions Animales. 26: 303-316.
33. Meeker, D.L. 2006. Essential rendering, all about the animal by-products industry, National Renderers Association, http://assets.nationalrenderers.org/essential_rendering_book.pdf.
34. Moraraki, N., and Mostafavi, Z. 2016. Evaluating the possibility of replacing fish meal with poultry by product meal with emphasis on growth and feeding performance of gold severum (*Cichlasoma severum*). Ornamental aquatics, 3: 4. 9-17.
35. Nandeesh, M.C., Gangadhara, B., Varghese, T.J., and Keshavanath, P. 2000. Growth response and flesh quality of common carp, *Cyprinus carpio* fed with high levels of non-defatted silkworm pupae. Asian Fisheries Science. 13: 235-242.
36. Ng, W.K., Liew, F.L., Ang, L.P., and Wong, K.W. 2001. Potential of mealworm (*Tenebriomolitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. Aquaculture Research, 32: 273-280.
37. Ogunji, J.O., Kloas, W., Wirth, M., Schulz, C., and Rennert, B. 2006. Housefly maggot meal (Magmeal): An emerging substitute of fishmeal in *Tilapia* diets. Stuttgart-Hohenheim, Conference on International Agricultural Research for Development. October 11-13.
38. Ogunji, J.O., Toor, R., Schulz, C., and Kloas, W. 2008. Growth performance, nutrient utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed housefly

- maggot meal (magmeal) diets. Turk. J. Fish. Aqua. Sci. 8: 141-147.
39. Oonincx, D., van Itterbeeck, J., Heetkamp, M., van den Brand, H., van Loon, J.J.A., and van Huis, A. 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. Plos One. 5: e14445.
 40. Oso, J.A., and Ola-Oladimeji, F.A. 2016. Preliminary assessment of growth performance and nutrient utilization of Fingerlings fed *Cirinaforda* (Westwood, 1849) as protein source. Int. J. Aquacul. Fish. Sci. 2: 1. 039-042.
 41. Ossey, Y.B., Koumi, A.R., Koffi, Atse, K.M.B.C., and Kouame, L.P. 2012. Use of soybean, bovine brain and maggot as sources of dietary protein in larval *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840). J. Anim. Plant Sci. 15: 2099.
 42. Rapatsa, M.M., and Moyo, A.G. 2017. Evaluation of *Imbrasiabelina* meal as a fishmeal substitute in *Oreochromis mossambicus* diets: Growth performance, histological analysis and enzyme activity. Aquaculture Reports, 5, 18-26. Security and Nutrition for All, Rome. Link: <https://goo.gl/31FI8D>.
 43. Riddick, E.W. 2014. Insect protein as partial replacement for fishmeal in the diets of juvenile fish and crustaceans. In: Morales-Ramos, J., Rojas, G., Shapiro-Ilan, D.I. (Eds.), Mass production of beneficial organisms. Invertebrates and Entomopathogens. Academic Press, San Diego, USA, Pp: 565-582.
 44. Ring, E., Zigang, Z., Olsen, R.E., and Song, S.K. 2012. Use of chitin and krill in aquaculture-the effect on gut microbiota and the immune system. A review. Aquaculture Nutrition, 18: 2. 117-131.
 45. Rust, M.B. 2002. Nutritional physiology. P 368-446. In: Fish nutrition (ed. By Halver J.E., Hardy R.W.). The Academic Press, New York, USA.
 46. Sánchez-Muros, M.J., Barroso, F.G., and de Haro, C. 2016. Brief summary of insect usage as an industrial animal feed/feed ingredient. In: Dossey, A.T., Morales-Ramos, J.A., & Rojas, M.G. (Eds.) Insects as Sustainable Food Ingredients, P 273-309. San Diego: Academic Press.
 47. Sanchez-Muros, M.J., Barroso, F.G., and Manzano-Agugliaro, F. 2014. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: A review. J. Clean Prod. 65: 16-27.
 48. Sawhney, S. 2014. Effect of feeding levels on the growth of *Tor putitora* fry and fingerling. Asi. J. Sci. Technol. 5: 6. 348-351.
 49. Sogbesan, A.O., Adebisi, A.A., Falaye B.A., Okaeme, B.N., and Made, C.T. 2006. Some aspects of dietary protein deficiency diseases in semi intensive cultured fishes. A review J. Arid Zone Fish. 2: 1. 80-89.
 50. Stamer, A., Wesselss, S., Neidigk, R., and Hoerstgen-Schwark, G. 2014. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae-meal as an example for a new feed ingredient's class in aquaculture diets. Paper presented at the 4th ISOFAR scientific conference "Building Organic Bridges", at the organic world conference, Istanbul, Turkey, 13-15.
 51. St-Hilaire, S., Cranfill, K., McGuire, M.A., Mosley, E.E., Tomberlin, J.K., Newton, L., Sealey, W., Sheppard, C., and Irving, S. 2007. Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. J. World Aquacul. Soc. 38: 309-313.
 52. Tacon, A.G.C., Haasterj, V., Featherstonep, B., Kerr, K., and Jackson, A.J. 1983. Studies on the utilisation of full-fat soybean and solvent extracted soybean meal in a complete diet for rainbow trout. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. 49: 1437-1443.
 53. Thoman, E.S., Davids, A., and Arnold, C.R. 1999. Evaluation of growth out diets with varying protein and energy levels for red drum. Aquaculture. 176: 343-353.
 54. Tran, G., Heuzé, V., and Makkar, H.P.S. 2015. Insects in fish diets. Animal Frontiers. 5: 37-44.

55. Tschirner, M., and Kloas, W. 2017. Increasing the Sustainability of Aquaculture Systems: Insects as alternative protein source for fish diets. *Fish Diets*, GAIA26/4: 332-340.
56. Venkatesh, B., Mukherji, A.P., Mukhopadhyay, P.K., and Dehadrai, P.V. 1986. Growth and metabolism of the catfish *Clarias batrachus* fed with different experimental diets. *Proceeding of Indian Academy of Sciences (Anim. Sci.)*. 95: 457-462.
57. Webster, C.D., Rawles, S.D., Koch, J.F., Thompson, J.R., Kobayashi, Y., Gannam, A.L., Twibell, R.G., and Hyde, N.M. 2015. Bio-Ag reutilization of distiller's dried grains with solubles (DDGS) as a substrate for black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, along with poultry by-product meal and soybean meal, as total replacement of fishmeal in diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition*. 22: 976-988.

