

اثر تغذیه با ریز جلبک اسپیرولینا بر رشد، بازماندگی، کارایی رنگ پذیری و هضم پذیری رنگدانه در ماهی اسکار (*Astronotus ocellatus*)

احمد نصرتی موفق^۱، عبدالصمد کرامت امیر کلایی^۱، حسین اورجی^۱

۱- گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۵

چکیده

هدف اصلی این مطالعه تعیین اثر جیره‌های حاوی صفر، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد پودر ریز جلبک اسپیرولینا (*Spirulina platensis*) بر عملکرد رشد، کارایی رنگ پذیری و هضم پذیر رنگدانه در ماهی زینتی اسکار (*Astronotus ocellatus*) بود. ۲۸۸ قطعه ماهی اسکار با میانگین وزنی 10.73 ± 0.09 گرم در قالب طرح کاملاً تصادفی در آکواریوم‌های پرورشی با حجم آبگیری ۴۵ لیتر ذخیره‌سازی شدند. تیمارهای آزمایشی حاوی سطوح صفر، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد اسپیرولینا با سه تکرار بودند. ماهیان به مدت ۴۲ روز با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. به منظور حفظ کیفیت آب سیفون و تعویض آب به صورت روزانه انجام می‌گرفت و پارامترهای کیفی آب به صورت هفتگی اندازه‌گیری شدند. نتایج حاصله نشان داد افزودن اسپیرولینا اثر معنی‌داری بر شاخص‌های وزن نهایی، وزن بدست آمده، طول نهایی، نرخ رشد ویژه، شاخص وضعیت، غذای مصرف شده و ضریب تبدیل غذایی نداشت ($P > 0.05$). شاخص هپاتوسوماتیک در تیمارهای حاوی اسپیرولینا به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود ($P < 0.05$) هضم پذیری رنگدانه در همه تیمارها بالا بود (< 0.97) با این حال از نظر قابلیت هضم تفاوت معنی‌داری بین تیمار ۷/۵ درصد اسپیرولینا و تیمار شاهد مشاهده نشد ($P > 0.05$). بیشترین مقدار کاروتنوئید در پایان دوره در پوست ماهیانی مشاهده شد که از جیره حاوی ۷/۵ درصد اسپیرولینا تغذیه کرده بودند ($P < 0.05$). نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که با توجه به افزایش معنی‌دار رنگ در سطح ۷/۵ درصد اسپیرولینا، می‌توان از این سطح به عنوان میزان بهینه پودر جلبک در جیره ماهی اسکار استفاده نمود.

کلمات کلیدی: اسپیرولینا، رنگ پذیری، ماهی اسکار، قابلیت هضم.

مقدمه

تجارت ماهیان زینتی از جایگاه قابل توجه برخوردار گشته است (Ghosh et al., 2007) به نحوی که میزان تجارت ماهیان زینتی سالانه بالغ بر ۷ میلیارد دلار می باشد. در این بین برخی از کشورها به خوبی از پتانسیل های خود استفاده کرده اند؛ به عنوان مثال، در ایالات متحده ۳۲ گونه از ماهیان زینتی تولید می شود و ارزش تجارت ماهیان زینتی در این کشور حدود ۱۰۰۰ میلیون دلار در سال تخمین زده شده است (Livengood and Chapman, 2007). ماهی اسکار یکی از محبوب ترین ماهی های زینتی محسوب می شود که زیبایی آن مدیون نقش و نگارهای طلایی در دو طرف بدن است. به عبارتی، ماهی اسکار تنها زمانی برای مشتریان بازارپسندی دارد که دارای رنگ های درخشان و قابل توجهی باشد. رنگ آمیزی یکی از عوامل تعیین کننده در قیمت نهایی ماهی های زینتی است (Gouveia et al., 2003). رنگ ماهیان عمدتاً به وجود کروماتوفورها که شامل رنگدانه های رنگی می شود، بستگی دارد. چهار گروه اصلی از رنگدانه ها که به پوست و بافت ها حیوانات و گیاهان رنگ می دهند، به نام های ملانین ها، پورین ها، پتریدیوم ها و کاروتنوئیدها وجود دارند. کاروتنوئیدها که محلول در چربی هستند، به پوست رنگ زرد و قرمز می دهند. آن ها همچنین باعث رنگ نارنجی و سبز تخم، پوست و گوشت بسیاری از ماهیان می شوند (Brown et al., 2014).

ماهی ها همانند سایر حیوانات توانایی سنتز کاروتنوئیدها را ندارند. بنابراین، برای به بدست آوردن رنگدانه متکی به جیره هستند. معمولاً کاروتنوئیدهای مصنوعی مورد استفاده در تغذیه ماهی شامل

آستاگزانتین، کانتاگزانتین و لوتئین می شود که در این بین آستاگزانتین به صورت گسترده ای برای ماهیان زینتی و پرورشی استفاده می گردد (Hosseini et al., 2015). از کاروتنوئیدها در جیره غذایی، برای افزایش رنگ ماهیان استفاده می شود (عرب و همکاران، ۱۳۹۸). آستاگزانتین گران بوده و حدود ۲۰-۱۵ درصد از کل هزینه غذا و ۸-۶ درصد از کل هزینه تولید را تشکیل می دهد (Forsberg and Guttormsen, 2006). بعضی از محققان پیشنهاد می کنند که استفاده از رنگدانه های طبیعی تأثیر بهتری نسبت به رنگدانه های مصنوعی دارد (جابری و همکاران، ۱۳۹۵). در این میان جلبک اسپیرولینا حاوی مقادیر قابل توجهی از رنگدانه های کاروتنوئیدی است (Careri et al., 2001). در همین راستا تحقیقات نشان داده است استفاده از جلبک اسپیرولینا باعث افزایش قرمزی در بسیاری از آبزیان می شود که از این بین می توان نتایج مثبت ایجاد شده بر رنگ ماهی دم شمشیری (*Xiphophorus helleri*)، ماهی رنگین کمان (*Pseudomugil furcatus*)، سیکلید تپاز (*Cichlasoma myrna*) (Ako et al., 2000)، سیچلاید کینی (*Maylandia lombardoi*) (Karadal et al., 2017)، لوچ ملکه (*Botia dario*) (Gogoi et al., 2017؛ و میگوی زینتی ردچری (*Neocaridina davidi*) (Namaei Kohal et al., 2018) اشاره کرد.

علاوه بر کمیت و کیفیت کاروتنوئید مصرفی، میزان جذب آن نیز دارای اهمیت است. قسمت ابتدایی روده مهم ترین مکان جذب کاروتنوئیدها است. جذب کاروتنوئید یک فرآیند آهسته بوده و اعتقاد بر این است که جذب از طریق دستگاه گوارش با مکانیسم انتقال غیر فعال صورت می گیرد که شامل چندین

مرحله شکستن ترکیبات پیچیده غذا، انحلال کاروتنوئیدها درون نمک‌های صفاوی، حرکت از میان لایه آبی غیر قابل حل در مجاور میکروویلی، جذب به وسیله انتروسیست و همچنین چیلومیکرون‌ها می‌باشد (Ytrestoyl et al., 2006). لذا هدف از مطالعه حاضر تعیین اثر جلبک اسپیرولینا بر کارایی جذب و رنگ‌پذیری در ماهی زینتی اسکار می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سالن تکثیر و پرورش ماهی زینتی واقع در فیروزکنده وسطی شهرستان ساری صورت گرفت. آب مورد استفاده برای کارگاه آب شهری بود که به منظور خروج کلر قبل از ریختن آن در مخازن، در یک مخزن روباز به مدت ۲۴ ساعت ذخیره‌سازی و هوادهی می‌شد. هوادهی آکواریوم‌های پرورشی از طریق پمپ هوا و لوله‌های هواده انجام می‌شد و در هر آکواریوم سنگ هوا قرار گرفته بود. در این آزمایش از آکواریوم‌هایی با ابعاد ۵۰×۲۳×۴۵ (طول×عرض×ارتفاع) استفاده شد. با توجه به ۴ تیمار و ۳ تکرار، ۱۲ آکواریوم در نظر گرفته شد. حجم آب در هر آکواریوم ۳۰ لیتر بود و تعویض آب بصورت روزانه و به میزان ۲۰ درصد به همراه سیفون کردن صورت می‌گرفت.

درجه حرارت آب بصورت روزانه توسط دماسنج و فاکتورهای کیفی آب از جمله اکسیژن محلول توسط اکسیژن متر (مدل Aqualytic-AL15 ساخت آلمان)، pH توسط pH متر (مدل Wpa-Cd500)، سختی، شوری و قابلیت هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه Senciu- Hach ساخت آمریکا طی دوره اندازه‌گیری شد.

ماهیان اسکار (نژاد تایگر) با میانگین وزنی 10.73 ± 0.09 گرم از یک مرکز معتبر پرورش ماهیان زینتی خریداری شد و با نایلون‌های مخصوص حمل ماهی که حاوی ۸۰ درصد با اکسیژن و ۲۰ درصد آب بودند، به سالن پرورش منتقل شدند. مدت زمان سازگاری ماهیان با آب و شرایط محیط پرورش جدید دو هفته بود. در طی این مدت ماهیان با جیره غذایی تیمار شاهد تغذیه شدند. در این آزمایش ۱۴۴ قطعه ماهی در قالب یک طرح کاملاً تصادفی در گروه‌های آزمایشی مورد نظر در مخازن پرورش با تراکم ۱۲ قطعه در هر مخزن قرار گرفتند.

در این تحقیق پودر جلبک اسپیرولینا با نام تجاری ققنوس استفاده شد. به دلیل شباهت زیاد در ترکیب تقریبی پودر ماهی و اسپیرولینا مورد استفاده (جدول ۱)، این جلبک در مقادیر مختلف جایگزین پودر ماهی جیره شاهد شد.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی تقریبی اسپیرولینا و پودر ماهی استفاده شده در این تحقیق (وزن خشک به درصد)

ترکیب تقریبی	مواد غذایی	
	اسپیرولینا	پودر ماهی
ماده خشک	۹۵	۹۲
پروتئین	۶۲	۶۰
چربی	۹	۹/۷

جدول ۲: ترکیب اجزای جیره مورد استفاده در تیمارهای مختلف

اقلام/جیره	سطح اسپیرولینا در جیره (درصد)			
	۰	۲/۵	۵	۷/۵
پودر ماهی	۴۹۰	۴۶۵	۴۴۰	۴۱۵
اسپیرولینا	۰	۲۵	۵۰	۷۵
سویا	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰
آرد	۲۴۰	۲۴۰	۲۴۰	۲۴۰
گلوتن گندم	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰
روغن ماهی	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
فیلر	۵	۵	۵	۵
ملاس چغندر	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹
^۱ مکمل معدنی	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
^۲ مکمل ویتامین	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
اکسید کروم	۶	۶	۶	۶
ترکیب				
ماده خشک	۹۰	۹۰	۸۹	۹۱
پروتئین	۴۵/۱۴	۴۵/۲۱	۴۵/۱۴	۴۵/۴۳
چربی	۱۰/۵	۱۰/۴	۱۰/۳	۱۰/۳
خاکستر	۱/۷	۶/۸	۶/۶	۶/۳
انرژی متابولیسمی (Kcal/g)	۲/۶۶	۲/۶۷	۲/۶۸	۲/۶۹

^۱ شرکت خوراک دام و طیور و آبزیان مازندران (ساری، ایران). هر کیلوگرم مکمل معدنی حاوی کولین کلراید ۱۷۵۰ میلی‌گرم، مس ۱۱ میلی‌گرم، آهن ۵۶ میلی‌گرم، روی ۹۲ میلی‌گرم، منیزیم ۳۴ میلی‌گرم، ید ۳ میلی‌گرم، سلنیوم ۰/۷۵ میلی‌گرم، کبالت ۰/۸ میلی‌گرم

^۲ شرکت خوراک دام و طیور و آبزیان مازندران (ساری، ایران). هر کیلوگرم مکمل ویتامینی حاوی ویتامین IU D3 ۶۰۰۰، ویتامین IU A ۹۰۰۰، ویتامین K3 ۱۵ میلی‌گرم، ویتامین E ۶۰۰ میلی‌گرم، تیامین ۴۵ میلی‌گرم، ریبوفلاوین ۷۵ میلی‌گرم، اینوزیتول ۳۵۰ میلی‌گرم، سیانوکوبالامین ۱۲۰ میلی‌گرم، پانتوتیک اسید ۱۳۵ میلی‌گرم، ویتامین C ۷۸۰ میلی‌گرم، نیاسین ۵۶۰ میلی‌گرم، فولیک اسید ۳۴ میلی‌گرم، بیوتین ۳ میلی‌گرم، آنتی‌اکسیدان ۸۷ میلی‌گرم.

ماهیان به مدت ۴۲ روز با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. در ابتدای دوره پرورش ماهی‌ها توزین شده و براساس میانگین وزن بدن در هر تکرار آزمایش قرار داده شدند. غذادهی روزانه به میزان ۲ درصد وزن بدن و در دو وعده (صبح، عصر) صورت می‌گرفت. برای جلوگیری از آلودگی محیط پرورش، ضایعات غذایی و مدفوع به کمک سیفون خارج می‌شد. این عمل با توجه

ترکیب جیره ساخته شده برای ماهیان اسکار در تیمارهای مختلف بر حسب درصد در جدول ۲ بیان شده است. جیره شاهد با ۴۵ درصد پروتئین و ۱۰/۵ درصد چربی طراحی (Saghaei et al., 2015) و برای تغذیه تیمارهای آزمایشی نیز جلبک اسپیرولینا در سطوح ۲/۵، ۵، ۷/۵ درصد استفاده گردید (Teimouri et al., 2013).

به شدت آلودگی، گاهی تا دو بار در روز انجام می‌شد. علاوه بر آن یکبار در هفته دیواره‌ها به خوبی تمیز می‌شد. به منظور تعیین میزان رشد ماهیان مورد آزمایش، وزن بچه‌ماهیان در هر مخزن در روزهای صفر، ۱۴، ۲۸ و در پایان دوره پرورش (روز ۴۲) اندازه‌گیری شد. ماهیان هر مخزن پس از بیهوشی با اسانس گل میخک (۵۰ میلی گرم در لیتر) با استفاده از ترازوی دیجیتال بطور انفرادی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شده و با خط‌کش با دقت میلی‌متر طول استاندارد آن‌ها ثبت شد. شاخص‌های رشد و تغذیه‌ای شامل افزایش وزن بدن، ضریب تبدیل غذایی (Pratoomyot et al., 2010)، نرخ رشد ویژه و درصد بازماندگی (He et al., 2015) ماهیان محاسبه شدند. همچنین در روز ۴۲ از هر آکواریوم ۳ نمونه تصادفی ماهی با دوز بالای اسانس میخک کشته شدند. سپس تا زمان آنالیز در ۲۰- درجه نگهداری شدند. اندازه‌گیری کاروتنوئید پوست به روش Naevdal و Torrisen (۱۹۸۴) با کمی اصلاحات از طریق اسپکتروفتومتری در طول موج ۴۵۰ نانومتر و ضریب خاموشی ۲۵۰۰ انجام شد. از آنجا که رنگ پوست اسکار تنها در یک لایه نازک سطحی در پوست و فلس‌ها وجود داشت، تنها پوست به همراه فلس‌ها به کمک تیغ اسکالپل از قسمت دم، بدنه و پشت سرپوش آبخشی تراشیده شد. برای اندازه‌گیری کاروتنوئید مدفوع نیز به همین روش عمل شد. با این تفاوت که نمونه مدفوع‌ها ابتدا در آون تحت خلاء خشک شدند. استخراج کاروتنوئید از اسپیرولینا به کمک استون ۸۰٪ (۸۰ میلی گرم استون به علاوه ۲۰ میلی گرم آب مقطر) و به روش Lu و همکاران (۲۰۰۸) از طریق اسپکتروفتومتری انجام شد. نمونه جلبکی *S. platensis* که در این آزمایش مورد استفاده

قرار گرفت، حاوی ۱/۳۷ میلی گرم کاروتنوئید در هر گرم جلبک بود.

در دو هفته انتهایی برای اندازه‌گیری هضم‌پذیری جیره آزمایشی، ماهیان با غذای مارک‌دار تغذیه شدند. ماهیان حدود یک هفته با جیره آزمایشی سازگار شده و سپس مواد دفعی به روش سیفون کردن به مدت یک هفته جمع‌آوری شد و پس از خشک‌شدن مدفوع، تا زمان آزمایش هضم-پذیری به روش Fenton و Fenton (۱۹۷۹) و آنالیز پروتئین و چربی، خاکستر و رنگدانه در ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Schrama et al., 2012). جیره‌های آزمایشی و مدفوع جهت اندازه‌گیری درصد ماده خشک، پروتئین، چربی و خاکستر بر اساس روش (AOAC, 1990) مورد آنالیز تقریبی قرار گرفتند. رطوبت از طریق قرار دادن نمونه در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و توزین آن پس از خشک‌شدن در دسیکاتور انجام شد. اندازه‌گیری پروتئین با روش کج‌لدال و چربی با روش سوکسله و حلال اتر صورت گرفت. خاکستر نمونه‌ها از طریق سوزاندن نمونه در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت و توزین آن صورت پذیرفت. مقادیر بدست آمده در جدول ۲ آورده شده است. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه، مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه دانکن و سطح معنی‌داری ۵٪ در نرم افزار SPSS 19 انجام شد.

نتایج

میانگین دما طی دوره آزمایش 26 ± 1 درجه سانتی‌گراد، اکسیژن محلول 7.63 ± 0.35 میلی گرم بر لیتر، pH 8.4 ± 0.16 ، کل مواد جامد محلول

۵۶۴/۲۳±۲۲/۱۶ میلی گرم بر لیتر، شوری ۰/۱±۰/۱ قسمت در هزار، هدایت الکتریکی ۷۸۰/۱۰±۵/۸ میکروزیمنس بود. نتایج حاصل از بررسی تغییرات وزن بدن ماهیان اسکار تغذیه شده با تیمارهای مختلف بر حسب گرم در جدول ۳ نشان داده شده است. اثر تغذیه با سطوح مختلف ریز جلبک اسپیرولینا بر عملکرد رشد از نظر وزن نهایی، وزن به دست آمده، طول نهایی، فاکتور وضعیت و نرخ رشد ویژه معنی دار نبود ($P>0/05$). با این حال، بیشترین و کمترین وزن نهایی به ترتیب در تیمارهای ۵ و ۷/۵ درصد اسپیرولینا مشاهده

شد. ضریب تبدیل غذایی و غذای مصرف شده به ازای هر ماهی نیز تحت تاثیر اسپیرولینا قرار نگرفتند ($P>0/05$). شاخص هپاتوسوماتیک تحت تاثیر سطوح مختلف اسپیرولینا قرار گرفت به طوری که، تمامی تیمارهای حاوی اسپیرولینا شاخص هپاتوسوماتیک کمتری نسبت به تیمار شاهد داشتند. درصد بازماندگی تحت تاثیر سطوح مختلف اسپیرولینا قرار نگرفت اما کمترین درصد بازماندگی در تیمار شاهد مشاهده شد ($P>0/05$).

جدول ۳: مقایسه میانگین اثرات سطوح مختلف ریز جلبک اسپیرولینا بر عملکرد رشد و کارایی تغذیه بچه ماهیان اسکار

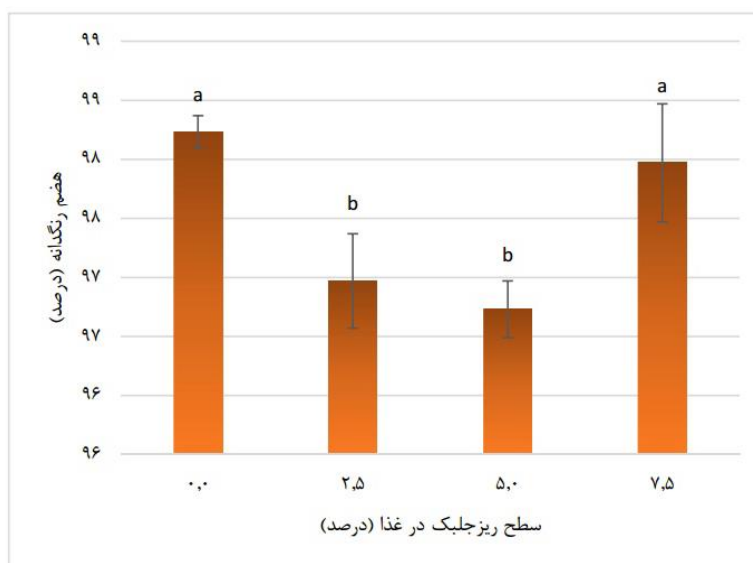
شاخص های رشد	سطح اسپیرولینا در جیره (درصد)			
	صفر	۲/۵	۵	۷/۵
وزن اولیه (g)	۱۰/۷۱±۰/۰۷	۱۰/۸۰±۰/۰۷	۱۰/۷۵±۰/۱۲	۱۰/۷۱±۰/۰۷
وزن نهایی (g)	۲۰/۰۵±۱/۳۵	۲۰/۷۴±۰/۵۰	۱۹/۳۷±۱/۹۲	۲۰/۹۶±۰/۶۲
وزن به دست آمده (g)	۹/۳۴±۰/۷۷	۹/۹۵±۰/۳۲	۸/۶۳±۰/۶۹	۱۰/۲۵±۰/۵۴
طول اولیه (cm)	۴/۲۱±۰/۱۸	۴/۳۰±۰/۰۴	۴/۲۵±۰/۳۶	۴/۲۰±۰/۳۳
طول نهایی (cm)	۷/۲۸±۰/۰۵	۷/۴۰±۰/۰۸	۷/۵۲±۰/۲۴	۷/۰۶±۰/۱۰
فاکتور وضعیت	۵/۱۹±۰/۱۹	۵/۱۲±۰/۱۷	۴/۶۲±۰/۸۳	۵/۹۶±۰/۴۱
نرخ رشد ویژه (%/day)	۱/۴۹±۰/۱۵	۱/۵۵±۰/۰۷	۱/۴۰±۰/۱۴	۱/۶۰±۰/۰۵
ضریب تبدیل غذایی	۱/۳۱±۰/۳۱	۱/۲۲±۰/۰۹	۱/۴۰±۰/۱۱	۱/۲۰±۰/۲۲
غذای مصرف شده (g/fish)	۱۲/۰۱±۰/۸۱	۱۲/۱۱±۰/۲۱	۱۱/۹۸±۰/۳۶	۱۲/۳۴±۰/۲۹
شاخص هپاتوسوماتیک	۲/۱۴±۰/۲۹ ^b	۱/۵۱±۰/۲۴ ^a	۱/۶۲±۰/۱۶ ^a	۱/۵۳±۰/۳۰ ^a
بازماندگی	۸۸/۸۹±۴/۸۱	۹۷/۲۲±۴/۸۱	۹۷/۲۲±۴/۸۱	۹۷/۲۲±۴/۸۱

حروف غیر همسان در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد می باشد ($P<0/05$).

نتایج مربوط به قابلیت هضم ظاهری رنگدانه در ماهی اسکار تغذیه شده با سطوح مختلف اسپیرولینا در شکل ۱ نشان داده است. هضم پذیری رنگدانه تحت

تأثیر سطوح مختلف اسپیرولینا قرار گرفت ($P<0/05$)، بیشترین هضم پذیری رنگدانه در سطح صفر درصد اسپیرولینا مشاهده شد که به طور معنی داری بیشتر از

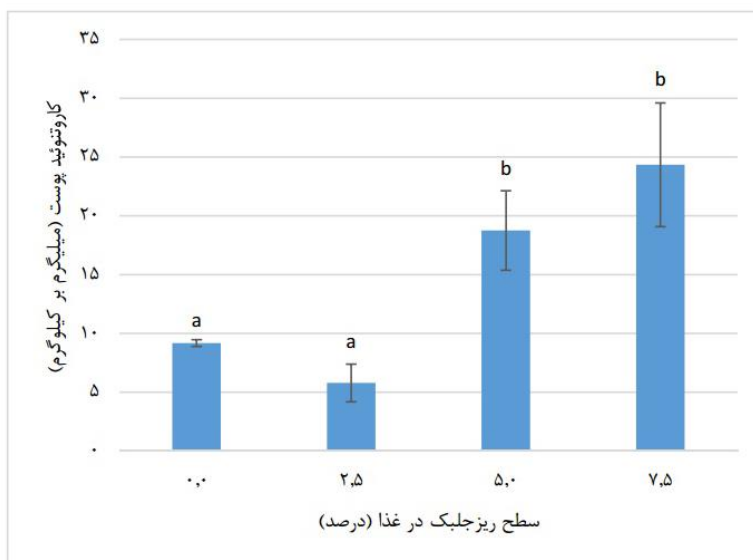
تیمارهای ۲/۵ و ۵ درصد اسپیرولینا بود ($P < 0.05$) اما اختلافی با سطح ۷/۵ درصد اسپیرولینا نداشت.



شکل ۱: اثر سطوح مختلف ریز جلبک اسپیرولینا بر هضم‌پذیری رنگدانه در ماهی اسکار (حروف متفاوت روی هر میله نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست، $P < 0.05$)

در سطح ۷/۵ درصد اسپیرولینا مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از همه تیمارها بود ($P < 0.05$). کمترین محتوای کاروتنوئید پوست در تیمارهای صفر و ۲/۵ درصد اسپیرولینا بدست آمد که به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای دیگر بودند ($P < 0.05$).

نتایج حاصل از پارامترهای رنگ پوست ماهیان پس از ۴۲ روز تغذیه با سطوح مختلف ریز جلبک اسپیرولینا در شکل ۲ نشان داده شده است. محتوای کاروتنوئید پوست در روز ۴۲ تحت تأثیر اسپیرولینا قرار گرفت ($P < 0.05$). بیشترین محتوای کاروتنوئید پوست



شکل ۲: اثر سطوح مختلف ریز جلبک اسپیرولینا بر میزان کاروتنوئید پوست ماهی اسکار (حروف متفاوت روی هر میله نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست، $P < 0.05$)

در مطالعه حاضر جایگزینی پودر ماهی با ریز جلبک اسپیرولینا تا سطح ۷/۵ درصد دارای اثرات منفی بر عملکرد رشد همچون شاخص های وزن نهایی، وزن بدست آمده طول نهایی، نرخ رشد ویژه، شاخص وضعیت و کارایی تغذیه (ضریب تبدیل غذایی) نبود. در بیشتر مطالعات صورت گرفته بر ماهی ها ریز جلبک اسپیرولینا دارای اثرات مثبت بر عملکرد رشد بوده است (Watnabe, 1990; Ayyappan et al., 1992;) (Abdel-Latif Khalil, 2013). در مطالعه Amer (۲۰۱۶) در تیلاپیا نر سطح ۱ درصد باعث بهبود معنی دار وزن بدن و ضریب تبدیل غذایی و نسبت کارایی پروتئین شد اما بر نرخ رشد روزانه اثر معنی دار نداشت. در مطالعه Karadal و همکاران (۲۰۱۶) غذای حاوی اسپیرولینا باعث بهبود معنی دار رشد در سیچلاید کنیی (*Maylandia lombardoi*) گردید. در مطالعه Namaei Kohal و همکاران (۲۰۱۸) روی میگوی زینتی ردچری (*Neocaridina davidi*) بیشتر شاخص های رشد همچون وزن نهایی، نرخ رشد ویژه و میانگین نرخ رشد روزانه به طور معنی داری در میگوهای تغذیه شده با جیره حاوی ۱۰ درصد اسپیرولینا بیشتر بود. در مطالعه سوداگر و همکاران (۱۳۹۵) تغذیه ماهی زینتی دیماسونی (*Pseudotropheus demasoni*) با جلبک اسپیرولینا باعث بهبود شاخص های رشد گردید. علت این امر می توان به طیف وسیع مواد مغذی موجود در اسپیرولینا همچون ویتامین ها، مواد معدنی، کربوهیدرات ها و گاما لینولئیک اسید (Abdel-Tawwab and Ahmad, 2009)، بهبود جذب مواد مغذی با کلنی شدن باکتری های مفید در روده و افزایش جذابیت غذایی نسبت داد. برخی از مطالعات نیز به بی اثر بودن یا اثر

منفی اسپیرولینا بر عملکرد رشد اذعان داشته اند. در این راستا در مطالعه Teimouri و همکاران (۲۰۱۳) گنجاندن پودر جلبک اسپیرولینا تا سطح ۱۰ درصد جیره و در مطالعه Khanzadeh و همکاران (۲۰۱۵) تا سطح ۲۰ درصد جیره به ترتیب اثری بر عملکرد رشد در ماهی قزل آلائی رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) و ماهی گورامی سه خال (*Trichogaster trichopterus*) نداشت. همچنین در مطالعه Plaza و همکاران (۲۰۱۸) اضافه کردن ۱ درصد اسپیرولینا به جیره ماهی تیلاپیا نیل اثر معنی داری بر عملکرد رشد و تغذیه نداشت. Ungsethaphand و همکاران (۲۰۱۲) اثرات نامطلوبی بر وزن نهایی، نرخ رشد ویژه، ضریب تبدیل غذایی و میزان بازماندگی هیبرید تیلاپای قرمز تا سطح جایگزینی ۲۰ درصد از جلبک اسپیرولینا را گزارش نکردند. همچنین در مطالعاتی که از *Spirulina maxima* به عنوان تنها منبع پروتئین در جیره کپور معمولی و قزل آلائی رنگین کمان استفاده شد، کارایی رشد ماهی ها کاهش یافت (Atack and Matty, 1978)؛ این کاهش در عملکرد رشد یا عدم تاثیر را می توان به تفاوت در کیفیت و مواد مغذی جلبک های مصرف شده در مطالعات مختلف نسبت داد (Nandeesh et al., 1998). کاهش عملکرد رشد در سطوح بالای اسپیرولینا به عواملی همچون کاهش دسترسی به فسفر و کاهش جذابیت غذایی نسبت داده شده است (Olvera-Novoa et al., 1998). گونه ماهی یکی دیگر از عوامل موثر بر نتایج است، در مطالعه Nandeesh et al. و همکاران (۲۰۰۱) با جایگزینی کامل پودر ماهی با پودر ریز جلبک اسپیرولینا در جیره ماهی رو هو (*Labeo rohita*) رشد به طور معناداری افزایش یافت. در حالی که، در همین

ماهی مریگال (*Cirrhinus mrigala*) با غلظت‌های مختلف اسپیرولینا سبب کاهش سمیت مس گردید. دیواره سلولی سرشار از موکوپروتئین در اسپیرولینا باعث افزایش لایه موکوس طبیعی در پوست ماهی و در نهایت افزایش مقاومت در برابر بیماری‌های می‌شود (Adel et al., 2016) که احتمالاً این مکانیسم‌ها در نهایت باعث افزایش بازماندگی می‌شود.

منشاء اصلی رنگدانه موجود در جیره‌ها جلبک اسپیرولینا بود که حتی در بالاترین سطح جلبک اسپیرولینا به خوبی و تا ۹۶ درصد مورد هضم قرار گرفت. در مطالعه Page و Davies (۲۰۰۶) نیز قزل‌آلای رنگین‌کمان توانست رنگدانه موجود در جیره‌های حاوی ۵۰ میلی‌گرم آستاگزانتین و یا ۵۰ میلی‌گرم کانتاگزانتین را تا ۹۶ درصد جذب کند. در مطالعه Gouveia و همکاران (۱۹۹۸) هضم‌پذیری رنگدانه جلبک کلرلا در جیره‌های حاوی ۲۰ درصد چربی بیشتر از ۱۵ درصد چربی بود. به نظر می‌رسد دیواره سلولی جلبک یکی از مهمترین فاکتورهای تاثیرگذار بر کارایی جذب کاروتنوئید باشد. اسپیرولینا حاوی دیواره سلولی نازکی است که متشکل از ۸۰ درصد پکتین و ۲۰ درصد سلولز می‌باشد (Lu et al., 2004). بنابراین، محتوی کاروتنوئید آن به راحتی می‌تواند توسط آنزیم‌های دستگاه گوارش ماهی هضم و جذب شود. این نتایج با مطالعه Chien و Shiau (۲۰۰۵) مطابقت دارد که عنوان نمودند رنگ‌پذیری قزل‌آلای که از جلبک *H. pluvialis* فاقد دیواره سلولی تغذیه نمودند، مشابه رنگدانه آستاگزانتین مصنوعی بود.

نتایج این مطالعه نشان داد که تغذیه با جلبک اسپیرولینا می‌تواند در سطوح بالای ۵ درصد موجب

مطالعه جایگزینی اسپیرولینا با پودر ماهی بر کارایی رشد ماهی کاتلا (*Catla catla*) بی‌اثر بود. پاسخ متفاوت رشد در بین این دوم ماهی به وضوح نشان‌دهنده این است که اثر اسپیرولینا بر گونه‌های مختلف متفاوت است. همچنین عوامل دیگر همچون میزان پودر ماهی در جیره (Kim et al., 2013) و شرایط مختلف محیطی (El-Sayed, 1994) نیز بر نتیجه آزمایش موثر هستند. شاخص هپاتوسوماتیک در تمامی تیمارهای تغذیه شده با جلبک اسپیرولینا کمتر از تیمار شاهد بود که مطابق با یافته‌های مطالعه Teimouri و همکاران (۲۰۱۶) می‌باشد. شاخص هپاتوسوماتیک نشان‌دهنده میزان ذخیره غذایی موجود در کبد می‌باشد (Htun-Han, 1978). علت کاهش شاخص در تیمارهای تغذیه شده با اسپیرولینا را می‌توان به خاصیت چربی‌سوزی آن نسبت داد (Seo et al., 2018) به نحوی که در تیمارهای حاوی اسپیرولینا ذخایر غذایی کمتری در کبد ذخیره سازی شده است.

در مطالعه حاضر نرخ بازماندگی بین تیمارهای مختلف تفاوتی نشان نداد، با این حال کمترین میزان بازماندگی در تیمار شاهد مشاهده شد. افزایش بازماندگی با مصرف اسپیرولینا در جیره ماهیان مختلف گزارش شده است (Takeuchi et al., 2002; Abdel-Latif et al., 2013). جلبک اسپیرولینا به عنوان یک فیتوبیوتیک (Abdel-Latif et al., 2013) باعث بهبود ایمنی غیر اختصاصی شامل پروتئین کل سرم، انفجار تنفسی، IgM، لیزوزیم، آلکالین فسفاتاز، پروتئاز و استارز سرمی یا مخاطی، افزایش بازماندگی در رویارویی با باکتری‌های بیماری‌زا (Adel et al., 2016; Mahmoud et al., 2018) و بهبود فون باکتریایی روده می‌شود. در مطالعه James و همکاران (۲۰۰۹) تغذیه

افزایش رنگ در ماهی اسکار شود. در مطالعه Teimouri و همکاران (۲۰۱۳) نیز اضافه کردن جلبک اسپیرولینا در تمامی سطوح مورد آزمایش (۱۰-۲/۵ درصد) باعث افزایش رنگ در پوست ماهی قزل آلا رنگین کمان شد. نتایج مشابهی در دیگر مطالعات به دست آمده است. به طوری که، اضافه نمودن اسپیرولینا در جیره به ترتیب موجب بهبود رنگ در *Caranx* دم شمشیری (*Xiphophorus helleri*) و *Clarias* *gariepinus* (Mori et al., 1987; Okada et al., 1991)، لوچ ملکه (*Botia dario*) (Gogoi et al., 2017)، گورامی کوتوله (*Trichogaster lalius*) (Bakshi et al., 2018) شده است. همچنین نتایج مشابهی در ماهی تیلای قرمز (Boonyaratpalin and Unprasert, 1989; Lu and Takeuchi, 2002)، ماهی طلائی (Vasudhevan and James, 2011) و ماهی سالمون (Ando and Hatano, 1988; Bjerkeng et al., 1990; Wathne et al., 1998) مشاهده شده است. مهم ترین رنگدانه های اسپیرولینا زئازانتین و بتاکاروتن هستند. بنابراین، به نظر می رسد اثر بخشی اسپیرولینا به عنوان یک رنگدانه طبیعی را بیشتر می توان به زئازانتین آن نسبت داد.

برخی مطالعات نیز به بی اثر بودن اسپیرولینا بر رنگ ماهی های زینتی دلالت دارند که از این دسته می توان به مطالعه Kim و همکاران (۲۰۰۲) روی ماهی کوی (*Cyprinus carpio*) اشاره کرد. از این رو می توان این طور برداشت کرد که جذب رنگدانه ها از جیره و همچنین اثر رنگدانه ها در ماهی های مختلف متفاوت است. ماهیان بر اساس توانایی تبدیل کاروتنوئیدها به آستاگزانتین به سه دسته تقسیم

می شوند. نوع اول: نوع آزاد ماهیان و سیم دریایی که نمی توانند بتا-ایونون^۱ کاروتنوئیدها را اکسید کنند و تنها می توانند از کاروتنوئیدهای اکسید شده استفاده کنند. نوع دوم: نوع کپورماهیان، که می توانند از زئازانتین استفاده نموده و آن را به آستاگزانتین تبدیل کنند و توانایی ذخیره آستاگزانتین را دارند. نوع سوم: نوع سخت پوستان که می توانند بتاکاروتن، زئازانتین، کانتاگزانتین و اکینئون را به آستاگزانتین تبدیل کنند (Li et al., 2016).

آزادماهیان ترجیحاً کاروتنوئیدهای قطبی بخصوص آستاگزانتین را بهتر از کانتازانتین و زئازانتین و یا کاروتن ها جذب و ذخیره سازی می کنند (Schiedt et al., 1985). تاکنون مطالعه مستقیمی بر توانایی تبدیل رنگدانه ها در ماهی اسکار صورت نگرفته است، اما مطالعه صورت گرفته روی ماهی پرت (*Mphilophus citrinellus x Paraneetroplus synspilus*) نشان داد یک رابطه خطی بین لوتئین، زئازانتین و بتاکاروتن از جیره، پوست و فلس وجود دارد. با این حال رنگ قرمز در ماهی پرت تحت تاثیر حضور رنگدانه های غیر آستاگزانتینی قرار نگرفت. این بدان معناست که ماهی پرت همانند آزادماهیان و ماهی سیم دریایی توانایی تبدیل لوتئین، زئازانتین و بتاکاروتن به آستاگزانتین را ندارد (Li et al., 2016). اگر در ماهی اسکار نیز این فرض پذیرفته شود، زئازانتین موجود در جیره باید به همان صورت در پوست ذخیره شده باشد که برای اثبات این موضوع نیاز به بررسی محتوای رنگدانه های پوست می باشد. در مطالعه حاضر افزایش سطح جلبک باعث افزایش رنگ در پوست ماهی های اسکار شد. نتایج مشابهی در مطالعات پیشین نیز رابطه مستقیمی بین

¹ Ionone-β

(*Oncorhynchus mykiss*) نشریه توسعه آبزی

پروری، ۱۳ (۲)، ۸۵-۹۶.

3. Abdel-Latif, H. M., Khalil, R. H. 2013. Evaluation of two Phytobiotics, *Spirulina platensis* and *Origanum vulgare* extract on Growth, Serum antioxidant activities and Resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to pathogenic *Vibrio alginolyticus*. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies, 1, 250-255.
4. Abdel-Tawwab, M., Ahmad, M. H. 2009. Live *Spirulina (Arthrospira platensis)* as a growth and immunity promoter for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), challenged with pathogenic *Aeromonas hydrophila*. Aquaculture Research, 40, 1037-1046.
5. Adel, M., Yeganeh, S., Dadar, M., Sakai, M., Dawood, M. A. 2016. Effects of dietary *Spirulina platensis* on growth performance, humoral and mucosal immune responses and disease resistance in juvenile great sturgeon (*Huso huso Linnaeus*, 1754). Fish & Shellfish Immunology, 56, 436-444.
6. Ako, H., Tamaru, C. S., Asano, L., Yuen, B., Yamamoto, M. 2000. Achieving natural coloration in fish under culture. Spawning and maturation of aquatic species, UJNR Technical Report.
7. Amer, S. A. 2016. Effect of *Spirulina platensis* as feed supplement on growth performance, immune response and antioxidant status of mono-sex Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). BENHA Veterinary medical journal, 30, 1-10.
8. Ando, S., Hatano, M. 1988. Bilirubin-binding protein in the serum of spawning-migrating chum salmon, *Oncorhynchus keta*: Its identity with carotenoid-carrying lipoprotein. Fish physiology and biochemistry, 5, 69-78.
9. AOAC 1990. Official methods of Analysis of the AOAC, Association of Official Analytical Chemists Inc.
10. Atack, T., Matty, A., 1978. The evaluation of some single-cell proteins in the diet of rainbow trout: II. The determination of net protein utilisation, biological values and true digestibility. Symposium on Finfish

سطح جلبک در جیره و رنگدانه در پوست مشاهده شده

است (Teimouri et al., 2013; Khanzade et al., 2016; Gogoi et al., 2017; Bakshi et al., 2018).

علت این می‌تواند باشد که با افزایش سطح جلبک، رنگدانه بیشتری توسط ماهی دریافت و در سلول‌های پوست ذخیره می‌شود.

بر اساس نتایج این مطالعه وجود اسپیرولینا در سطح ۷/۵ درصد از جیره ماهی اسکار می‌تواند اثرات مثبتی بر رنگ‌پذیری این ماهی داشته باشد. از آنجا که رنگ بدن ماهی اسکار عامل مهمی در افزایش قیمت نهایی آن محسوب می‌شود، این امر می‌تواند موجب افزایش بازارپسندی و ارزش افزوده برای تولیدکنندگان شود. بنابراین، می‌توان از اسپیرولینا به عنوان یک مکمل خوب برای افزایش رنگ ماهی اسکار استفاده کرد.

سپاسگزاری

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از همکاری صمیمانه آقایان مهدی جهانیان و نادر رحمتی سپاسگزاری نمایند.

منابع

۱. جابری، م.، یوسفی سیاه کلرودی، س.، سوداگر، م.، ۱۳۹۵. عملکرد و تغییر رنگ لاشه با استفاده از میوه شیرخشت آتشین (*Pyracantha Coccinea*) در تغذیه ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*). نشریه توسعه آبزی پروری، ۱۰ (۲)، ۶۲-۴۹.
۲. عرب، م.، شالویی، ف.، فتح‌اللهی، م.، پیرعلی، ا.، ۱۳۹۸. اثر آستاگزانتین بر شاخص‌های رشد و رنگ‌پذیری لاشه ماهی قزل‌آلای رنگین کمان

- offal meal as protein sources for silver seabream (*Rhabdosargus sarba*) fingerlings. *Aquaculture*, 127, 169-176.
20. Fenton, T., Fenton, M. 1979. An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces. *Canadian Journal of Animal Science*, 59, 631-634.
21. Forsberg, O. I., Guttormsen, A. G. 2006. Modeling optimal dietary pigmentation strategies in farmed Atlantic salmon: Application of mixed-integer non-linear mathematical programming techniques. *Aquaculture*, 261, 118-124.
22. Ghosh, S., Sinha, A., Sahu, C. 2007. Dietary probiotic supplementation in growth and health of live-bearing ornamental fishes. *Aquaculture Nutrition*, 13, 1-11.
23. Gogoi, S., Mandal, S.C. and Patel, A.B., 2018. Effect of dietary *Wolffia arrhiza* and *Spirulina platensis* on growth performance and pigmentation of Queen loach *Botia dario* (Hamilton, 1822). *Aquaculture Nutrition*, 24(1), pp.285-291.
24. Gouveia, L., Choubert, G., Gomes, E., Rema, P., Empis, J. 1998. Use of *Chlorella vulgaris* as a carotenoid source for rainbow trout: effect of dietary lipid content on pigmentation, digestibility and retention in the muscle tissue. *Aquaculture International*, 6, 269-279.
25. Gouveia, L., Rema, P., Pereira, O., Empis, J. 2003. Colouring ornamental fish (*Cyprinus carpio* and *Carassius auratus*) with microalgal biomass. *Aquaculture Nutrition*, 9, 123-129.
26. He, J. Y., Long, W. Q., Han, B., Tian, L. X., Yang, H. J., Zeng, S. L., Liu, Y. J. 2015. Effect of dietary l-methionine concentrations on growth performance, serum immune and antioxidative responses of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Research*, 48(2), 665-674.
27. Hosseini, E., Mohamadami, M., Akbari, M., Nejati, F., Mazdapour, M., Ghasemian, M., Bahmani, A. 2015. The Laboratory Scale Evaluation of Multiple pH ranges on *Spirulina platensis* culture in the Production of Dry Biomass, Chlorophyll, Phycocyanin, & Carotenoids. *Bulltein of Nutrition and Feed Technology*, Hamburg (Germany, FR).
11. Atteh, J., Leeson, S., 1985. Influence of age, dietary cholic acid, and calcium levels on performance, utilization of free fatty acids, and bone mineralization in broilers. *Poultry science*, 64, 1959-1971.
12. Ayyappan, S., Pandey, B., Sarkar, S., Saha, D., Tripathy, S. 1992. Potential of *Spirulina* as a feed supplement for carp fry. *Spirulina, Ecology, Taxonomy, Technology, and Applications*, 171-72.
13. Bakshi, S., Behera, S., Saha, S., Mandal, A., Das, A., Bhakta, D., Mondal, A. and Patra, P., 2018. Influence of spirulina powder at carotenoids concentration in fin of an ornamental fish *Trichogaster lalius*. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(1): 870-873.
14. Bjerkeng, B., Storebakken, T., Liaaen-Jensen, S. 1990. Response to carotenoids by rainbow trout in the sea: resorption and metabolism of dietary astaxanthin and canthaxanthin. *Aquaculture*, 91, 153-162.
15. Boonyaratpalin, M., Unprasert, N. 1989. Effects of pigments from different sources on colour changes and growth of red *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 79, 375-380.
16. Brown, A. C., Leonard, H. M., McGraw, K. J., Clotfelter, E. D. 2014. Maternal effects of carotenoid supplementation in an ornamented cichlid fish. *Functional ecology*, 28, 612-620.
17. Careri, M., Furlattini, L., Mangia, A., Musci, M., Anklam, E., Theobald, A., Von Holst, C. 2001. Supercritical fluid extraction for liquid chromatographic determination of carotenoids in *Spirulina Pacifica* algae: a chemometric approach. *Journal of Chromatography A*, 912, 61-71.
18. Chien, Y.-H., Shiau, W.-C. 2005. The effects of dietary supplementation of algae and synthetic astaxanthin on body astaxanthin, survival, growth, and low dissolved oxygen stress resistance of kuruma prawn, *Marsupenaeus japonicus* Bate. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 318, 201-211.
19. El-Sayed, A.-F. M. 1994. Evaluation of soybean meal, spirulina meal and chicken

- of freshwater algae by larval tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 238, 437-449.
36. Lu, J., Satoh, H. and Takeuchi, T., 2008. Development of models of threshold and efficient algal densities for larval and juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* on raw *Spirulina*. *Aquaculture*, 285 (1-4), 249-254.
 37. Mahmoud, M.M., El-Lamie, M.M., Kilany, O.E. and Dessouki, A.A., 2018. *Spirulina (Arthrospira platensis)* supplementation improves growth performance, feed utilization, immune response, and relieves oxidative stress in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) challenged with *Pseudomonas fluorescens*. *Fish & shellfish immunology*, 72, 291-300.
 38. Mori, T., Muranaka, T., Miki, W., Yamaguchi, K., Konosu, S., Watanabe, T. 1987. Pigmentation of cultured sweet smelt fed diets supplemented with a blue-green alga *Spirulina maxima*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53, 433-438.
 39. Nandeesha, M., Gangadhar, B., Varghese, T., Keshavanath, P. 1998. Effect of feeding *Spirulina platensis* on the growth, proximate composition and organoleptic quality of common carp, *Cyprinus carpio* L. *Aquaculture Research*, 29, 305-312.
 40. Nandeesha, M., Gangadhara, B., Manissery, J., Venkataraman, L. 2001. Growth performance of two Indian major carps, catla (*Catla catla*) and rohu (*Labeo rohita*) fed diets containing different levels of *Spirulina platensis*. *Bioresource Technology*, 80, 117-120.
 41. Namaei Kohal, M., Esmaeili Fereidouni, F., Firouzbakhsh, F., Hayati, I., 2018. Effects of dietary incorporation of *Arthrospira (Spirulina) platensis* meal on growth, survival, body composition, and reproductive performance of red cherry shrimp *Neocaridina davidi* (Crustacea, Atyidae) over successive spawnings. *Journal of Applied Phycology*, 30(1), 431-443.
 42. Okada, S., Liao, W.-L., Mori, T., Yamaguchi, K., Watanabe, T. 1991. Pigmentation of Cultured Striped Jack *Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 4, 13-18.
 28. BHtun-Han, M., 1978. The reproductive biology of the dab *Limanda limanda* (L.) in the North Sea: gonosomatic index, hepatosomatic index and condition factor. *Journal of Fish Biology*, 13(3), 369-378.
 29. James, R., Sampath, K., Nagarajan, R., Vellaisamy, P. and Manikandan, M.M., 2009. Effect of dietary *Spirulina* on reduction of copper toxicity and improvement of growth, blood parameters and phosphatases activities in carp, *Cirrhinus mrigala* (Hamilton, 1822). *Indian Journal of Experimental Biology*, 47(09), 754-759.
 30. Karadal O, Güroy D, Türkmen G. 2017. Effects of feeding frequency and *Spirulina* on growth performance, skin coloration and seed production on kenya cichlids (*Maylandia lombardoi*). *Aquaculture International*, 25(1), 121-34.
 31. Khanzadeh, M., Fereidouni, A. E., Berenjestanaki, S. S. 2016. Effects of partial replacement of fish meal with *Spirulina platensis* meal in practical diets on growth, survival, body composition, and reproductive performance of three-spot gourami (*Trichopodus trichopterus*)(Pallas, 1770). *Aquaculture International*, 24, 69-84
 32. Kim, S.-S., Rahimnejad, S., Kim, K.-W., Lee, K.-J. 2013. Partial replacement of fish meal with *Spirulina pacifica* in diets for parrot fish (*Oplegnathus fasciatus*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13, 197-204.
 33. Li, T., He, C., Xing, W., Ma, Z., Jiang, N. 2016. Effects of Different Carotenoids on Pigmentation of Blood Parrot (*Cichlasoma synspilum* × *Cichlasoma citrinellum*). *Journal of Aquaculture Research Development*, 7(3), 2-9.
 34. Livengood, E., Chapman, F. 2007. The ornamental fish trade: An introduction with perspectives for responsible aquarium fish ownership. University of florida IFAS Extension.
 35. Lu, J., Takeuchi, T., Satoh, H. 2004. Ingestion and assimilation of three species

- niloticus*) and a literature comparison across fish species. *British Journal of Nutrition*, 108, 277-289.
50. Seo, Y.J., Kim, K.J., Choi, J., Koh, E.J. and Lee, B.Y., 2018. *Spirulina maxima* Extract Reduces Obesity through Suppression of Adipogenesis and Activation of Browning in 3T3-L1 Cells and High-Fat Diet-Induced Obese Mice. *Nutrients*, 10(6), 712-727.
 51. Takeuchi, T., Lu, J., Yoshizaki, G., Satoh, S. 2002. Effect on the growth and body composition of juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* fed raw *Spirulina*. *Fisheries Science*, 68, 34-40.
 52. Teimouri, M., Amirkolaie, A. K., Yeganeh, S. 2013. Effect of *Spirulina platensis* meal as a feed supplement on growth performance and pigmentation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 5, 194-202.
 53. Teimouri, M., Yeganeh, S. and Amirkolaie, A.K., 2016. The effects of *Spirulina platensis* meal on proximate composition, fatty acid profile and lipid peroxidation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) muscle. *Aquaculture nutrition*, 22(3), 559-566.
 54. Torrissen, O. J., Naevdal, G. 1984. Pigmentation of salmonids genetical variation in carotenoid deposition in rainbow trout. *Aquaculture*, 38, 59-66.
 55. Ungsethaphand, T., Peerapornpisal, Y., Whangchai, N., Sardud, U. 2010. Effect of feeding *Spirulina platensis* on growth and carcass composition of hybrid red tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*). *Maejo International Journal of Science and Technology*, 4, 331-336.
 56. Vasudhevan, I., James, R. 2011. Effect of optimum *Spirulina* along with different levels of vitamin C incorporated diets on growth, reproduction and coloration in goldfish *Carassius auratus* (Linnaeus, 1758). *Indian Journal of Fisheries*, 58, 101-106.
 57. Wathne, E., Bjerkeng, B., Storebakken, T., Vassvik, V., Odland, A.B. 1998. Pigmentation of Atlantic salmon (*Salmo* Reared on Diets Supple-mented with the Blue-Green Alga *Spirulina maxima*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 1403-1406.
 43. Olvera-Novoa, M., Dominguez-Cen, L., Olivera-Castillo, L., Martínez-Palacios, C. A. 1998. Effect of the use of the microalga *Spirulina maxima* as fish meal replacement in diets for tilapia, *Oreochromis mossambicus* (Peters), fry. *Aquaculture research*, 29, 709-715.
 44. Page, G., Davies, S. 2006. Tissue astaxanthin and canthaxanthin distribution in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 143, 125-132.
 45. Plaza, I., Garcia, J.L. and Villarroel, M., 2018. Effect of spirulina (*Arthrospira platensis*) supplementation on tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth and stress responsiveness under hypoxia. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 16(1), 1-7.
 46. Pratoomyot, J., Bendiksen, E., Bell, J. G., Tocher, D. R. 2010. Effects of increasing replacement of dietary fishmeal with plant protein sources on growth performance and body lipid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 305, 124-132.
 47. Saghaei, A., Ghotbeddin, N., Ghatrami, E. R. 2015. Evaluation of growth performance and body composition of Oscar fish (*Astronotus ocellatus*) in response to the consumption of dietary intake of garlic (*Allium sativum*). *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation-International Journal of the Bioflux Society (AACL Bioflux)*, 8 (4), 485-490.
 48. Schiedt, K., Leuenberger, F., Vecchi, M., Glinz, E. 1985. Absorption, retention and metabolic transformations of carotenoids in rainbow trout, salmon and chicken. *Pure and Applied Chemistry*, 57, 685-692.
 49. Schrama, J., Saravanan, S., Geurden, I., Heinsbroek, L., Kaushik, S., Verreth, J. 2012. Dietary nutrient composition affects digestible energy utilisation for growth: a study on Nile tilapia (*Oreochromis*

Astaxanthin digestibility as affected by ration levels for Atlantic salmon, *Salmo salar*. Aquaculture, 261, 215-224.

salar) fed astaxanthin in all meals or in alternating meals. Aquaculture, 159, 217-231.

58. Watnabe, T. 1990. Effect of dietary Spirulina supplementation on growth performance and flesh lipids of cultured striped jack. J. Tokyo Univ. Fish., 77, 231-239.
59. Ytrestoyl, T., Struksnæs, G., Rorvik, K.-A., Koppe, W., Bjerkeng, B. 2006.