

University of Guilan

University of Guilan with collaboration of Iranian
Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 6, No. 3, 2020, pages: 37-53



Evaluation of fatty acids and the muscle quality in common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings under aquaponics culture system

Mohammad Harsij, Behrooz Mohammadzadeh*, Mehdi Asadi

Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous
University, Gonbad Kavous, Golestan, Iran.

Received 14 March 2020

Accepted 30 June 2020

KEYWORDS

Common carp

Aquaponic

Muscle quality

Fatty acid

To evaluate the flesh quality of fingerling common carp reared in aquaponics culture system, fish with cucumber and lettuce was reared under the aquaponics system for 60 days with three treatments including cultivation of common carp without plants (T_0), an aquaponics system for culturing common carp with lettuce (T_L), and cucumber (T_C) each with three replications. For the meat quality evaluation of reared fish, at the final rearing period after harvesting fish, chemical composition, fatty acid profile, color, texture profile analysis, and sensory assessment were determined. The result showed that protein and lipid content in T_0 and T_C were significantly higher than in T_L ($P < 0.05$). Most of the sum monounsaturated fatty acids ($\sum MUFA$) and polyunsaturated fatty acids ($\sum PUFA$) were recorded in T_C and T_0 , respectively. Lipid quality base on the atherogenic (AI) and thrombogenic (TI) indices in T_L was higher than in T_C . According to color indices, fish skin in T_0 and T_L exhibited similar lightness and transparency, higher than in T_C . The color of fish muscle in T_C displayed redness higher than in the other treatments. In case of texture profile analysis, springiness in T_C was significantly higher compare to the other treatments. In case of sensory assessment, the score of odor attribute in T_C was significantly lower compare to the other treatments. In conclusion, the muscle quality in the fish reared under aquaponics culture system was more acceptable in comparison with that in T_0 (common carp reared without the plants) and in case of fish reared under aquaponics system, those reared with cucumber revealed better quality than the lettuce.

*Corresponding author: behrooz9@gmail.com



"مقاله پژوهشی"

ارزیابی ترکیب اسیدهای چرب و کیفیت عضله بچه‌ماهی انگشت‌قد کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) پرورش یافته در سیستم آکواپونیک

محمد هرسیج، بهروز محمدزاده*، مهدی اسدی

گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، گلستان

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۴/۱۰

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۲۴

کلمات کلیدی

کپور معمولی

آکواپونیک

کیفیت عضله

اسید چرب

چکیده

با هدف بررسی کیفیت لاشه بچه‌ماهی کپور معمولی پرورش یافته در روش آکواپونیک، این گونه به همراه دو گیاه خیار و کاهو در روش آکواپونیک در قالب سه تیمار (شاهد، همراه با خیار و همراه با کاهو) به مدت ۶۰ روز پرورش داده شد. به منظور ارزیابی کیفیت گوشت ماهی، در پایان دوره پرورش، ترکیب شیمیایی، ترکیب اسیدچرب، رنگ، تجزیه ترکیب بافت و ارزیابی حسی در عضله ماهی تعیین شد. بر اساس نتایج به دست آمده، میزان پروتئین و چربی به ترتیب در گروه شاهد و تیمار خیار، به‌طور معنی‌دار بیش از دیگر تیمارها بود ($p < 0.05$). بالاترین میزان مجموع اسیدهای چرب تک‌غیراشباع و چندغیر اشباع به‌ترتیب در تیمار خیار و گروه شاهد به‌دست آمد. کیفیت چربی عضله در تیمار کاهو بر اساس شاخص‌های آتروژنیک و ترومبوژنیک بهتر از تیمار خیار بود. مطابق شاخص‌های رنگ، پوست ماهی در گروه شاهد و تیمار کاهو، دارای روشنایی و شفافیت مشابه و بیشتری نسبت به تیمار خیار بود. رنگ عضله و فنریت (Springiness) به‌طور معنی‌دار در ماهیان تیمار خیار بیش از دو تیمار دیگر بود. بر اساس ارزیابی حسی، بو در نمونه‌های تیمار خیار به‌طور معنی‌دار امتیاز کمتری نسبت به دو تیمار دیگر کسب کرد. در مجموع، کیفیت عضله ماهیان پرورش یافته در روش آکواپونیک در مقایسه با گروه شاهد و بدون حضور گیاه قابل قبول بود و در بین دو تیمار واجد گیاه، ماهیان تیمار خیار کیفیت بهتری داشتند.

مقدمه

زائادات حاصل از آبی‌پروری و پساب آن می‌تواند اثرات منفی بر محیط زیست داشته باشد که با پدیده یوتریفیکاسیون ارتباط دارد و بر سلامت ماهی اثر می‌گذارد (Mchunu and Senzanje, 2017). آکواپونیک، ترکیبی از روش هیدروپونیک و آبی‌پروری است، به طوری که در این روش، تولید ماهی و گیاه در یک سامانه انجام می‌شود و طی آن، مواد مغذی مورد نیاز گیاه که به صورت هیدروپونیک رشد می‌کند، از طریق پساب آبی‌پروری تأمین می‌شود (Roosta and Hamidpour, 2011; Sace and Fitzsimmons, 2013; Morshuizen, 2013). به عبارت دیگر، آکواپونیک، زائادات تولیدی ماهیان، مانند نیتروژن و فسفات را که از ادرار و مدفوع ماهی به وجود می‌آید، مصرف می‌کند. در این روش، پساب به یک بستر رشد گیاه پمپ می‌شود. ریشه‌های گیاه، نیتروژن و فسفات را که اساساً موجب یوتریفیکاسیون در محیط‌های طبیعی می‌شوند، جذب، و از جریان آب حذف می‌کنند. در این فرآیند، آب تصفیه، و مجدداً در مخازن پرورش ماهی استفاده می‌شود (Nozzi et al. 2016).

در آبی‌پروری به‌طور خاص، روش پرورش و تغذیه بر کیفیت گوشت ماهی تاثیرگذار است. این امر در پرورش ماهیان دریایی و آب شیرین و نیز در روش‌های متراکم کاملاً محسوس است (Khalili Tilami and Sampels, 2017). ترکیب اسید چرب در خوراک ماهی در گوشت ماهی بازتاب پیدا می‌کند (Robin et al. 2003). کیفیت ماهی متأثر از شرایط خارجی، مانند روش‌های غذایی، ترکیب غذا و شرایط بوم‌شناختی است که بر سلامت عمومی، سوخت و ساز عضله و خصوصیات گوشت ماهی، از جمله بافت، طعم، چربی، پروتئین، ترکیب اسیدآمینه و اسیدچرب اثر می‌گذارد (Rasmussen et al. 2011). کیفیت آب نقش تعریف شده‌ای در رشد ماهی در روش‌های آبی‌پروری ایفا می‌کند (Ogah et al. 2020). رشد، کارایی تغذیه و مصرف غذا توسط ماهی، عموماً به واسطه برخی از شاخص‌های فیزیوشیمیایی آب شامل دما، شفافیت، pH، اکسیژن، نیتريت و آمونیاک آب مدیریت می‌شود (Islam et al. 2018).

نقش روش آکواپونیک بر مبنای فرآیندهای بیوشیمیایی است که در پالاینده‌های زیستی رخ می‌دهد. به خصوص اکسایش بیوشیمیایی آمونیاک به نیتريت و نیترات که به ترتیب از طریق باکتری‌های اتوتروفیک *Nitrosomonas* sp. و *Nitrobacter* sp. انجام می‌شود (Vlahos et al. 2019). بهبود کیفیت آب در روش آکواپونیک موجب بهبود رشد ماهی و گیاه می‌شود. به طوری که گزارش شده است که استفاده از زئولیت به عنوان بستر کشت گیاه کاهو در روش آکواپونیک، نه تنها موجب رشد گیاه کاهو شد، بلکه سبب بهبود کیفیت آب مخازن پرورش ماهی و در نتیجه، بهبود رشد ماهی تیلاپیی قرمز (*Oreochromis* sp.) در روش آکواپونیک شد (Rafiee and Roos Saad, 2006). علاوه بر این، پیشنهاد شده است که به منظور جلوگیری از اثرات منفی افزایش فسفات و نیترات بر رشد ماهی در روش‌های پرتراکم، از پرورش گیاه به صورت توأم با ماهی استفاده شود (رفیعی و همکاران، ۱۳۸۵). در ارزیابی کیفیت گوشت ماهی سی‌باس اروپایی (*Dicentrarchus labrax*) پرورش یافته در روش آکواپونیک آب شیرین و آب شور، میزان اسیدهای چرب اشباع در ماهی پرورش یافته در آب شیرین به‌طور قابل توجهی کاهش یافت (Nozzi et al. 2016). بررسی اثرات دو تراکم متفاوت ذخیره‌سازی بر عملکرد رشد و کیفیت گوشت ماهی قزل‌آلای رنگین کمان پرورش یافته در روش آکواپونیک نشان داد که تغییر در تراکم ذخیره‌سازی (افزایش تراکم از ۳/۸۱ به ۷/۲۶ کیلوگرم در مترمکعب) اثر قابل توجهی بر شاخص‌های رشد و کیفیت گوشت ماهی شامل شاخص جمود نعشی، ترکیب بافت، شاخص‌های رنگ و مجموع بازهای نیتروژنی فرار در طول ۷ روز نگهداری در یخ نداشت (Birolo et al. 2020). بررسی شاخص‌های کیفیت لاشه ماهی باس دهان بزرگ (*Micropterus salmoides*) پرورش یافته در روش آکواپونیک به همراه دو گیاه کاهو (*Lactuca sativa*) و کاسنی (*Cichorium intybus*) در دو تراکم ذخیره‌سازی ۴/۲۳ و ۸/۰۵ کیلوگرم در مترمکعب نشان داد که شاخص‌های رنگ و pH فیله ماهی در دو تراکم ذکر شده اختلاف قابل ملاحظه‌ای نداشتند (Bordignon et al. 2020). مهم‌ترین موضوعات مورد توجه در مطالعات منتشر شده در زمینه پرورش در روش

۱۱/۵۹ ± ۰/۴۱ گرم در ۳ تیمار (هر یک با ۳ تکرار) در مخازن ۶۰ لیتری ذخیره‌سازی شد. خروجی مخازن ماهی از هر تیمار ابتدا وارد پالاینده شنی می‌شد. خروجی این پالاینده وارد ۳ مجرا (لوله پولیکای سوراخ‌دار) حاوی گیاه کاهو (*Lactuca sativa*) شده و پس از آن، توسط پمپ به مخازن ماهی برگشت داده می‌شد. در گروه دیگر، خروجی پالاینده شنی وارد ۳ لوله پولیکا حاوی گیاه خیار (*Cucumis sativus*) شده و پس از آن آب توسط پمپ به مخازن ماهی برگشت داده می‌شد. در گروه شاهد، خروجی پالاینده شنی وارد ۳ لوله پولیکا بدون گیاه شده و سپس، توسط پمپ به مخازن ماهی برگشت داده می‌شد. تراکم پرورش ماهی کپور حدود ۱۵ تا ۲۰ کیلوگرم در متر مکعب در هر تکرار و تراکم کشت هر یک از گیاهان کاهو و خیار به‌طور مجزا حدود ۲۰ بوته در هر تکرار بود. ماهیان به مدت ۶۰ روز در روش آکواپونیک پرورش یافتند. تیمارها به شرح زیر نامگذاری شدند:

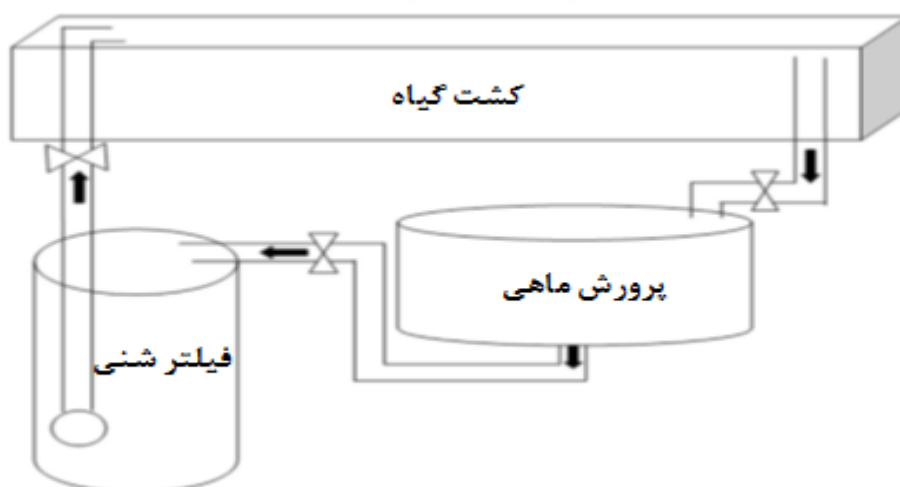
- ۱- تیمار اول (T0) پرورش ماهی بدون حضور گیاه
- ۲- تیمار دوم (TL) پرورش ماهی کپور معمولی و کشت گیاه کاهو
- ۳- تیمار سوم (TC) پرورش ماهی کپور معمولی و کشت گیاه خیار

آکواپونیک در بازه زمانی ۱۹۸۰ الی ۲۰۱۷ و بر اساس فراوانی عبارت بودند از ساختار روش و دستگاه‌های مربوطه، شیمی و میکروب شناسی آب، مدیریت و اقتصاد، انتخاب گونه‌های گیاهی و ماهی، مطالب عمومی و دیگر مطالعات مرتبط با تولید، سلامتی گیاه و ماهی. افزون بر این، در این روش، توجه به مواردی همچون کنترل pH، صفات شیمیایی، موازنه مواد مغذی، فرآیندهای میکروبی و کشت، همواره از اولویت برخوردار بوده‌اند (Greenfeld et al. 2018). بر این اساس، مطالعات بسیار اندکی در خصوص بررسی کیفیت لاشه ماهی پرورش یافته در روش آکواپونیک در مطالعات خارجی و داخلی وجود دارد. به طوری که با وجود اینکه در زمینه طراحی، اجرا و استفاده از آکواپونیک در داخل کشور تحقیقات مناسب و متعددی انجام شده، لیکن در خصوص ارزیابی کیفیت گوشت ماهیان خوراکی قابل پرورش در این روش مطالعه‌ای انجام نشده است. از این رو در مطالعه حاضر، به بررسی کیفیت گوشت بچه‌ماهی کپور پرورش یافته در آکواپونیک به همراه گیاهان کاهو و خیار پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایش

نمای کلی روش پرورش آکواپونیک در شکل ۱ آورده شده است. بر این اساس، تعداد ۲۲۵ قطعه ماهی با میانگین وزنی



شکل ۱ نمای کلی و اجزای روش پرورش آکواپونیک ماهی به همراه خیار و کاهو.

پرورش ماهیان و تعیین عملکرد رشد

بچه‌ماهیان کپور معمولی در روش آکواپونیک طراحی شده، به مدت ۶۰ روز با خوراک تجاری تهیه شده از شرکت فرادانه تغذیه شدند. اطلاعات مربوط به خوراک مصرف شده طی این دوره در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ اطلاعات ترکیب شیمیایی و ترکیب اسید چرب خوراک ماهی کپور معمولی.

ترکیب تقریبی	مقدار (درصد از کل)
پروتئین	۳۴/۰۷
چربی	۷/۹۹
رطوبت	۱۲/۴۶
خاکستر	۵/۱۶
فیبر	۳/۷۵
ترکیب اسید چرب	مقدار (درصد از کل چربی)
C16:0 (اسید پالمیتیک)	۱/۳۲
C18:0 (اسید استئاریک)	۰/۴۲
C18:1n9 (اسید اولئیک)	۲/۰۱
C18:3n3 (اسید آلفا-لینولنیک)	۱/۶۶
C22:6n3 (اسید دوکوزاهگزانوئیک)	۰/۲۲
C18:2n6Cis (اسید سیس-لینولئیک)	۰/۰۵
C20:5n3 (اسید ایکوزاپنتانوئیک)	۰/۱۴
C20:4n6 (اسید آراشیدونیک)	۰/۶۴
ΣSFA	۲/۰۲
ΣMUFA	۲/۳۹
ΣPUFA	۳/۱۸

* میانگین مقادیر ترکیبات شیمیایی (پروتئین، چربی، رطوبت، خاکستر و فیبر) بر حسب درصد از کل و میانگین مقدار ترکیب اسیدچرب و شاخص های ΣSFA (مجموع اسیدهای چرب اشباع)، ΣMUFA (مجموع اسیدهای چرب تک غیر اشباع)، ΣPUFA (مجموع اسیدهای چرب چندغیراشباع) بر حسب درصد از کل چربی در جیره خوراکی تجاری بچه ماهی کپور معمولی.

افزون بر این، در پایان دوره آزمایش برای به‌دست آوردن عملکرد رشد و تغذیه ماهیان، وزن توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم و درازا توسط تخته زیست‌سنجی با دقت ۰/۱ میلی متر طبق روابط زیر محاسبه شد:

میانگین رشد روزانه = [(وزن نهایی (گرم) - وزن اولیه (گرم)) / تعداد روزهای پرورش] × ۱۰۰

نرخ رشد ویژه = [(Ln وزن نهایی (گرم) - Ln وزن اولیه (گرم)) / روزهای آزمایش] × ۱۰۰

ضریب چاقی = (وزن نهایی (گرم) / توان سوم طول کل ماهی (سانتی متر)) × ۱۰۰

ضریب تبدیل غذایی = مقدار غذای مصرف شده (گرم) / وزن نهایی (گرم) - وزن اولیه (گرم)

کارایی تبدیل غذا = (وزن به دست آمده / مقدار غذای مصرف شده (گرم)) × ۱۰۰
نسبت کارایی پروتئین = (وزن به دست آمده (گرم) / مقدار مصرف پروتئین (گرم))
نسبت کارایی چربی = (وزن به دست آمده (گرم) / مقدار مصرف چربی (گرم))

آماده سازی نمونه ها

پس از اتمام دوره پرورش و به منظور ارزیابی کیفیت عضله، ماهیان از مخازن پرورشی جمع آوری شدند و پس از کشتار (به صورت خفگی در بیرون از آب)، تخلیه شکمی و شستشو داده شدند و فیله ای همراه با پوست در امتداد محور طولی بدن و به شکل حرف "L"، از آنها تهیه شد. در ادامه، فیله ها بلافاصله برای انجام ارزیابی شاخص های کیفیت استفاده شدند.

ترکیبات تقریبی

برای تعیین ترکیبات تقریبی عضله ماهی شامل رطوبت، خاکستر، پروتئین و چربی به شرح زیر عمل شد. مقدار رطوبت و بر اساس اختلاف وزن حاصل از قراردادن نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به دست آمد (AOAC, 1990).

برای تعیین میزان خاکستر، ۰/۵ گرم از نمونه های خشک شده برای سنجش رطوبت در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۵ ساعت سوزانده شد و مقدار خاکستر به دست آمد (AOAC, 1990).

مقدار پروتئین خام عضله به روش کلدال، با ضریب تبدیل ۶/۲۵ محاسبه شد (AOAC, 2000). میزان چربی کل عضله با استفاده از دستگاه محاسبه شد (AOAC, 2000).

ترکیب اسید چرب

برای تعیین ترکیب اسیدهای چرب عضله ماهی، ابتدا با روش حلالی و با استفاده از متانول و کلروفرم، چربی موجود در عضله ماهی استخراج شد (Floch et al. 1957). در ادامه چربی استخراج شده با استفاده از سود متانولی، محلول تری بور فلوراید، هگزان و آب نمک اشباع استری شد (Firestone, 1998). سپس، میزان ۰/۲ میکرولیتر از نمونه استری به دستگاه گاز کروماتوگرافی مدل فیلیپس مجهز به ستون کاپیلاری از نوع SGE BPX۷۰ (درازای ۶ متر و قطر ۰/۳۲ میکرومتر) تزریق شد. اسیدهای چرب توسط آشکارساز

یونش شعله ای در فاصله دمایی ۱۶۰ تا ۲۳۰ درجه سانتی گراد جداسازی شدند. مقدار هر کدام از اسیدهای چرب بر حسب میلی گرم در گرم بافت بیان شد.

سنجش رنگ عضله

برای انجام رنگ سنجی، از هر تیمار تعداد ۳ نمونه ماهی به صورت تصادفی انتخاب شد. رنگ سنجی روی پوست و عضله نمونه های ماهی انجام شد. به این منظور، از دستگاه رنگ-سنج مدل CHROMA METER CR-40 استفاده شد. طیف رنگ بر اساس سه فاکتور L^* ، a^* و b^* تعیین شد. فاکتور L^* نشان دهنده میزان شفافیت و روشنایی در رنگ، فاکتور a^* نشان دهنده طیف رنگی قرمز تا سبز و فاکتور b^* نشان دهنده طیف رنگی آبی تا زرد است. علاوه بر فاکتورهای ذکر شده، شاخص ته رنگ (Hue)، فام (Chroma) در پوست و عضله و شاخص قرمزی (Redness index) فقط برای عضله بر اساس فاکتورهای L^* ، a^* و b^* با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (بخشی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Ronyai et al. 1990; Chaijan et al. 2010):

$$\text{Hue} = \text{Arctan}(b^*/a^*)$$

$$\text{Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$$

$$\text{Redness} = (b^*/a^*)$$

ترکیب بافت عضله

برای ارزیابی کیفیت بافت عضله ماهیان پرورش یافته در تیمارهای مختلف، سنجش بافت عضله ماهی بر اساس روش Chen و همکاران (۲۰۱۴) و اعمال اندکی اصلاحات با دستگاه سنجش بافت (CT3 Brookfield, American) انجام شد. به این منظور از فیله های خام نمونه های یکسانی به ابعاد ۳ سانتی متر درازا، ۲ سانتی متر پهنا و ۱ سانتی متر ضخامت تهیه و سنجش شد. نمونه ها با استفاده از یک پروب سکه ای با قطر ۴ سانتی متر و نیروی وارده ۰/۰۵ نیوتن (۵ گرم) و با سرعت ۱ میلی متر در ثانیه به صورت رفت و برگشتی

تیمارها معنی دار شناخته شد، از آزمون دانکن استفاده شد. لازم به ذکر است که در کلیه مراحل تجزیه و تحلیل، خطای مجاز برای رد H_0 ، ۵٪ در نظر گرفته شد. همچنین، برای تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از ارزیابی حسی فیله-های ماهیان، از آزمون Kruskal-Wallis و آزمون Mann-Whitney U برای پیدا کردن اختلاف معنی‌دار در بین نتایج حاصل از آزمون‌های حسی تیمارهای مورد آزمایش استفاده شد.

نتایج

عملکرد رشد

نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های رشد و تغذیه ماهی کپور پرورش یافته در روش آکواپونیک در جدول ۲ نشان داده شده است. در پایان ۶۰ روز دوره پرورش، عملکرد رشد و تغذیه ماهی کپور معمولی در شرایط کشت آکواپونیک نسبت به گروه شاهد بدون کشت آکواپونیک اختلاف معنی‌دار آماری داشت، در حالی که بین دو تیمار کشت آکواپونیک کاهو و خیار تفاوت آماری مشاهده نشد. وزن نهایی بین تیمارهای مختلف آزمایشی اختلاف آماری معنی‌دار داشت، به‌طوری که بیشترین مقدار در تیمارهای آکواپونیک (کاهو و خیار) و کمترین آن در گروه شاهد به‌ترتیب $1/51 \pm 26/93$ گرم به‌دست آمد.

رشد روزانه و نرخ رشد ویژه در تیمارهای آکواپونیک کاهو و خیار در مقایسه با گروه شاهد، افزایش آماری معنی‌دار داشت. ضریب تبدیل غذایی در تیمارهای آکواپونیک (کاهو و خیار)، در مقایسه با گروه شاهد از $0/27 \pm 2/65$ به $0/13 \pm 1/73$ کاهش یافت. با کاهش ضریب تبدیل غذایی نیز کارایی تبدیل غذایی افزایش یافت. در شرایط کشت آکواپونیک با کاهو و خیار معیارهایی مانند نسبت کارایی پروتئین و چربی نیز افزایش معنی‌دار داشتند.

در دو مرحله فشرده شدند. میزان فشرده شدن برای نمونه‌ها معادل ۶۰٪ ارتفاع نمونه‌ها بود. در ادامه، بر اساس منحنی نیرو-تغییرشکل حاصل از این آزمون، فراسنجه‌های سختی، انعطاف‌پذیری (الاستیسیته)، قابلیت جویدن و بهم پیوستگی، محاسبه و ثبت شدند. تمامی محاسبات بر اساس میانگین ۳ تکرار برای هر تیمار بود.

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی توسط ۱۰ فرد در بازه سنی ۲۰ تا ۴۰ ساله که پیش از ارزیابی حسی آموزش دیده بودند، انجام شد. برای انجام ارزیابی حسی از روش مقیاس ۵ نقطه‌ای هدونیک استفاده شد. صفات مورد بررسی شامل بافت، رنگ، بو و پذیرش کلی بودند. محدوده امتیاز قابل کسب توسط هر صفت از محدوده ۱ (ضعیف‌ترین کیفیت) تا ۵ (بهترین کیفیت) بود. بر این اساس، در مورد بافت، امتیاز ۱ برای بافت نرم و امتیاز ۵ برای بافت سفت؛ در مورد رنگ، امتیاز ۱ برای حالت بدون رنگ‌پریدگی، امتیاز ۵ برای حالت کاملاً رنگ‌پریده؛ در مورد بو، امتیاز ۱ برای بوی بسیار مطلوب، امتیاز ۵ برای بوی بی‌نهایت نامطلوب؛ در مورد پذیرش کلی، امتیاز ۱ برای وضعیت بسیار قابل قبول و امتیاز ۵ برای وضعیت بی‌نهایت غیرقابل قبول در نظر گرفته شد (Masilko et al. 2015).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به دست آمده در غالب طرح کاملاً تصادفی با نرم‌افزار SPSS-21 انجام شد. برای تجزیه و تحلیل مقادیر کمی به‌دست آمده از آزمایش‌های ارزیابی کیفیت عضله ماهیان، در مطالعه حاضر پس از کنترل نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، از آزمون پارامتری تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. همچنین، برای مقایسه میانگین‌ها در مواردی که اثر کلی

جدول ۲ عملکرد رشد و تغذیه ماهی کپور معمولی در روش آکواپونیک به مدت ۶۰ روز.

T _C	T _L	T ₀	
۱۱/۵۰ ± ۰/۴۱	۱۱/۵۵ ± ۰/۳۹	۱۱/۷۳ ± ۰/۴۳	وزن اولیه (گرم)
۳۴/۶۴ ± ۲/۱۸ ^a	۳۴/۷۳ ± ۱/۷۸ ^a	۲۶/۹۳ ± ۱/۵۱ ^b	وزن نهایی (گرم)
۰/۳۸ ± ۰/۰۳۵ ^a	۰/۳۸ ± ۰/۰۲۹ ^a	۰/۲۵ ± ۰/۰۲۷ ^b	رشد روزانه (درصد)
۱/۸۳ ± ۰/۱۰ ^a	۱/۸۳ ± ۰/۰۹ ^a	۱/۳۸ ± ۰/۱۲ ^b	نرخ رشد ویژه (درصد/روز)
۲/۳۰ ± ۰/۱۳	۲/۲۷ ± ۰/۰۹	۲/۲۳ ± ۰/۱۱	ضریب چاقی
۱/۷۴ ± ۰/۱۶ ^b	۱/۷۳ ± ۰/۱۳ ^b	۲/۶۵ ± ۰/۲۷ ^a	ضریب تبدیل غذایی
۵۷/۸۷ ± ۵/۲۷ ^a	۵۷/۹۴ ± ۴/۴۰ ^a	۳۸/۰۱ ± ۴/۱۸ ^b	کارایی تبدیل غذا
۰/۵۹ ± ۰/۰۵ ^a	۰/۵۸ ± ۰/۰۴ ^a	۰/۳۸ ± ۰/۰۴ ^b	نسبت کارایی پروتئین
۲/۸۰ ± ۰/۲۵ ^a	۲/۸۲ ± ۰/۲۱ ^a	۱/۸۵ ± ۰/۲۰ ^b	نسبت کارایی چربی

وجود حروف غیر مشابه در هر ردیف نشان از اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارهاست (p < ۰/۰۵).

ترکیب شیمیایی

دو تیمار دیگر بود (p < ۰/۰۵). مقدار چربی کل و خاکستر در گروه شاهد (T₀)، به‌طور معنی‌دار بیش از دو تیمار دیگر بود (p < ۰/۰۵). علاوه براین، گروه شاهد به‌طور معنی‌دار، رطوبت کمتری نسبت به دو تیمار دیگر داشت (p < ۰/۰۵).

بر اساس نتایج جدول ۳، پروتئین در ماهیان تیمار T_C (ماهیان پرورش یافته با گیاه خیار)، به‌طور معنی‌دار بیش از

جدول ۳ سنجش ترکیب شیمیایی عضله ماهی کپور معمولی پرورش یافته در روش آکواپونیک.

تیمار T _C	تیمار T _L	تیمار T ₀	ترکیبات تقریبی
۱۸/۰ ± ۲/۲۱ ^a	۱۶/۰ ± ۱/۰۳ ^c	۱۶/۰ ± ۴/۱۸ ^b	پروتئین خام (%)
۹/۰ ± ۴/۰۵ ^b	۸/۰ ± ۹/۰۱ ^c	۱۰/۰ ± ۱/۰۷ ^a	چربی کل (%)
۶۹/۰ ± ۴/۰۱ ^a	۷۲/۰ ± ۵/۰۱ ^a	۷۰/۰ ± ۴/۰۱ ^b	رطوبت (%)
۱/۰ ± ۴/۰۷ ^b	۱/۰ ± ۱/۰۲ ^c	۱/۰ ± ۸/۱۶ ^a	خاکستر (%)

* داده‌ها به صورت میانگین سه تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند؛ تفاوت حروف کوچک در هر ردیف نشان دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین سطوح مختلف است.

ترکیب اسیدچرب

بین تیمارهای مختلف نشان نداد. بالاترین میزان مجموع اسیدهای تک غیراشباع در عضله، مربوط به ماهیان پرورش یافته با گیاه خیار (تیمار T_C) بود. همچنین، گروه شاهد (T₀)، بالاترین مجموع اسیدهای چرب غیراشباع را نسبت به دو تیمار دیگر داشت. مجموع اسیدهای چرب امگا-۳، تفاوتی در بین نمونه‌های مختلف نشان نداد. بالاترین مجموع اسیدهای چرب امگا-۶ مربوط به گروه شاهد (T₀) بود. نسبت مجموع اسیدهای چرب امگا-۳ به مجموع اسیدهای چرب امگا-۶ تفاوت قابل توجهی در بین تیمارهای مختلف نداشت.

ترکیب اسیدچرب و شاخص‌های مربوط به آن در عضله بچه- ماهی کپور در تیمارهای مختلف در جدول ۴ آورده شده است. در هر سه تیمار، میزان اسید پالمیتیک فراوان‌ترین اسید چرب اشباع شده در عضله بود. اسید اولئیک نیز به عنوان فراوان‌ترین اسید تک غیراشباع عضله شناسایی شد. در بین اسیدهای چرب غیراشباع، میزان سیس-اسید لینولئیک در عضله نمونه-های هر سه تیمار نسبت به دیگر اسیدهای چرب غیراشباع بیشتر بود. مجموع اسیدهای چرب اشباع تفاوت معنی‌داری

میزان شاخص آتروژنیک در بین نمونه‌های تیمارهای مختلف اختلاف قابل توجهی نداشت ($p > 0.05$). بالاترین میزان شاخص ترومبوژنیک در گروه شاهد (T_0) ثبت شد.

جدول ۴ ترکیب اسیدهای چرب عضله بچه ماهی کپور معمولی پرورش یافته در روش آکواپونیک (میلی گرم در گرم بافت).

اسید چرب	تیمار T_0	تیمار T_L	تیمار T_C
C14:0 (اسید مرستیک)	0/84 ± 0/001 ^a	0/95 ± 0/28 ^a	0/38 ± 0/07 ^b
C15:0 (اسید پنتادکانوئیک)	0/01 ± 0/001 ^b	0/09 ± 0/01 ^a	0/08 ± 0/01 ^a
C16:0 (اسید پالمیتیک)	15/34 ± 0/001	15/82 ± 0/31	15/11 ± 1/20
C17:0 (اسید هپتادکانوئیک)	0/13 ± 0/001	0/09 ± 0/03	0/12 ± 0/05
C18:0 (اسید استئاریک)	1/06 ± 0/001	1/51 ± 0/59	1/60 ± 0/69
C20:0 (اسید ایکوزانوئیک)	3/23 ± 0/001 ^a	0/64 ± 0/63 ^c	2/15 ± 0/001 ^b
C16:1 (اسید پالمیتولیک)	7/03 ± 0/001 ^b	7/30 ± 0/002 ^a	6/75 ± 0/03 ^c
C17:1 (اسید سیس-هپتادکانوئیک)	0/18 ± 0/001 ^a	0/15 ± 0/009 ^a	0/17 ± 0/04 ^a
C18:1n9 (اسید اولئیک)	49/62 ± 0/01 ^a	51/49 ± 0/28 ^{ab}	53/95 ± 2/49 ^{ab}
C18:3n3 (اسید آلفا-لینولنیک)	0/03 ± 0/001	0/80 ± 0/76	0/86 ± 0/51
C20:3n3 (اسید ایکوزا تری انوئیک)	0/73 ± 0/001 ^a	0/50 ± 0/04 ^b	0/39 ± 0/13 ^b
C22:5n3 (اسید دوکوزاپنتانوئیک)	0/04 ± 0/001 ^a	0/03 ± 0/004 ^a	0/02 ± 0/001 ^b
C22:6n3 (اسید دوکوزاهگزانوئیک)	0/15 ± 0/001 ^c	0/16 ± 0/003 ^b	0/17 ± 0/005 ^a
C18:2n6Cis (اسید سیس-لینولنیک)	19/88 ± 0/001 ^a	18/61 ± 0/66 ^b	17/76 ± 0/15 ^c
C20:3n6 (اسید گاما لینولنیک)	0/37 ± 0/001 ^b	0/43 ± 0/001 ^a	0/36 ± 0/001 ^c
C20:5n3 (اسید ایکوزاپنتانوئیک)	عدم شناسایی	عدم شناسایی	عدم شناسایی
C20:4n6 (اسید آراشیدونیک)	1/08 ± 0/001	1/13 ± 0/07	1/01 ± 0/10
C22:4n6 (اسید دوکوزاتترانوئیک)	0/26 ± 0/001 ^a	0/14 ± 0/009 ^b	0/23 ± 0/002 ^{ab}
ΣSFA	20/63 ± 0/001	19/09 ± 1/22	19/44 ± 1/78
ΣMUFA	56/82 ± 0/01 ^b	58/94 ± 0/30 ^{ab}	60/87 ± 2/56 ^a
ΣPUFA	22/54 ± 0/003 ^a	21/80 ± 1/35 ^{ab}	20/80 ± 0/31 ^b
Σω-3	0/95 ± 0/001 ^a	1/48 ± 0/72 ^a	1/43 ± 0/37 ^a
Σω-6	21/59 ± 0/002 ^a	20/31 ± 0/64 ^b	19/36 ± 0/06 ^c
Σω-3/Σω-6	0/04	0/07	0/07
AI	0/24 ± 0/001 ^a	0/24 ± 0/01 ^a	0/20 ± 0/01 ^b
TI	11/92 ± 0/001 ^a	11/59 ± 0/69 ^{ab}	11/04 ± 0/09 ^b

* داده ها به صورت میانگین سه تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند. تفاوت حروف کوچک در هر ستون نشان دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین سطوح مختلف است ($p \leq 0.05$). ΣSFA (مجموع اسیدهای چرب اشباع)؛ ΣMUFA (مجموع اسیدهای چرب تک‌غیر اشباع)؛ ΣPUFA (مجموع اسیدهای چرب چندغیر اشباع)؛ Σω-3 (مجموع اسیدهای چرب امگا-۳)؛ Σω-6 (مجموع اسیدهای چرب امگا-۶)؛ Σω-3/Σω-6 (نسبت مجموع اسیدهای چرب امگا-۳ به مجموع اسیدهای چرب امگا-۶)؛ AI (آتروژنیک) و TI (ترومبوژنیک).

رنگ پوست و عضله

مقدار شاخص قرمزی (Redness index) در نمونه‌های TC، به‌طور قابل توجهی بیش از دو تیمار دیگر بود ($p < 0.05$).

مطابق نتایج رنگ سنجی در جدول ۵، شاخص روشنایی (L^*) و زردی (b^*)، پوست، در بچه ماهیان پرورش یافته توأم با خیار (TC)، نسبت به دو تیمار دیگر به‌طور معنی‌دار کمتر بود ($p < 0.05$). در حالی که میزان شاخص قرمزی (a^*)، و مقدار شاخص ته‌رنگ (Hue) پوست، در این نمونه‌ها (تیمار TC) به‌طور معنی‌داری بیش از دو تیمار دیگر بود ($p < 0.05$). کمترین مقدار شاخص فام (Chroma) مربوط به پوست، در نمونه‌های TC ثبت شد. بر اساس نتایج شاخص‌های رنگ مربوط به عضله، مقدار شاخص روشنایی (L^*)، زردی (b^*)، و ته‌رنگ (Hue) در نمونه‌های TC به‌طور معنی‌داری از دو تیمار دیگر کمتر بود ($p < 0.05$). همچنین، کمترین مقدار فام (Chroma) مربوط به نمونه‌های TC بود. علاوه بر این،

جدول ۵ شاخص‌های رنگ (L^* ، a^* و b^*) در پوست و عضله بچه‌ماهی کپور معمولی پرورش یافته در روش آکواپونیک.

شاخص / تیمارها	تیمار T ₀	تیمار T _L	تیمار TC
پوست	L^*	$49/28 \pm 6/91^a$	$31/44 \pm 3/60^b$
	a^*	$-0/25 \pm 3/02^b$	$4/61 \pm 2/10^a$
	b^*	$22/02 \pm 2/25^a$	$20/85 \pm 2/90^a$
	فام	$22/18 \pm 2/30^a$	$21/22 \pm 3/15^{ab}$
	ته‌رنگ	$-0/77 \pm 1/44^b$	$-1/41 \pm 0/09^b$
عضله	L^*	$35/64 \pm 3/45^a$	$27/51 \pm 0/92^b$
	a^*	$6/09 \pm 1/27^b$	$8/95 \pm 1/18^a$
	b^*	$21/63 \pm 1/42^a$	$21/29 \pm 0/89^a$
	فام	$22/51 \pm 1/16^a$	$20/65 \pm 1/38^b$
	ته‌رنگ	$1/29 \pm 0/07^a$	$1/12 \pm 0/03^b$
	شاخص قرمزی	$0/28 \pm 0/07^b$	$0/24 \pm 0/06^b$

به‌طوری که مقدار صفت فنریت در عضله ماهیان کپور پرورش یافته توأم با خیار (TC)، به‌طور معنی‌دار بیش از دو تیمار دیگر بود ($p < 0.05$). در دیگر صفات، تفاوت قابل توجهی بین تیمارها وجود نداشت ($p > 0.05$).

سنجش ترکیب بافت

نتایج مربوط به صفات حاصل از سنجش ترکیب بافت در جدول ۶ قابل مشاهده است. در بین صفات بررسی شده، تنها در صفت فنریت تفاوت قابل توجهی بین نمونه‌ها دیده شد.

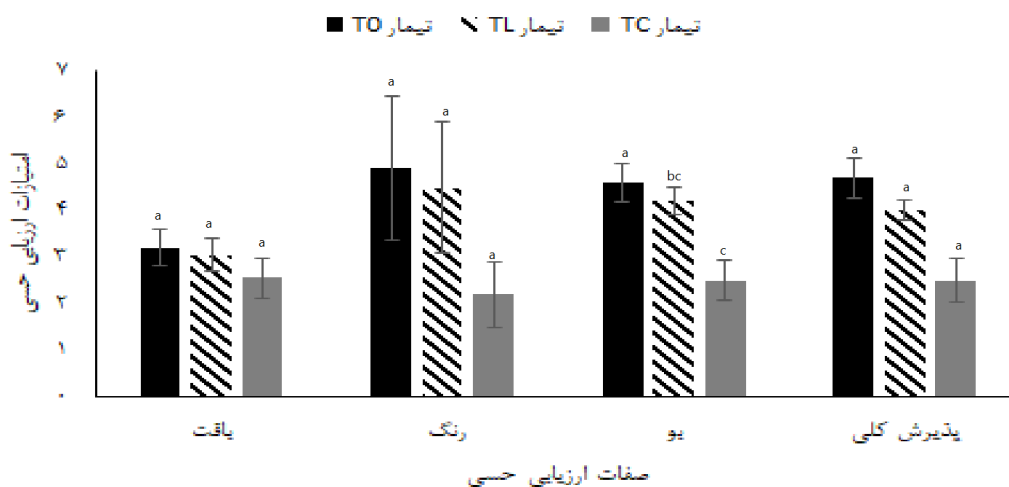
جدول ۶ سنجش ترکیب بافت عضله بچه ماهی کپور معمولی پرورش یافته در روش آکواپونیک.

صفات/ تیمارها	تیمار T ₀	تیمار T _L	تیمار T _C
سختی	۵/۷۷ ± ۴/۵۱	۲/۷۹ ± ۱/۴۴	۳/۱۲ ± ۰/۸۵
چسبندگی	۰/۱۶ ± ۰/۱۰	۰/۱۶ ± ۰/۱۶	۰/۱۵ ± ۰/۱۳
به هم پیوستگی	۰/۲۱ ± ۰/۳۳	۰/۲۸ ± ۰/۱۰	۰/۳۹ ± ۰/۰۸
فنریت	۱/۳۰ ± ۰/۵۵ ^b	۱/۴۲ ± ۰/۲۶ ^{ab}	۲/۳۲ ± ۱/۰۲ ^a
صمغی بودن	۱/۳۶ ± ۱/۰۱	۰/۵۰ ± ۰/۱۶	۰/۸۹ ± ۰/۴۲
قابلیت جویدن	۲/۰۴ ± ۱/۵۱	۰/۷۰ ± ۰/۲۲	۲/۰۷ ± ۱/۱۳

ارزیابی حسی

در شکل ۲، نتایج ارزیابی حسی ماهیان پرورش یافته در تیمارهای مختلف مشاهده می‌شود. بر اساس ارزیابی انجام شده، تنها در صفت بو تفاوت قابل توجهی بین تیمارها وجود

داشت. به طوری که امتیاز کسب شده در صفت بو، در ماهیان پرورش یافته با خیار به طور معنی‌دار کمتر از دو تیمار دیگر بود ($p < 0.05$). در دیگر صفات بررسی شده، تفاوت قابل توجه و معنی‌داری بین تیمارهای مختلف وجود نداشت ($p > 0.05$).



شکل ۲ ارزیابی حسی شامل صفات بافت، رنگ، بو، و پذیرش کلی فیله بچه ماهی کپور معمولی پرورش یافته در تیمارهای مختلف روش آکواپونیک.

بحث

با توجه به نتایج عملکرد رشد، ماهی کپور پرورش یافته در روش آکواپونیک به همراه دو گیاه خیار و کاهو، بیشترین وزن نهایی در تیمارهای پرورش ماهی با خیار (T_C) و کاهو (T_L) به دست آمد. ترکیبات شیمیایی بدن در گونه‌های مختلف ماهی در شرایط مختلف متفاوت است که این تفاوت ناشی از شرایط مختلف تغذیه، کیفیت آب، وضعیت بلوغ جنسی و جنسیت است (Ali et al. 2005, Saliu et al. 2007). در

مطالعه حاضر، بالاترین میزان پروتئین و چربی به ترتیب در گروه شاهد و T_C به دست آمد. بالاتر بودن میزان پروتئین در T_C و T_L نسبت به ماهیان شاهد حاکی از این مطلب است که افزایش وزن، بیشتر صرف ساخت و تجمع پروتئین در عضلات شده است، به طوری که نسبت کارایی پروتئین و چربی نیز در تیمارهای مذکور نسبت به گروه شاهد بیشتر بود. در مطالعه‌ای، ماهی باس دریایی اروپایی در دو روش آکواپونیک حاوی آب شیرین و شور همراه با گیاه چغندر قند (Beta

نسبت‌های مختلف روغن کلزا و زیتون در جیره ماهیان تیلاپیا و گربه‌ماهی پرورش داده شده در روش آکوپونیک طی ۱۵۰ روز بر ترکیب اسید چرب عضله ماهیان بررسی شد (Mbogo et al. 2017). نتایج حاکی از افزایش معنی‌دار اسیدهای چرب امگا-۳ و به‌طور خاص دکوزاهگزانوئیک اسید در عضله ماهیان تیلاپیا و گربه‌ماهی تغذیه‌شده با جیره حاوی ۱۰٪ روغن کلزا بود. اسید چرب دکوزاهگزانوئیک در عضله ماهی تیلاپیا ۱۲/۲٪ و در عضله گربه‌ماهی ۱۰/۴٪ کل اسیدهای چرب چندغیر اشباعی را تشکیل داد. در هر دو ماهی تیلاپیا و گربه‌ماهی، با کاهش سطح روغن کلزا در جیره غذایی، میزان اسیدهای چرب غیراشباع امگا-۳ کاهش یافت که نشان‌دهنده اثر مستقیم نسبت روغن کلزای جیره به ترکیب اسید چرب در عضله ماهیان پرورش‌یافته در روش آکوپونیک است. علاوه بر این، سنجش ترکیب اسید چرب عضله این دو ماهی نشان داد که اسیدهای چرب اولئیک و پالمیتیک فراوان‌ترین اسید چرب اشباع بودند. ارزیابی ترکیب اسید چرب گوشت ماهی باس دریایی پرورش یافته در روش آکوپونیک آب شیرین و شور همراه با گیاه چغندر قند نشان داد که میزان مجموع اسیدهای چرب تک‌غیراشباع (\sum PUFA) و چندغیراشباع عضله ماهیان (\sum MUFA) پرورش یافته در هر دو نوع روش مشابه بود و اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود نداشت، در حالی که میزان اسید آراشیدونیک به عنوان یک اسید چرب امگا-۶ در گوشت ماهیان پرورش‌یافته در آب شور، بیش از ماهیان آب شیرین بود. مجموع اسیدهای چرب اشباع در ماهیان باس دریایی اروپایی پرورش‌یافته در آب شیرین کمتر از آب شور بود که ناشی از استفاده این ماهیان از اسیدهای چرب اشباع به عنوان منبع انرژی است (Nizzo et al. 2016).

رنگ به عنوان یکی از مهم‌ترین صفات حسی ماهی در نظر گرفته می‌شود، زیرا مستقیماً بر درک مصرف‌کننده از کیفیت ماهی و فرآورده‌های ماهی تأثیر می‌گذارد (Dong et al. 2017). از این‌رو، در مطالعه حاضر، رنگ پوست و عضله ماهیان پرورش داده شده در روش آکوپونیک ارزیابی شد. کمترین میزان روشنایی و زردی پوست متعلق به تیمار خیار بود، در حالی که این شاخص‌ها در پوست تیمار کاهو اختلاف معنی‌داری با نمونه‌های شاهد نداشت که نشان‌دهنده

vulgaris var. cicla) به مدت ۶۵ روز و تغذیه توسط جیره خوراکی تجاری پرورش داده شد (Nozzi et al. 2016). نتایج حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار در میزان چربی کل و نسبت چربی به پروتئین در گوشت ماهی باس دریایی اروپایی در این دو روش پرورش بود. با وجود این، میزان چربی کل در عضله نمونه‌های پرورش‌یافته در آب شیرین بیشتر بود.

در مطالعه حاضر، بالاترین میزان پروتئین عضله در Tc به دست آمد. در حالی که بالاترین میزان چربی عضله در گروه شاهد وجود داشت که نشان از اثر مثبت پرورش ماهی کپور همراه با خیار بر تجمع پروتئین در عضله در طی دوره پرورش دارد. ترکیب اسید چرب بدن تحت تأثیر گونه ماهی، جیره غذایی، اندازه، دما، شرایط محیطی، دوره تولید مثل و شوری است و در این بین، جیره غذایی بیشترین تأثیر را دارد (کمالی سنزیقی و همکاران، ۱۳۹۷). ماهیان آب شیرین از طریق طویل‌سازی و غیراشباع‌سازی، اسید لینولئیک را تبدیل به اسید آراشیدونیک و همچنین، اسید لینولنیک را به اسید دکوزاهگزانوئیک و اسید ایکوزاینانوئیک تبدیل می‌کنند (Dantagnan et al. 2007). میزان اسیدهای چرب امگا-۶ در ماهیان آب شیرین نسبت به اسیدهای چرب امگا-۳ در آنها بیشتر است و در نتیجه نسبت اسیدهای چرب امگا-۳ به امگا-۶ در آنها پایین است (قرهودی و همکاران، ۱۳۹۰). چنانچه در مطالعه حاضر نیز این نسبت (ω -3/ ω -6) پایین و در دامنه ۰/۰۴ تا ۰/۰۷ بود. در مطالعه حاضر، کمترین مقدار این دو شاخص مربوط به تیمار گیاه خیار (Tc) بود و مقدار دو شاخص آتروژنیک و ترومبوژنیک که شاخص کیفیت چربی هستند، در تیمار کاهو نسبت به خیار بالاتر بود که نشان‌دهنده کیفیت چربی بالاتر آنهاست. افزون بر این، متعاقب ثبت بیشترین میزان چربی در گروه شاهد، بالاترین میزان مجموع اسیدهای چرب چند غیراشباع (\sum PUFA) نیز متعلق به این گروه بود. همان‌طور در جدول ۱ قابل مشاهده است، جیره خوراکی مورد استفاده در مطالعه حاضر، دارای اسیدهای چرب چندغیراشباعی بالایی بود که منتج به افزایش اسیدهای چرب چندغیر اشباع در بافت ماهی کپور معمولی شد که نشان از تأثیرپذیری ترکیب اسید چرب ماهی پرورش‌یافته از ترکیب اسید چرب جیره است. این روند در دیگر مطالعات هم تأیید شده است. در همین راستا، اثرات

ترکیب بافت ماهی کپور معمولی پرورش یافته در محیط طبیعی با میانگین وزنی ۵۲۸/۲ گرم، مقدار صفات چسبندگی، جویدنی بودن، پیوستگی، سختی و فنریت به ترتیب ۰/۵۷، ۰/۸۹، ۰/۰۳، ۱/۰۴، ۰/۵۸ و ۱/۳ بود (شعبان پور و ابراهیمی، ۱۳۹۰)، که در مقایسه با مطالعه حاضر تنها در چسبندگی، مقدار بیشتری گزارش شد و در دیگر صفات، کمتر از نتایج سنجش ترکیب بافت مطالعه حاضر بود. فنریت توصیف کننده توانایی عضله در برطرف کردن تغییر شکل و مقاومت در برابر تغییر شکل متعاقب آن، و بنابراین، بازتابی از الاستیسیته (انعطاف پذیری) عضله است (Montero et al. 1989). گزارش شده است که میزان پروتئین فیله نقش مهمی در میزان فنریت دارد (Lin et al. 2009). در مطالعه حاضر، فنریت در عضله ماهیان تیمار خیار به طور معنی دار بیش از دو تیمار دیگر بود که منطبق بر میزان پروتئین آنهاست. گزارش شده است که پرورش ماهی قزل-آلای رنگین کمان با تراکم بالا و معادل ۴۰ کیلوگرم در مترمکعب، سبب کاهش pH و ظرفیت نگهداری آب عضله می شود و متعاقباً استحکام و قدرت جمود را افزایش داده و نهایتاً سبب افت کیفی عضله می شود (Suarez et al. 2014). با وجود این، نتایج بررسی کیفیت ماهی قزل آلالی رنگین کمان پرورش یافته در روش آکوپونیک با تراکم نهایی بالا (۱۷ کیلوگرم در مترمکعب) بر ایجاد شرایط استرس زا برای ماهی و متعاقباً اثر منفی بر کیفیت لاشه ماهی نداشت (Birolo et al. 2020).

صفات حسی عضله ماهی به عنوان بخش خوراکی ماهی یکی از معیارهای مهم تعیین کننده کیفیت محصولات آبی پروری هستند (Suarez, 2014). کیفیت حسی عضله ماهی، متأثر از اندازه رشته های عضلانی و بافت پیوندی است (Sobzak et al. 2020). در مطالعه دیگر، ارزیابی حسی گوشت کپور معمولی پرورش یافته در روش بیوفلاک به مدت ۹ هفته با چهار تیمار غذایی مختلف نشان داد که امتیاز پذیرش کلی در ماهیان تغذیه شده با ۲۵٪ نشاسته ذرت به همراه ۷۵٪ غذای کنسانتره، نسبت به ماهیان گروه شاهد (تغذیه شده با ۱۰۰٪ غذای کنسانتره) بیشتر است. در دیگر صفات مورد بررسی، شامل بافت، ظاهر عمومی، بوی آبشش، ظاهر آبشش و چشم، تفاوت معنی داری بین تیمارهای مختلف وجود نداشت (بخشی

مطلوب تر بودن رنگ پوست در این ماهیان است. در بررسی شاخص های شیمیایی و کیفی گوشت ماهی کپور معمولی پرورش یافته در سیستم بیوفلاک طی دوره نگهداری، مشخص شد که بیشترین شاخص قرمزی پوست ماهی مربوط به تیمار بیوفلاک ملاس چغندر قند بود (بخشی و همکاران، ۱۳۹۶). بر اساس نتایج مطالعه حاضر بیشترین مقدار قرمزی رنگ عضله متعلق به تیمار خیار (Tc) بود، به طوری که میزان شاخص های a^* و قرمزی در این ماهیان به طور معنی دار بیش از دو تیمار دیگر بود. ارزیابی کیفیت گوشت ماهی باس دریایی پرورش یافته در دو روش آکوپونیک آب شیرین و شور همراه با گیاه چغندر قند نشان داد که با تغییر شاخص های پرورش، کیفیت گوشت ماهی نیز تغییر می کند. شاخص رنگ نشان دهنده زردی (b^*)، ته رنگ (Hue) و فام (Chroma) در تیمار آب شیرین به طور قابل توجهی کمتر از ماهیان آب شور بود (Nizzo et al. 2016).

فراسنجه های زیادی از جمله گونه ماهی، فصل برداشت، بلوغ، ترکیب شیمیایی بدن (میزان آب، چربی و پروتئین)، نوع و مقدار پروتئین ها و همچنین، روش کشتار و شرایط نگهداری بر رنگ عضله ماهی تأثیر می گذارند (Stien et al. 2005; Roth et al. 2009). مطالعه روی ماهی باس دهان بزرگ (*Micropterus salmoides*) پرورش یافته در آکوپونیک در دو تراکم ذخیره سازی متفاوت نشان داد که عملکرد رشد مناسب ماهی در هر دو تراکم سبب می شود تا اختلاف قابل توجهی در شاخص های کیفیت لاشه از جمله شاخص های رنگ (L^* , a^* , b^*) و pH عضله مشاهده نشود، ضمن اینکه کیفیت لاشه این ماهی در روش آکوپونیک مشابه استخرهاست (Bordignon et al. 2020). در بین مشخصات بافتی گوشت ماهی، سفتی برای مصرف کنندگان مهم ترین صفت است و در تعیین قیمت تجاری گوشت ماهی مؤثر است. علاوه بر این، سفتی گوشت ماهی در فرآوری فیله ماهی نیز دارای اهمیت است (Dunajski, 1979; and Bowers, 1993). تراکم، طول و قطر رشته های عضلانی و فضای بین آنها بر سفتی عضله ماهی تأثیرگذار هستند (Dong et al. 2017). در مطالعه حاضر، تفاوت معنی داری بین سفتی بافت در تیمارهای مختلف مشاهده نشد، گرچه بالاترین میزان سفتی در گروه شاهد ثبت شد. در مطالعه دیگر روی سنجش

کیفیت تغذیه‌ای و عضله بچه‌ماهی کپور پرورش‌یافته در روش آکواپونیک به همراه خیار، مطلوب‌تر از دیگر نمونه‌ها بود. با وجود این، با توجه اینکه این مطالعه اولین گزارش در خصوص بررسی کیفیت ماهی پرورش یافته در روش آکواپونیک در داخل کشور است، برای بررسی دقیق‌تر و عمیق‌تر عوامل تأثیرگذار بر کیفیت لاشه نیاز به تعریف و اجرای مطالعات دیگر در آینده دارد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه گنبد کاووس اجرا شده و مقاله استخراجی از طرح شماره ۶/۵۷۱ است. همچنین، از همکاری شرکت فرادانه و تولیدکننده غذای آبزیان، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

بخشی، ف.، حسین نجد گرامی، ا.، مناف فر، ر.، توکمه چی، ا.، رحمانی فرح، ک. ۱۳۹۸. ارزیابی برخی ویژگی‌های شیمیایی، میکروبی و حسی گوشت کپور معمولی پرورش یافته در سیستم بیوفلوک. تحقیقات دامپزشکی ۷۴: ۶۴-۵۵.

بخشی، ف.، رحمانی، ک.، حسین نجد گرامی، ا.، مناف فر، ر.، توکمه چی، ا. ۱۳۹۶. شاخص‌های شیمیایی و کیفی گوشت ماهی کپور معمولی پرورش یافته در سیستم بیوفلوک طی دوره نگهداری در یخچال. علوم و فنون شیلات ۷: ۴۸-۴۲.

رفیعی، غ.، چیروز، ب.س.، کامارودین، م.ص.، رازی، ا.م.، سیجام، ق. ۱۳۸۴. بررسی کاربرد پساب ناشی از پرورش ماهی تیلایپای قرمز (*Oreochromis sp.*) در کشت گیاه کاهو (*Lactuca sativa*) در سازگان پرورش مدار بسته. منابع طبیعی ایران ۵۸: ۶۰۱-۵۹۱.

رفیعی، غ.، کامارودین، م.ص.، فرهمند، ح. ۱۳۸۵. طراحی و بررسی عملکرد کشت توام ماهی تیلایپا (*Oreochromis sp.*) و کاهو (*Lactuca sativa* var *longifolia*) در یک سازگان مدار بسته. منابع طبیعی ایران ۵۹: ۱۷۵-۱۶۷.

و همکاران، ۱۳۹۸). ارزیابی حسی صفات رنگ، بو، مزه، آبدار بودن و پذیرش کلی گوشت ماهی کپور معمولی پرورش‌یافته در ۶ مزرعه مناطق مختلف کشور لهستان حاکی از نبود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف از لحاظ تمامی صفات مورد بررسی بود (Tkaczewska et al. 2014). مطالعه اثر دو روش پرورش نیمه‌متراکم و غیرمتراکم کپور معمولی بر کیفیت حسی فیله خام ماهی، نشان داد که هیچ اختلاف معنی‌داری بین صفات استحکام، رنگ/تغییر رنگ، بو و پذیرش کلی وجود ندارد (Masilko et al. 2015). در مطالعه حاضر، بر اساس نتایج ارزیابی حسی، ماهیان تیمار خیار به طور معنی‌دار، امتیازی کمتری در صفت بو نسبت به دو تیمار دیگر کسب کردند، درحالی‌که در دیگر صفات شامل رنگ، بافت، و پذیرش کلی، اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر، همسو با نتایج ارزیابی حسی دیگر مطالعاتی است که کیفیت حسی ماهی کپور را در محیط‌های مختلف پرورش ارزیابی کرده‌اند و نشان‌دهنده این مطلب است که تفاوت قابل ملاحظه‌ای در کیفیت حسی ماهیان پرورش یافته در تیمارهای مختلف آکواپونیک وجود ندارد. اثبات شده است که گیاه کاهو قابلیت جذب مواد معدنی مغذی مختلفی همچون آهن، منگنز، روی، مس، کلسیم، منیزیم، فسفر، ازت و پتاسیم را از پساب حاصل از پرورش ماهی دارد، به طوری که علاوه بر رشد نشاءهای کاهو و تولید این گیاه، قابلیت بالای کاهو را برای استفاده به‌عنوان یک پایلایند زیستی و همچنین، استفاده در آکواپونیک نشان می‌دهد (رفیعی و همکاران، ۱۳۸۴). به‌عبارت دیگر، وجود هیدروپونیک در روش آکواپونیک مستقیماً بر کیفیت آب و متعاقباً بر رشد و سلامتی ماهی تأثیر می‌گذارد (Yildiz et al. 2017; Maucieri et al. 2018). در واقع، روش آکواپونیک به‌طور غیرمستقیم و از طریق بهبود شاخص‌های کیفیت آب که رشد بهتر و ایجاد شرایط آرامش برای ماهی را به همراه دارد، موجب سلامتی ماهی و متعاقباً بهبود کیفیت لاشه آن می‌شود (Vlahos et al. 2019).

کیفیت محصولات آبی پروری متأثر از گونه، شرایط پرورش، روش پرورش و تغذیه است. پرورش بچه ماهی کپور معمولی در روش آکواپونیک به همراه دو گیاه کاهو و خیار نشان داد که با وجود برتری نسبی گروه شاهد در برخی شاخص‌ها،

- پروفایل اسیدهای چرب بدن ماهیان کپور معمولی انگشت
قد (*Cyprinus carpio*). مجله بوم‌شناسی آبیان ۸:
۱۳۷-۱۲۵.
- Ali, M., Iqbal, F., Salam, A., Iram, S., Athar, M. 2005. Comparative study of body composition of different fish species from brackish water pond International Journal of Environment Science and Technology 2: 229-232.
- AOAC. 1990. Official methods of analysis. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC. 2000. Official methods of analysis. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Birolo, M., Bordignon, F., Trocino, A., Fasolato, L., Pascual, A., Godoy, S., Nicoletto, C., Maucieri, C., Xiccato, G. 2020. Effects of stocking density on the growth and flesh quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in a low-tech aquaponic system. Aquaculture 529: 735653.
- Bordignon, F., Birolo, M., Trocino, A., Maucieri, C., Nicoletto, C., Pascual, A., Zanin, G., Sambo, P., Borin, M., Xiccato, G. 2020. Farming largemouth bass (*Micropterus salmoides*) with lettuce (*Lactuca sativa*) and radicchio (*Cichorium intybus*) in aquaponics: effects of stocking density on fish growth and quality, and vegetable production. Acta Fytotechnica et Zootechnica 23: 79-87.
- Chaijan, M., Jongjareonrak, A., Phatcharat, S., Benjakul, S., Rawdkuen, S. 2010. Chemical compositions and characteristics of farm raised giant catfish (*Pangasian odongigas*) muscle. LWT Food Science and Technology 43: 452-457.
- Chen, H., Zhang, M., Fang, Z. 2014. Vacuum Frying of desalted grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets. Drying Technology 32: 820-828.
- کمالی سنزیقی، م.، اکرمی، ر.ف. قلیچی، ا.، شاملوفر، م. ۱۳۹۷. اثر افزودن پودر ضایعات خرما (*Phoneix dactylifera*) در جیره غذایی بر روی ترکیب شیمیایی، ارزش غذایی و
- Dantagnan, H., Borquez, A.S., Valdebenito, I.N., Salgado, I.A., Serrano, E.A., Izquierdo, M.S. 2007. Lipid and fatty acid composition during embryo and larval development of puye *Galaxias maculatus Jenyns*, 1842, obtained from estuarine, freshwater and cultured populations. Journal of Fish Biology 70: 770-781.
- Dong, X.P., Wu, Q., Li, D.Y., Wang, T., Pan, J.F., Zheng, J.J., Fu, X.X., Qi, L.B., Chen, G.B. 2017. Physicochemical, microstructural, and textural properties of different parts from farmed common carp (*Cyprinus carpio*). International Journal of Food Properties 20: 946-955.
- Dunajski, E. 1979. Texture of fish muscle. Journal of Texture Studies 10: 301-318.
- Firestone, D. 1998. Official Methods and Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist's Society, Physical and Chemical Characteristics of Oils, Fats and Waxes, Section I. Ed. The AOCS Methods Editor and the AOCS Technical Department. 54 pages. AOCS Press, Champaign.
- Greenfeld, A., Becker, N., McIlwain, J., Fotedar, R., Bornman, J.F. 2019. Economically viable aquaponics? Identifying the gap between potential and current uncertainties. Reviews in Aquaculture 11: 848-862.
- Islam, M.M., Sunny, A.R., Hossain, M.M., Friess, D.A. 2018. Drivers of mangrove ecosystem service change in the Sundarbans of Bangladesh. Singapore Journal of Tropical Geography 39: 244-265.
- Khalili Tilami, S., Sampels, S. 2017. Nutritional value of fish: Lipids, proteins, vitamins, and minerals. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture 26: 1-11.

- Lin, W.L., Zeng, Q.X., Zhu, Z.W. 2009. Different changes in mastication between crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C.et V) and grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) after heating: The relationship between texture and ultrastructure in muscle tissue. *Food Research International* 42: 271-278.
- Masilko, J., Zajic, T., Hlavac, D. 2015. the culture system affects organoleptic properties and lipid composition of common carp (*Cyprinus carpio* L.) meat. *Journal of Texture Studies* 46: 345-352.
- Maucieri, C., Forchino, A.A., Nicoletto, C., Junge, R., Pastres, R., Sambo, P., Borin, M. 2018. Life cycle assessment of a micro aquaponic system built using recovered material and usable for education purposes. *Journal of Cleaner Production* 172: 3119-3127.
- Mbogo, O.K., Arnold, O., Gabriel, M., Jonathan, M.W.P., Kenneth, O. 2017. Effect of varying dietary proportions of linseed and olive oils on fatty acid composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and African catfish (*Clarias gariepinus*) under aquaponics culture system. *African Journal of Fisheries Science* 5: 238-248.
- Mchunu, N., Lagerwall, G.L., Senzanje, A. 2017. Food sovereignty for food Ssecurity, aquaponics system as a potential method: A review. *Journal of Aquaculture Research & Development* 8: 1-9.
- Montero, P., Borderias, J. 1989. Distribution and hardness of muscle connective tissue in Hake (*Merluccius merluccius* L.) and trout (*Salmo irideus* Gibb). *Lebensmittel Untersuchung and Forschung* 189: 530-533.
- Morshuizen, T.L. 2013. The commercial viability of aquaponics. *Journal of Chemical Information and Modeling* 53: 1689-1699.
- Nozzi, V., Parisi, G., Di Crescenzo, D., Giordano, M., Carnevali, O. 2016. Evaluation of *Dicentrarchus labrax* meats and the vegetable quality of *Beta vulgaris* var. cicla farmed in freshwater and saltwater. *Aquaponic Systems Water* 8: 423-437.
- Ogah, S.I., Kamarudin, M.S., Nurul Amin, S.M., Wahab Puteri Edarouati, M. 2020. Biological filtration properties of selected herbs in an aquaponic system. *Aquaculture Research* 51: 1771-1779.
- Rafiee, G.H., Roos Saad, C. 2006. The effect of natural zeolite (clinoptiolite) on aquaponic production of red tilapia (*Oreochromis sp.*) and lettuce (*Lactuca sativa* var. *longifolia*), and improvement of water quality. *Journal of Agricultural Science and Technology* 8: 313-322.
- Rasmussen, R. S., Heinrich, M. T., Hyldig, G., Jacobsen, C., Jokumsen, A. 2011. Moderate exercise of rainbow trout induces only minor differences in fatty acid profile, texture, white muscle fibers and proximate chemical composition of filets. *Aquaculture* 314: 159-164.
- Robin, J.H., Regost, C., Arzel, J., Kaushik, S.J. 2003. Fatty acid profile of fish following a change in dietary fatty acid source: Model of fatty acid composition with a dilution hypothesis. *Aquaculture* 225: 283-293.
- Ronyai, A., Peteri, A. Radics, F. 1990. Cross breeding of starlet and Lena River sturgeon. *Aquaculture Hungarica (Szarwas)* 6: 13-18.
- Roosta, H.R., Hamidpour, M. 2011. Effects of foliar application of some macro and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Scientia Horticulturae* 129: 396-402.
- Roth, B., Foss, A., Imstrand, A.K. 2009. Relationship between muscle pH and flesh color of Atlantic halibut. *Journal of Food Science* 74: 123-125.
- Sace, C.F., Fitzsimmons, K.M. 2013. Vegetable production in a recirculating aquaponic system using Nile tilapia

- (*Oreochromis niloticus*) with and without freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Academia Journal of Agricultural Research* 1: 236-250.
- Saliu, J.K., Joy, O., Catherine, O. 2007. Condition factor, fat and protein content of five fish species in Lekki lagoon, Nigeria. *Life Science Journal* 4: 54-57.
- Stien, L.H., Hirmas, E., Bjørnevik, M., Karlsen, Ø., Nortvedt, R., Rørå, A.M.B., Sunde, J., Kiessling, A. 2005. The effects of stress and storage temperature on the color and texture of pre-rigor filleted farmed cod (*Gadus morhua* L.). *Aquaculture Research* 36: 1197-1206.
- Suarez, M.D., Garcia-Gallego, M., Trenzado, C.E., Guil-Guerrero, J.L., Furne, M., Domezain, A., Alba, I., Sanz, A. 2014. Influence of dietary lipids and culture density on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) flesh composition and quality parameter. *Aquacultural Engineering* 63: 16-24.
- Tkaczewska, J., Migdal, W., Kulawik, P. 2014. The quality of carp (*Cyprinus carpio* L.) cultured in various Polish regions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94: 3061-3067.
- Valhos, N., Levizou, E., Stathopoulou, P., Berillis, P., Antonopoulou, E., Bekiari, V., Krigas, N., Kormas, K., Mente, E. 2019. An experimental brackish aquaponic system using juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and rock samphire (*Crithmum maritimum*). *Sustainability* 11: 4820-4840.
- Yildiz, H.Y., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Dominguez, D., Parisi, G. 2017. Fish welfare in aquaponic systems: its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces - A review. *Water* 9: 13.