



University of Tehran

Effects of different Astaxanthin extracted sources in the diet on growth performance, biochemical composition of the carcass, and Astaxanthin absorption rates in post-larvae of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)

Mahdi Naseri¹ | Amir Hoshang Bahri^{2*} |
Flora Mohammadizadeh³ | Maziar Yahyavi⁴

1. Department of Fisheries, B.A.C., Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran. Email: m.naseri9320@iau.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Fisheries, Marine and Fisheries Technologies Research Center, B.A.C., Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran. Email: amirbahri52@iau.ac.ir
3. Department of Fisheries, Marine and Fisheries Technologies Research Center, B.A.C., Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran. Email: fmohammadi13@iau.ac.ir
4. Department of Fisheries, Marine and Fisheries Technologies Research Center, B.A.C., Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran. Email: m.yahyavi@iau.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received: 09 April 2025

Revised: 13 July 2025

Accepted: 30 July 2025

Published online: 23 September 2025

Keywords:

Astaxanthin,
Carcass composition,
Growth performance,
Litopenaeus vannamei,
Plant and animal sources,
Survival rate.

ABSTRACT

In this study, Shrimp with an average weight of 3.1 ± 0.3 grs were distributed in 14 300-liter experimental culture tanks with a density of 40 post-larvae and were fed with experimental diets for 56 days. Treatments were consisted of positive control (200 mg of synthetic astaxanthin powder per kilogram of feed weight), negative control (lacking astaxanthin), treatment 1 (200 mg of astaxanthin powder from *Gracilaria corticata* algae source per kilogram of feed weight), treatment 2 (200 mg of astaxanthin powder from *Sargassum polycystum* algae source per kilogram of feed weight), treatment 3 (200 mg of astaxanthin powder from *Pontogammarus (Pontogammarus) maoticus* source per kilogram of feed weight), and treatment 4 (200 mg of astaxanthin powder from *Penaeus vannamei* shrimp skin source per kilogram of feed weight). Based on these results, the percentage of length increase, specific growth rate (SGR), survival rate, and feed conversion ratio (FCR) in treatment 4 showed a significant difference compared to control groups, treatments 1 and 2 ($P < 0.05$). There was a significant difference in body weight gain and in body weight percent between treatments 3 and 4 compared to other treatments ($P < 0.05$). Also, statistical analysis showed that there was a significant difference in the percentage of protein and carcass moisture in *Penaeus vannamei* fed with 200 mg of astaxanthin from *Penaeus vannamei* source (treatment 4) compared to other treatments ($P < 0.05$). In this study, shrimp in treatment 4 had the highest amount of crude protein (23.43 ± 0.31) and the lowest percentage of moisture (73.45 ± 0.45) ($P < 0.05$). Overall, the use of 200 mg of astaxanthin derived from *Vannamei* shrimp in the diet had a positive and significant effect on growth indices, survival, and the chemical composition of the carcass of Western white shrimp post-larvae.

Cite this article: Naseri, M., Bahri, A.H., Mohammadizadeh, F., Yahyavi, M. (2025). Effects of different Astaxanthin extracted sources in the diet on growth performance, biochemical composition of the carcass, and Astaxanthin absorption rates in post-larvae of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Journal of Fisheries*, 78 (3), 205-213. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2025.377750.1429>



© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2025.377750.1429>



دانشگاه تهران

شیلات، مجله منابع طبیعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۷۸۰۹-۲۴۲۳

سایت نشریه: <https://jfisheries.ut.ac.ir>

مقایسه اثر آستازانتین استخراج شده از منابع مختلف در جیره غذایی

بر شاخص‌های رشد، ترکیب بیوشیمیایی لاشه و جذب آستازانتین در پست‌لاروهای میگوی پا

سفید غربی (*Litopenaeus vannamei*)

مهدی ناصری^۱ | امیر هوشنگ بحری^{۲*} | فلورا محمدی زاده^۳ | مازیار یحیوی^۴

۱. گروه شیلات، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران. رایانامه: m.naseri9320@iau.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه شیلات، مرکز تحقیقات فناوری‌های دریایی و شیلاتی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران. رایانامه: amirbahri52@iau.ac.ir

۳. گروه شیلات، مرکز تحقیقات فناوری‌های دریایی و شیلاتی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران. رایانامه: fmohammadi13@iau.ac.ir

۴. گروه شیلات، مرکز تحقیقات فناوری‌های دریایی و شیلاتی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران. رایانامه: m.yahyavi@iau.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه:

آستازانتین،

ترکیبات لاشه،

درصد بقا،

عملکرد رشد،

میگوی پا سفید غربی.

در این مطالعه میگوها با میانگین وزنی $5/1 \pm 0/3$ گرم در ۱۴ مخزن فایبرگلاس ۳۰۰ لیتری با تراکم ۴۰ عدد پست‌لارو میگو توزیع و طی مدت ۵۶ روز با تیمارهای: کنترل مثبت (۲۰۰ میلی گرم پودر آستازانتین سنتتیک به هر کیلوگرم وزن جیره)، کنترل منفی (فاقد آستازانتین)، تیمار ۱ (۲۰۰ میلی گرم پودر آستازانتین از منبع جلبک *Gracilaria corticata* به هر کیلوگرم وزن جیره)، تیمار ۲ (۲۰۰ میلی گرم پودر آستازانتین از منبع جلبک *Sargassum polycystum* به هر کیلوگرم وزن جیره)، تیمار ۳ (۲۰۰ میلی گرم پودر آستازانتین از منبع گاماروس (*Pontogammarus maeoticus*) به هر کیلوگرم وزن جیره) و تیمار ۴ (۲۰۰ میلی گرم پودر آستازانتین از منبع پوست میگو وانامی به هر کیلوگرم وزن جیره) غذادهی شدند. براساس نتایج، درصد افزایش طول، میزان نرخ رشد ویژه (SGR)، درصد بقا و ضریب تبدیل غذایی (FCR) در تیمار ۴ نسبت به گروه شاهد، تیمارهای ۱ و ۲ اختلاف معنی داری را نشان داد ($P < 0/05$). اختلاف معنی داری در میزان افزایش وزن بدن و درصد افزایش وزن بدن بین تیمارهای ۳ و ۴ نسبت به سایر تیمارها مشاهده شد ($P < 0/05$). همچنین اختلاف معنی داری در درصد پروتئین و رطوبت لاشه در میگو وانامی تغذیه شده با ۲۰۰ میلی گرم آستازانتین از منبع میگو وانامی (در تیمار ۴) با سایر تیمارها وجود داشت ($P < 0/05$). میگوهای تغذیه شده در تیمار ۴ بالاترین مقدار پروتئین خام ($23/43 \pm 0/31$) و کمترین درصد رطوبت ($73/45 \pm 0/45$) را داشتند ($P < 0/05$). در مجموع استفاده از ۲۰۰ میلی گرم آستازانتین حاصل از منبع میگو وانامی بر شاخص‌های رشد، بقا و ترکیبات شیمیایی لاشه پست‌لاروهای میگوی پا سفید غربی دارای اثر بخشی مثبت و معنی دار بود.

استناد: ناصری؛ مهدی؛ بحری؛ امیر هوشنگ؛ محمدی زاده؛ فلورا؛ یحیوی؛ مازیار (۱۴۰۴). مقایسه اثر آستازانتین استخراج شده از منابع مختلف در جیره غذایی بر شاخص‌های رشد، ترکیب بیوشیمیایی لاشه و جذب آستازانتین در پست‌لاروهای میگوی پا سفید غربی (*Litopenaeus vannamei*). نشریه شیلات، مجله منابع طبیعی ایران، ۷۸ (۳)، ۲۱۳-۲۰۵

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2025.377750.1429>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2025.377750.1429>



۱. مقدمه

میگوی پا سفید غربی (*Litopenaeus vannamei*) یکی از مهم‌ترین گونه‌های تجاری در صنعت آبی‌پروری دنیا و از جمله ایران می‌باشد. این گونه نسبت به بیماری‌های رایج میگو و شرایط نامطلوب اکولوژیک از مقاومت و رشد بهتری برخوردار است (Kakoolaki et al., 2014). از آنجا که رنگدانه‌ها نقش مهمی در جیره غذایی حیوانات و صنعت تولید خوراک دام ایفا می‌کنند، یکی از عوامل مهم در پرورش میگو و حصول اطمینان از کیفیت مناسب پست‌لاروها، استفاده از مواد غذایی باکیفیت بالا است. یکی از مواد افزودنی به خوراک، رنگدانه کاروتنوئیدی آستاگزانتین است که کاروتنوئید اصلی و غالب در میگو به‌شمار می‌آید ولی توسط میگو به‌صورت زیستی ساخته نمی‌شود و بایستی این مواد را از جیره غذایی دریافت کند. از اثرات رنگدانه کاروتنوئیدی آستاگزانتین در میگو می‌توان به تجمع رنگدانه‌ها در بافت و خوش‌رنگ شدن محصول و در نتیجه افزایش بازارپسندی، ثبات در غشای سلولی، بهبود سلامتی و ایمنی از طریق حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن و حفاظت درون‌سلولی، بهبود عملکردهای زیستی و مقاومت در برابر استرس‌های محیطی، بهبود بقا و رشد اشاره نمود (Yaqoob et al., 2022).

استفاده از ترکیبات غذایی گیاهی به‌عنوان منبع تولید رنگدانه کاربرد زیادی در صنعت تولید غذای آبزیان دارد و تحقیقات اخیر روی پتانسیل استفاده از این ترکیبات طبیعی به‌عنوان جایگزین کاروتنوئیدهای مصنوعی به‌دلیل نگرانی از افزودنی‌های ساختگی و هزینه بالای آنها در حال انجام است (Yu et al., 2021). طبق تحقیقات انجام‌شده رنگدانه‌های طبیعی و گیاهی علاوه بر قیمت مناسب، پتانسیل به‌مراتب بهتری نسبت به رنگدانه‌های مصنوعی در جهت ایجاد رنگ و بهبود رشد گونه هدف دارند. رنگدانه‌ها با منشأ طبیعی نسبت به مصنوعی، به‌دلیل مسائل سلامتی و زیست‌محیطی از اهمیت بیشتری برخوردارند (Culot et al., 2019).

تولید رنگدانه از میکرو جلبک‌ها دارای چندین مزیت از جمله تولید ارزان و آسان، استخراج ساده، بازده بالا، نبود کمبود مواد اولیه و تغییرات فصلی خواهد بود. ارزش بالقوه مواد افزودنی برای میگوهای پرورشی به رسمیت شناخته‌شده است. در طی فرآوری میگو حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد از وزن ماده اولیه به‌عنوان ضایعات دور ریخته می‌شود؛ در حالی که این ضایعات هنوز حاوی مواد مغذی و ترکیبات ارزشمندی از قبیل پروتئین، کیتین و رنگدانه‌های کاروتنوئیدی هستند (Hooshmand et al., 2021). بازیابی کاروتنوئیدهایی مانند آستاگزانتین از محصولات جانبی جامد میگو نیز به‌دلیل کاربرد آن در صنایع دارویی، شیمیایی و غذایی و خوراک دام، به‌علت رنگ‌بخشی و خواص آنتی‌اکسیدانی به‌طور گسترده مورد توجه قرار گرفته است (Gao et al., 2020). با توجه به اینکه تحقیقات گسترده‌ای پیرامون اثربخشی رنگدانه آستاگزانتین با منشأ گیاهی و جانوری و تجزیه و تحلیل تأثیر آن بر رشد و بازماندگی پست‌لارو میگوی وانامی در ایران صورت نگرفته است. از این‌رو اهمیت، شناسایی و استفاده از این رنگدانه در رژیم‌های غذایی، به‌منظور رشد و افزایش بقای پست‌لاروها و لاروهای میگو وانامی، جهت حصول مولدین با وزن و اندازه بالاتر و همچنین شاخص‌های رشد و بازماندگی مطلوب‌تر، بسیار حائز اهمیت بوده و تحقیقات زیادی را می‌طلبد. بنابراین در این مطالعه اثرات رنگدانه کاروتنوئیدی آستاگزانتین از ماکرو جلبک‌های *Gracilaria pygmaea* و *Sargassum gustifolium* و گونه جانوری گاماروس (*Pontogammarus maoticus*) و همچنین ضایعات میگو وانامی *Penaeus vannamei* در مقایسه با منبع سنتتیک جهت بهبود شاخص‌های رشد، زنده‌مانی و ترکیبات شیمیایی لاشه در جیره غذایی پست لاروهای میگوی پاسفید غربی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق می‌تواند زمینه استفاده مطلوب‌تر از منابع رنگدانه‌های طبیعی به‌جای سنتتیک را در صنعت آبی‌پروری کشور گسترش داده و ضمن بهبود عملکرد تکثیر و پرورش، از عوارض جانبی احتمالی ترکیبات شیمیایی بکاهد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. تهیه جیره‌های آزمایشی

جلبک‌های گراسیلاریا و سارگاسوم مورد استفاده در این بررسی از مناطق جزر و مدی نابیند و سورو سواحل بندرعباس در ظروف و کیسه‌های پلاستیکی تمیز جمع‌آوری و به آزمایشگاه محل انجام تحقیق منتقل گردید. جلبک‌های مورد نظر با توجه به کلیدهای شناسایی، تأیید گردید و سپس با آب جاری شسته شد و روی نایلون تمیزی پهن و به مدت ۴۸ ساعت در معرض هوای

آزاد قرار گرفت تا به طور کامل خشک شوند (Kanjana et al., 2011). همچنین گاماروس از شمال کشور به میزان ۳ کیلوگرم تهیه گردید. علاوه بر آن ضایعات میگوی وانامی از کارخانه‌های فرآوری میگو جمع‌آوری شد و به آزمایشگاه تحت شرایط انجماد انتقال یافت. پوسته میگوی وانامی و گاماروس با آب مقطر به خوبی شسته شدند و در خشک‌کن انجمادی در دمای ۵۰- درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس پودر شدند. پودرهای حاصل با الک آزمایشگاهی دارای اندازه روزه کوچک‌تر از ۱۵ میکرومتر الک گردید و در ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Gao et al., 2020).

۲-۲. استخراج آستاگزانتین از منابع گیاهی و جانوری

استخراج آستاگزانتین از منابع گیاهی و جانوری مورد مطالعه، به کمک روش اولتراسوند و با شرایط استخراجی شامل توان ۶۰ وات، زمان ۳۰ دقیقه و نسبت حلال به نمونه ۵:۱، به عنوان شرایط بهینه برای استخراج میگوی وانامی و سخت‌پوستان گاماروس انتخاب شد. این روش براساس دستورالعمل‌های پیشنهادی Zou و همکاران (۲۰۱۳) انجام شد. استخراج در حمام اولتراسوند با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز و دمای ۴۱/۱ درجه سانتی‌گراد در نسبت‌های مختلف حلال به نمونه، توان و زمان‌های متفاوت صورت گرفت. سپس عصاره حاصل در دمای محیط به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۸۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. قسمت بالایی نمونه جدا شد، و قسمت ته‌نشین شده به روش قبل مجدداً تحت استخراج قرار گرفت. پس از سانتریفیوژ، بخش بالایی با مقدار اولیه مخلوط و با فیلتر تفلونی به ضخامت ۰/۴۵ میکرومتر تصفیه شد (Zou et al., 2013).

۲-۳. آماده‌سازی شرایط آزمایش و تغذیه ماهیان با جیره‌های آزمایشی

این تحقیق در یک دوره ۶۰ روزه در پاییز سال ۱۴۰۲ در مرکز تکثیر میگوی ناصری واقع در شهرستان سیریک استان هرمزگان انجام شد. در ابتدای آزمایش و به منظور سازگاری میگوها با شرایط جدید پرورشی، تعداد ۵۶۰ قطعه پست‌لارو میگوی پاسبید غربی با میانگین وزنی ۵/۱±۰/۳ گرم به ۱۴ مخزن ۳۰۰ لیتری (هر مخزن شامل ۴۰ عدد پست‌لارو) که حاوی ۲۰۰ لیتر آب دریا با شرایط یکسان از نظر حجم آب و شاخص‌های کمی و کیفی مشابه به صورت تصادفی توزیع شدند. شاخص‌های دما، اکسیژن و pH محلول در آب به ترتیب توسط دماسنج جیوه‌ای، اکسیژن‌متر و pH سنج دیجیتال (شرکت WTW، آلمان) روزانه در دو نوبت صبح و عصر و شوری آب یکبار در روز با شوری‌سنج (مدل YW-622 ساخت شرکت یووکسا) در نوبت صبح، اندازه‌گیری و ثبت شد. میانگین شاخص‌های فیزیکوشیمیایی آب در طی دوره پرورش شامل: اکسیژن محلول (۶/۸±۰/۸ میلی‌گرم در لیتر)، دما (۲۸/۳±۰/۵ درجه سانتی‌گراد)، شوری (۳۰/۲±۰/۱ گرم در لیتر) و pH (۸/۳۴±۰/۴ میلی‌گرم در لیتر) بود.

در این مطالعه برای تغذیه پست‌لاروها از خوارک کنسانتره شماره ۴۰۰۴ شرکت هوراش (بوشهر، ایران) استفاده شد. آستاگزانتین سنتتیک مورد نیاز به عنوان کنترل مثبت از شرکت هفت دریا خریداری گردید. یک هفته پس از سازگاری میگوها با شرایط جدید پرورشی، میگوها طی مدت ۵۶ روز با تیمارهای: کنترل مثبت (۲۰۰ میلی‌گرم پودر آستاگزانتین سنتتیک به هر کیلوگرم وزن جیره)، کنترل منفی (فاقد آستاگزانتین)، تیمار ۱ (۲۰۰ میلی‌گرم پودر آستاگزانتین از منبع جلبک *Gracilaria corticata* به هر کیلوگرم وزن جیره)، تیمار ۲ (۲۰۰ میلی‌گرم پودر آستاگزانتین از منبع جلبک *Sargassum polycystum* به هر کیلوگرم وزن جیره، معادل ۱۳ گرم در کیلوگرم ماده اولیه)، تیمار ۳ (۲۰۰ میلی‌گرم پودر آستاگزانتین از منبع گاماروس به هر کیلوگرم وزن جیره، معادل ۱۳ گرم در کیلوگرم ماده اولیه) و تیمار ۴ (۲۰۰ میلی‌گرم پودر آستاگزانتین از منبع پوست میگو وانامی به هر کیلوگرم وزن جیره) غذادهی شدند. لازم به ذکر است که غلظت انتخاب شده بعد از انجام طرح پایلوت و بررسی سطوح ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم منابع مختلف تعیین گردید. در این بررسی به دلیل انحلال بهتر کاروتنوئیدها در روغن، از روغن سویا به عنوان حلال استفاده شد و به صورت اسپری با ژلاتین بایندر به خوراک پایه اضافه و به صورت یکنواخت و همگن مخلوط گردید. خوراک‌های آغشته به رنگدانه در سایه خشک شد و سپس در ظروف پلاستیکی درب‌دار شماره‌گذاری شده نگهداری و به صورت روزانه در اختیار میگوها قرار گرفت. در این تحقیق برای تیمار شاهد نیز (رژیم غذایی فاقد رنگدانه) همان مقدار روغنی که برای سایر تیمارها استفاده شد، اضافه گردید تا از نظر مقدار چربی بین تیمارها و شاهد اختلافی وجود نداشته باشد.

میزان غذای روزانه میگوها بر حسب وزن توده (بیومس)، دمای آب و میانگین وزن میگوها تعیین شد. تعداد دفعات غذادهی ۴ بار در روز و در ساعات ۷، ۱۳، ۱۸ و ۲۲ انجام شد. میزان غذادهی روزانه نیز به میزان ۱۲ درصد صورت گرفت. برای جلوگیری از آلودگی محیط پرورش، مواد زائد و غذای خورده نشده روزانه از کف مخازن سیفون شد و تعویض آب روزانه به میزان ۳۵ درصد انجام شد. به منظور جلوگیری از پريدن میگوها به خارج از مخزن، روی تمام مخازن با توری‌هایی با چشمه ریز پوشانده شد.

۲-۴. ارزیابی شاخص‌های رشد و بازماندگی

به منظور ارزیابی تأثیر آستاگزانتین استخراج شده از برخی منابع گیاهی و جانوری در مقایسه با نمونه سنتتیک بر شاخص‌های رشد میگوی پاسبید غربی و مقایسه بین تیمارهای مختلف، به فاصله زمانی ۱۴ روز یکبار وزن پست لاروها هر تیمار با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم و طول کل با خطکش با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. در این بررسی، نمونه‌برداری‌ها به طور کاملاً تصادفی و از ۵۰ درصد جمعیت هر تکرار انجام شد. لازم به ذکر است که یک روز قبل تا یک روز بعد از زیست‌سنجی غذادهی قطع شد. در این مطالعه، شاخص‌های رشد میگوها و درصد بازماندگی آنها طبق روابط زیر محاسبه گردید (Karnjana et al., 2019).

$100 \times (\text{وزن ابتدایی} / (\text{وزن ابتدایی بر حسب گرم} - \text{وزن نهایی بر حسب گرم})) = \text{درصد افزایش وزن بدن}$

$(\text{طول ابتدایی بر حسب میلی‌متر} - \text{طول نهایی بر حسب میلی‌متر}) = \text{افزایش طول بدن (بر حسب میلی‌متر)}$

$(\text{وزن ابتدایی بر حسب گرم} - \text{وزن نهایی بر حسب گرم}) = \text{افزایش وزن بدن (بر حسب گرم)}$

$100 \times \{(\text{تعداد روزهای پرورش}) / (\text{لگاریتم طبیعی وزن اولیه} - \text{لگاریتم طبیعی وزن ثانویه})\} = \text{ضریب رشد ویژه (SGR)}$

$(\text{افزایش وزن بدن بر حسب گرم} / \text{مقدار غذای داده شده بر حسب گرم}) = \text{ضریب تبدیل غذایی (FCR)}$

$100 \times (\text{تعداد اولیه میگو} / \text{تعداد میگوهای باقیمانده}) = \text{درصد بازماندگی (SR)}$

۲-۵. تعیین ترکیبات شیمیایی لاشه

در انتهای دوره، تعداد ۳۶ قطعه میگو (۳ میگو از هر تکرار) به صورت تصادفی انتخاب و جهت تعیین تقریبی ترکیب شیمیایی لاشه در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد منجمد شد. تعیین ترکیبات جیره در آزمایشگاه با استفاده از روش استاندارد AOAC انجام شد (AOAC, 1995). اندازه‌گیری پروتئین خام با استفاده از دستگاه کج‌دال، چربی خام به روش سوکسله، رطوبت با استفاده از آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت و مقدار خاکستر با استفاده از کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت صورت گرفت (AOAC, 1995).

۲-۶. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

این آزمایش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. در ابتدا شرط نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها به وسیله آزمون Leven تست انجام شد. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS19 استفاده شد. جهت مقایسه میانگین داده‌ها در تیمارهای مختلف از تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) استفاده گردید و در ادامه برای تعیین سطح معنی‌داری در بین تیمارهای مختلف از آزمون Tukey در سطح ۵ درصد استفاده شد. میانگین شاخص‌های مورد مطالعه همراه با انحراف معیار بیان شده است.

۳. یافته‌های پژوهش

۳-۱. شاخص‌های رشد و بازماندگی

نتایج مربوط به شاخص‌های رشد و درصد بقای تیمارهای مختلف تغذیه شده با منابع مختلف رنگدانه آستاگزانتین در انتهای دوره

در جدول ۱ ارائه شده است. براساس این نتایج درصد افزایش طول، میزان نرخ رشد ویژه (SGR)، درصد بقا و ضریب تبدیل غذایی (FCR) در تیمار ۴ (حاوی ۲۰۰ میلی گرم آستاگزانتین از منبع میگو وانامی) نسبت به گروه شاهد، تیمارهای ۱ و ۲ اختلاف معنی داری را نشان داد ($P < 0.05$). همچنین اختلاف معنی داری در میزان افزایش وزن بدن و درصد افزایش وزن بدن بین تیمارهای ۳ و ۴ نسبت با سایر تیمارها مشاهده شد ($P < 0.05$).

جدول ۱- میانگین ($\pm$ انحراف معیار) شاخص های رشد و درصد بقا در میگوهای تغذیه شده با منابع مختلف رنگدانه آستاگزانتین در انتهای روز ۵۶ پرورش

شاخص ها	نام گروه تیمارها	کنترل منفی	کنترل مثبت	تیمار ۱	تیمار ۲	تیمار ۳	تیمار ۴
افزایش وزن (گرم)		۹/۳۷ $\pm$ ۰/۳۴ ^c	۱۰/۸ $\pm$ ۰/۰۹ ^{ab}	۱۰/۳۴ $\pm$ ۰/۳۷ ^b	۱۰/۵ $\pm$ ۰/۶۲ ^b	۱۱/۳۴ $\pm$ ۰/۶۰ ^a	۱۱/۶۷ $\pm$ ۰/۴۳ ^a
درصد افزایش وزن		۷۵/۵ $\pm$ ۱/۶ ^c	۱۰۲/۳ $\pm$ ۴/۵ ^{ab}	۹۳/۶۳ $\pm$ ۱/۷۰ ^b	۹۷/۷۵ $\pm$ ۳ ^b	۱۱/۳ $\pm$ ۲/۹۰ ^a	۱۱۸/۵ $\pm$ ۴/۰ ^a
ضریب تبدیل غذایی		۱/۶۷ $\pm$ ۰/۰۹ ^a	۱/۳۹ $\pm$ ۰/۰۴ ^c	۱/۵۴ $\pm$ ۰/۰۹ ^b	۱/۴۷ $\pm$ ۰/۰۴ ^b	۱/۳۳ $\pm$ ۰/۰۴ ^d	۱/۲۷ $\pm$ ۰/۰۴ ^d
نرخ رشد ویژه		۰/۸۷ $\pm$ ۰/۰۸ ^c	۰/۹۵ $\pm$ ۰/۱۶ ^b	۰/۹ $\pm$ ۰/۱۹ ^c	۰/۹۳ $\pm$ ۰/۱۵ ^b	۰/۹۵ $\pm$ ۰/۱۷ ^b	۱/۰۵ $\pm$ ۰/۰۹ ^a
درصد بقا		۵۵/۶ $\pm$ ۰/۲۴ ^d	۶۵/۷ $\pm$ ۰/۰۷ ^c	۶۴/۷ $\pm$ ۵/۱ ^c	۶۸/۵ $\pm$ ۳/۴ ^b	۶۷/۹۵ $\pm$ ۱/۱۶ ^b	۷۳/۹۸ $\pm$ ۱/۲ ^a
افزایش طول (میلی متر)		۶۴/۱ $\pm$ ۵/۲۴ ^c	۷۳/۲ $\pm$ ۵/۰ ^b	۷۰/۱ $\pm$ ۸/۳ ^b	۷۲/۱ $\pm$ ۱۷/۹ ^b	۷۵/۲ $\pm$ ۴/۲ ^b	۸۰/۳ $\pm$ ۲/۲ ^a

حروف غیرهمسان در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد می باشد ($P < 0.05$).

۳-۲. ترکیبات شیمیایی لاشه

در جدول ۲ آنالیز ترکیب شیمیایی لاشه میگو وانامی تغذیه شده با منابع مختلف جایگزین شده رنگدانه آستاگزانتین در انتهای دوره نشان داده شده است. بررسی آماری نشان دهنده آن است که اختلاف معنی داری در درصد پروتئین و رطوبت لاشه در میگو وانامی تغذیه شده با ۲۰۰ میلی گرم آستاگزانتین از منبع میگو وانامی (در تیمار ۴) با سایر تیمارها وجود دارد ($P < 0.05$). همچنین درصد خاکستر، چربی و فیبر در تیمارهای مختلف اختلاف معنی داری را نشان نداد ($P > 0.05$).

جدول ۲- میانگین ترکیبات شیمیایی بدن میگو وانامی تغذیه شده با منابع مختلف رنگدانه آستاگزانتین (میانگین $\pm$ انحراف از معیار) در انتهای دوره

شاخص ها	نام گروه	کنترل منفی	کنترل مثبت	تیمار ۱	تیمار ۲	تیمار ۳	تیمار ۴
پروتئین		۱۹/۰ $\pm$ ۱/۲۴ ^d	۲۱/۰ $\pm$ ۱/۵۶ ^b	۲۰/۰ $\pm$ ۲/۷۴ ^c	۲۱/۰ $\pm$ ۶/۵۱ ^b	۲۱/۰ $\pm$ ۶/۲۴ ^b	۲۳/۰ $\pm$ ۴/۳۱ ^a
چربی (درصد)		۰/۰ $\pm$ ۳۱/۱۲ ^a	۰/۰ $\pm$ ۳۶/۰۹ ^a	۰/۰ $\pm$ ۳۵/۰۴ ^a	۰/۰ $\pm$ ۳۵/۰۵ ^a	۰/۰ $\pm$ ۳۶/۰۲ ^a	۰/۰ $\pm$ ۳۷/۰۳ ^a
خاکستر (درصد)		۱/۰ $\pm$ ۸۳/۰۳ ^a	۱/۰ $\pm$ ۹۳/۰۴ ^a	۱/۰ $\pm$ ۸۱/۰۲ ^a	۱/۰ $\pm$ ۸۳/۰۳ ^a	۱/۰ $\pm$ ۸۹/۰۲ ^a	۱/۰ $\pm$ ۸۷/۰۳ ^a
رطوبت (درصد)		۷۷/۰ $\pm$ ۲/۰۴ ^a	۶۸/۱ $\pm$ ۵/۵ ^d	۷۴/۱ $\pm$ ۳/۴۷ ^b	۷۴/۲ $\pm$ ۵/۰۴ ^b	۷۵/۰ $\pm$ ۱/۹۴ ^b	۷۳/۰ $\pm$ ۴۵/۴۵ ^c

حروف غیرهمسان در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می باشد ($P < 0.05$).

۴. بحث و نتیجه گیری نهایی

آستاگزانتین یک رنگدانه مهم است که فیزیولوژی میگو را تنظیم می کند، به عنوان آنتی اکسیدان قوی موجب افزایش مقاومت در برابر استرس شده و پاسخ ایمنی را بهبود می بخشد. پرورش میگو پاسفید غربی در کشور به دلایل متعددی از قبیل تحمل طیف گسترده ای از شرایط پرورشی (تراکم بالا و دامنه وسیع شوری و دما)، مقاومت بالا نسبت به بیماری های عفونی و غیر عفونی، نرخ رشد بالا، نیاز پروتئینی کمتر نسبت به سایر گونه های میگو و رشد سریع از روند رو به رشدی برخوردار بوده است. بهینه سازی فاکتورهای تغذیه ای و ایمنی می تواند باعث سازگاری اکولوژیک، رشد بهتر و افزایش بازماندگی در طی دوره پرورش در آبزیان

گردد (Adel et al., 2015).

براساس نتایج این مطالعه درصد افزایش طول، میزان نرخ رشد ویژه (SGR)، ضریب تبدیل غذایی و درصد بازماندگی در تیمار ۴ (حاوی ۲۰۰ میلی گرم آستاگزانتین از منبع میگو وانامی) نسبت به گروه شاهد و تیمارهای ۱ و ۲ اختلاف معنی داری را نشان داد. نتایج این بررسی نشان داد که اختلاف معنی داری در درصد افزایش وزن بدن و افزایش وزن بدن بین تیمارهای ۳ (حاوی ۲۰۰ میلی گرم آستاگزانتین از منبع گاماروس) و ۴ نسبت به سایر تیمارها وجود دارد. افزایش کارایی غذا و بهبود شاخص‌های رشد با منابع مختلف جایگزین شده رنگدانه طبیعی آستاگزانتین به دلیل تأمین ریزمغذی‌های ضروری مورد نیاز در جیره بوده که در نتیجه آن میگو توانسته از انرژی و منابع پروتئینی جیره به خوبی استفاده کند و عملکرد رشد بهتری نسبت به تیمار شاهد داشته باشد. همسو با مطالعه حاضر، Zhang و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که استفاده از رنگدانه استخراج شده از میکروجلبک *Haematococcus pluvialis* در مقایسه با رنگدانه آستاگزانتین سنتتیک در جیره غذایی میگوی *Exopalaemon carinicauda* موجب افزایش معنی دار شاخص‌های رشد شامل افزایش وزن بدن، وزن نهایی و نرخ رشد ویژه می‌گردد. مشابه با نتایج حاضر بررسی Parisenti و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که میگوهای پاشفید تغذیه شده با جلبک تک سلولی آب شیرین (*H. pluvialis*) به عنوان منبع غنی از رنگدانه‌های کاروتنوئیدی، به طوری قابل توجهی موجب بهبود عملکرد رشد میگوها نسبت به گروه شاهد شده است. در نقطه مقابل، Huang و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که استفاده از رنگدانه سنتتیک در مقایسه با رنگدانه طبیعی استخراج شده از جلبک‌های *H. pluvialis* و *Phaffia rhodozyma* اثرات بهتری بر عملکرد رشد و رنگ پذیری میگوی ببری سیاه (*Penaeus monodon*) داشته است.

انواع روش‌های غذایی، عوامل محیطی مانند دمای آب و اکسیژن محلول، اندازه و سن آبی و ترکیب اجزای غذایی مقدار ضریب تبدیل غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. براساس نتایج مطالعه حاضر ضریب تبدیل غذایی (FCR) در تیمار ۴ (حاوی ۲۰۰ میلی گرم آستاگزانتین از منبع میگو وانامی) نسبت به گروه شاهد تیمارهای ۱ و ۲ اختلاف معنی داری را نشان داد و کمترین میزان را به خود اختصاص داد. بهبود ضریب تبدیل غذایی در جیره‌های حاوی رنگدانه آستاگزانتین استخراج شده از گونه آبی وانامی و گاماروس احتمالاً به دلیل تأثیراتی است که این رنگدانه بر سوخت و ساز بدن میگوها ایجاد می‌کند و بدین ترتیب میزان جذب غذا و کارایی آن را افزایش می‌دهد. در مطالعه همسو Eissa و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که استفاده از جیره حاوی رنگدانه آستاگزانتین استخراج شده از جلبک *Haematococcus pluvialis* در جیره غذایی میگوی موندون (*Penaeus monodon*) منجر به کاهش معنی دار ضریب تبدیل غذایی در تیمارهای مورد مطالعه در مقایسه با تیمار شاهد شده است.

نتایج این بررسی نشان داد که اختلاف معنی داری در درصد بقا بین تیمار ۴ (حاوی ۲۰۰ میلی گرم آستاگزانتین از منبع میگو وانامی) نسبت به گروه شاهد و تیمارهای ۱ و ۲ اختلاف وجود دارد. اگرچه در این مطالعه شاخص‌های مربوط به سیستم ایمنی میگوی پاشفید غربی مورد ارزیابی قرار نگرفته است، اما احتمالاً افزودن مکمل آستاگزانتین استخراج شده از گونه‌های جانوری به دلیل بهبود وضعیت سیستم آنتی اکسیدانی و تحریک کردن سیستم ایمنی غیراختصاصی میگو توانسته منجر به افزایش نرخ بقا (بازماندگی) در تیمارهای حاوی آن گردد. همسو با مطالعه حاضر، Zhang و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که استفاده از رنگدانه طبیعی استخراج شده از میکروجلبک *H. pluvialis* در مقایسه با رنگدانه آستاگزانتین سنتتیک در جیره غذایی میگوی *Exopalaemon carinicauda* موجب افزایش معنی دار درصد بقا شده است. در مطالعات Merchie و همکاران (۱۹۹۸) بر روی میگوهای جوان ببری نشان دادند که آستاگزانتین به علت افزایش مقاومت در برابر استرس‌های محیطی، موجب افزایش طول عمر پست لاروها می‌گردد.

درصد و مقدار غذایی روزانه و ترکیب غذایی جیره از جمله عوامل مؤثر در میزان ترکیبات شیمیایی لاشه هستند (Gawlicka et al., 2002). همسان نبودن نتایج می‌تواند به علت تفاوت در مواد تشکیل دهنده و نحوه استفاده از ترکیبات در جیره غذایی، تفاوت گونه‌های آبی مورد مطالعه، طول دوره استفاده از ترکیبات در جیره غذایی و شرایط متفاوت محیط آزمایشی باشد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که درصد پروتئین و رطوبت لاشه در میگو وانامی تغذیه شده با ۲۰۰ میلی گرم آستاگزانتین از منبع

میگو وانامی (در تیمار ۴) با سایر تیمارها تفاوت دارد. در این بررسی میگوهای تغذیه شده در تیمار ۴ بالاترین مقدار پروتئین خام ($23/43 \pm 0/31$) و کمترین درصد رطوبت ($73/45 \pm 0/45$) را داشتند. Zhang و همکاران (۲۰۲۴) بیان کردند استفاده از منابع آستاکزانتین با تنظیم متابولیسم پروتئین‌ها و بهبود سنتز پروتئین‌ها در بافت‌ها، میزان پروتئین میگو را افزایش می‌دهند. همچنین از نظر درصد خاکستر و چربی بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. در بررسی همسو Mansour و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که استخراج رنگدانه آستاکزانتین از جلبک اسپرولینا *Arthrospira platensis* در جیره غذایی میگوی وانامی موجب افزایش معنی‌دار درصد پروتئین لاشه و کاهش معنی‌دار درصد چربی و خاکستر در مقایسه با تیمار شاهد شده است. در مطالعه Chen و همکاران (۲۰۲۳) نیز متعاقب مصرف سطوح مختلف آستاکزانتین در جیره غذایی میگوی ببری سیاه (*P. monodon*) افزایش ارزش غذایی لاشه با بهبود پروفایل اسیدهای چرب گزارش شده است.

۵. نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق استفاده از مکمل خوراکی محتوی ۲۰۰ میلی گرم آستاکزانتین از منبع میگو وانامی به‌منظور بهبود عملکرد رشد و در نهایت کاهش هزینه‌های پرورشی و افزایش سود حاصل از آن به‌عنوان یک مکمل خوراکی به پرورش‌دهندگان میگو وانامی توصیه می‌گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از زحمات کارکنان محترم دانشکده شیلات دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس کمال تشکر را دارند.

References

- Adel, M., Abedian Amiri, A., Zorriehzahra, J., Nematollahi, A., Esteban, M.Á., 2015. Effects of dietary peppermint (*Mentha piperita*) on growth performance, chemical body composition and hematological and immune parameters of fry Caspian white fish (*Rutilus frisii kutum*). *Fish Shellfish Immunology* 45(2), 841-847. DOI: 10.1016/j.fsi.2015.06.010
- AOAC., 1995. Official methods of analysis. Washington, DC, USA; Association of Official Analytical Chemists press, 8th ed.
- Chen, Q., Huang, S., Dai, J., Wang, C., Chen, S., Qian, Y., Han, T. 2023. Effects of Synthetic Astaxanthin on the Growth Performance, Pigmentation, Antioxidant Capacity, and Immune Response in Black Tiger Prawn (*Penaeus monodon*). *Aquaculture Nutrition* 1(1), 6632067. DOI: 10.1155/2023/6632067
- Culot, A., Grosset, N., Gautier, M., 2019. Overcoming the challenges of phage therapy for industrial aquaculture: a review. *Aquaculture* 513(5), 734423. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.734423
- Eissa, E.S.H., Hendam, B.M., Dighiesh, H.S., Abd Elnabi, H.E., Sakr, S.E.S., Kabary, H., Ahmed, N. H., 2025. The benefits of astaxanthin-rich microalgal powder on growth, health, and disease resistance against *Fusarium solani* in Pacific white shrimp. *Fish & Shellfish Immunology*, 156, 110059. DOI: 10.1016/j.fsi.2024.110059
- Gao, J., You, J., Kang, J., Nie, F., Ji, H., Liu, S., 2020. Recovery of astaxanthin from shrimp (*Penaeus vannamei*) waste by ultrasonic-assisted extraction using ionic liquid-in-water micro emulsions. *Food Chemistry* 325(30), 126850. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.126850.
- Gawlicka, A., Herold, M.A., Barrows, F.T., De La Noue, J., Hung, S.S.O., 2002. Effects of dietary lipids on growth, fatty acid composition, intestinal absorption and hepatic storage in white sturgeon (*Acipenser transmontanus* R.) larvae. *Journal Applied Ichthyology* 18(1), 673-681. DOI: 10.1046/j.1439-0426.2002.00371.x
- Haque, R., Sawant, P.B., Sardar, P., Xavier, K.M., Varghese, T., Chadha, N.K., Naik, V.A., 2021. Synergistic utilization of shrimp shell waste-derived natural astaxanthin with its commercial variant boosts physio metabolic responses and enhances colouration in discus (*Symphysodon aequifasciatus*). *Environmental Nanotechnology. Monitoring. Management* 15(1), 100405. DOI: 10.1016/j.enmm.2020.100405

- Hooshmand, H., Shabanpour, B., Moosavi- Nasab, M., Alishahi, A., Golmakani, M. T., 2021. The optimization of extraction of carotenoids pigments from blue crab (*Portunus pelagicus*) and shrimp (*Penaeus semisulcatus*) wastes using ultrasound and microwave. *Journal of Marine Science Technology* 20(2), 72-93. DOI: 10.1111/jfpp.13171
- Huang, S., Chen, Q., Zhang, M., Chen, S., Dai, J., Qian, Y., Han, T., 2023. Synthetic astaxanthin has better effects than natural astaxanthins on growth performance, body color and n-3 PUFA deposition in black tiger prawn (*Penaeus monodon*). *Aquaculture Reports* 33(2), 101816. DOI: 10.1016/j.aqrep.2023.101816
- Kakoolaki, S., Sharifpour, I., Afsharnasab, M., Sepahdari, A., Mehrabi, M.R., Ghaednia, B., Nezamabadi, H., 2014. Effects of temperature on hematological and histopathological changes and survival rate of juvenile *Fenneropenaeus vannamei* experimentally challenged to White Spot Virus. *Iran Journal Fisheries Science* 13(1), 91-102. Doi: 20.1001.1.15622916.2014.13.1.8.8.
- Kanjana, K., Radtanatip, T., Asuvapongpatana, S., Withyachumnarnkul, B., Wongprasert, K., 2011. Solvent extracts of the red seaweed *Gracilaria fisheri* prevent *Vibrio harveyi* infections in the black tiger shrimp *Penaeus monodon*. *Fish Shellfish Immunology* 30(1), 389-396. DOI: 10.1016/j.fsi.2010.11.016
- Karnjana, K., Soowannayan, C., Wongprasert, K., 2019. Ethanolic extract of red seaweed *Gracilaria fisheri* and furanone eradicate *Vibrio harveyi* and *Vibrio parahaemolyticus* biofilms and ameliorate the bacterial infection in shrimp. *Fish Shellfish Immunology* 88, 91-101. DOI: 10.1016/j.fsi.2019.01.058 .
- Liu, X.H., Wang, B.J., Li, Y.F., Wang, L., Liu, J.G., 2018. Effects of dietary botanical and synthetic astaxanthin on E/Z and R/S isomer composition, growth performance, and antioxidant capacity of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in the nursery phase. *Invertebrate. Survival Journal* 15(1), 131-140. DOI:10.25431/1824-307X/isj.v15i1.131-140.
- Mansour, A.T., Ashour, M., Abbas, E.M., Alsaqufi, A.S., Kelany, M.S., El-Sawy, M.A., Sharawy, Z. Z., 2022. Growth performance, immune-related and antioxidant genes expression, and gut bacterial abundance of Pacific white leg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, dietary supplemented with natural astaxanthin. *Front. Aquatic Physiology* 13(4), 874172. DOI: 10.3389/fphys.2022.874172.
- Merchie, G., Kontara, E., Lavens, P., Robles, R., Kurmaly, K., Sorgeloos, P., 1998. Effect of vitamin C and astaxanthin on stress and disease resistance of postlarval tiger shrimp *Penaeus monodon* (Fabricius). *Aquaculture Research* 29(8), 579-585. DOI: 10.1046/j.1365-2109.1998.00245.x
- Niu, J., Tian, L.X., Liu, Y.J., Yang, H.H., Ye, C.X., Gao, W., 2009. Effect of dietary astaxanthin on growth, Survival, and stress tolerance of post larval shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal World Aquaculture Society* 40(6), 795-802. DOI: 10.1111/j.1749-7345.2009.00300.x
- Parisenti, J., Beirao, L.H., Maraschin, M., Mourino, J.L., Nascimento Viera F.D., Bedin, L.H., Rodrigues, E., 2011. Pigmentation and carotenoid content of shrimp fed with *Haematococcus pluvialis* and soy lecithin. *Aquaculture Nutrition* 17(2), 530-535. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2010.00794.x
- Yaqoob, Z., Arshad, M.S., Imran, M., Munir, H., Qaisrani, T.B., Khalid, W., Suleria, H.A.R., 2022. Mechanistic role of astaxanthin derived from shrimp against certain metabolic disorders. *Food Science and Nutrition* 10(1), 12-20. DOI:10.1002/fsn3.2623.
- Yu, W., Zhang, M., Wang, B., Xu, R., Pang, T., Liu, J., 2021. Dietary *Haematococcus pluvialis* powder supplementation affect carotenoid content, astaxanthin isomer, antioxidant capacity and immune- related gene expression in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research* 52(6), 2403-2414. DOI:10.1111/are.15090
- Zhang, C., Jin, Y., Yu, Y., Xiang, J., Li, F. 2021. Effects of natural astaxanthin from microalgae and chemically synthetic astaxanthin supplementation on two different varieties of the ridgetail white prawn (*Exopalaemon carinicauda*). *Algal Research* 57(1), 102347. DOI: 10.1016/j.algal.2021.102347
- Zhang, J., Yang, Y., Xu, H., Li, X., Dong, F., Chen, Q., Wu, C., 2024. Effects of dietary astaxanthin on growth performance, immunity, and tissue composition in largemouth bass, *Micropterus salmoides*. *Frontiers in Marine Science* 11(1), 1404661. DOI: 10.3389/fmars.2024.1404661
- Zou, T.B., Jia, Q., Li, H.W., Wang, C.X., Wu, H.F., 2013. Response surface methodology for ultrasound-assisted extraction of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*. *Marine Drugs* 11(5), 1644-1655. DOI: 10.3390/md11051644.