



بررسی عملکرد رشد، فعالیت آنزیم گوارشی، پارامترهای ایمنی و آنتی‌اکسیدانی ماهی کپور (*Cyprinus carpio*) پرورش‌یافته در سیستم آکواپونیک

مهدی اسدی^۱، محمد هرسیج^۲، حسین آدینه^{۳*}، محمد قلی‌زاده^۴، نیما معظمی^۵

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد بوم‌شناسی آبزیان، گروه شیلات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

^۲ استادیار، گروه شیلات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

^۳ استادیار، گروه شیلات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

^۴ استادیار، گروه شیلات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

^۵ دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد بوم‌شناسی آبزیان، گروه شیلات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

چکیده

آکواپونیک یک سیستم نیمه‌بسته پایدار برای تولید موادغذایی است که ترکیبی از آبی‌پروری و هیدروپونیک می‌باشد. هدف از این مطالعه ارزیابی تأثیر آکواپونیک بر کارایی رشد و تغذیه، فعالیت آنزیم گوارشی و پارامترهای خونی ماهی کپور معمولی به مدت ۶۰ روز بود. این آزمایش شامل ۳ تیمار (۳ تکرار در هر تیمار) بود که شامل پرورش ماهی کپور معمولی بدون وجود گیاه (T₀)، استفاده از سیستم آکواپونیک برای پرورش ماهی کپور معمولی همراه با گیاه کاهو (T_L) و گیاه خیار (T_C) است. در مجموع ۲۲۵ قطعه ماهی کپور (وزن اولیه بدن: ۱۱/۵۹ ± ۰/۴۱ گرم) به‌طور تصادفی در ۹ مخزن ۶۰ لیتری توزیع شد. نتایج نشان داد که سیستم آکواپونیک در تیمار T_C و T_L می‌تواند باعث افزایش وزن (WG) و سرعت رشد ویژه (SGR) و کاهش ضریب تبدیل غذایی (FCR) کپور معمولی شود. کل فعالیت پروتئاز، آمیلاز و لیپاز نیز به ترتیب در گروه T_L و T_C به‌طور معنی‌داری بیشتر از گروه شاهد بود. پس از ۶۰ روز، فعالیت لیپوزیم سرم و ایمونوگلوبولین کل به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و سطح کورتیزول و گلوکز سرم در گروه‌های آکواپونیک کمتر از گروه شاهد بود. بیشترین میزان کاتالاز سرم و سوپراکسید دیسموتاز در گروه‌های T_L و T_C مشاهده شد. به‌طور کلی، وضعیت ایمنی و آنتی‌اکسیدانی ماهی نشان داد که سیستم آکواپونیک دارای اثر ضد استرس است و با توجه به نتایج به‌دست آمده از عملکرد رشد و فعالیت آنزیمی می‌توان پرورش ماهی کپور معمولی در این سیستم را توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی:

ماهی کپور معمولی، سیستم آکواپونیک، پارامترهای رشد، آنزیم‌های گوارشی، ایمنی غیراختصاصی

نوع مقاله:

پژوهشی اصیل

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۹۹/۰۹/۱۷

پذیرش: ۹۹/۱۲/۰۳

DOI: 10.22034/jair.9.3.31

نویسنده مسئول مکاتبه:

حسین آدینه، استادیار، گروه شیلات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

ایمیل: Adineh.h@gonbad.ac.ir

۱ | مقدمه

بدین منظور آب مخازن پرورش ماهی برای تصفیه وارد مخازن کشت گیاه شده که منجر به بهبود کیفیت آب و افزایش راندمان تولید (*Li et al.*, 2018). محققین معتقدند که تکنولوژی آکواپونیک یکی از روش‌های پذیرفته‌شده برای تولید موادغذایی پایدار در آینده است چراکه کاهش تخریب خاک، کمبود آب و افزایش بهره‌وری در این نوع روش به حداقل ممکن می‌رسد. علاوه بر این در این نوع روش تولید، هیچ‌گونه سموم دفع آفات و آنتی‌بیوتیک استفاده نمی‌گردد (*Yavuzcan et al.*, 2017).

برای انتخاب گونه‌ماهی و گیاه باید به شرایط اقلیمی، نور، دسترسی به آب با دما و وضعیت مناسب و ذخایر انرژی موجود توجه داشت. انواع زیادی از گیاهان در سیستم آکواپونیک پرورش می‌یابند که در این بین سبزیجات برگی مانند کاهو به‌دلیل سرعت بالای رشد خود (حدود ۳ تا ۴

جمعیت انسان‌ها که به‌سرعت در حال رشد است باعث شده تا تقاضا برای تأمین موادغذایی از جمله آبزیان رشد سریعتری داشته باشد (*Tacon, 2004; McNicoll, 2006*). برای جلوگیری از تأثیر منفی افزایش تولید آبزیان بر محیط زیست، سیستم‌های مدرن آبی‌پروری می‌تواند با به حداقل رساندن انتقال پساب به اکوسیستم قابلتوجه باشند. برای کاهش ورود فاضلاب‌های نیتروژنی و ذرات معلق از مزارع پرورش ماهی به طبیعت باید پالایش پساب صورت گیرد. بدین منظور محققین، به‌کارگیری سیستم "آکواپونیک" به‌نام سیستم دوستدار طبیعت را پیشنهاد می‌کنند (*Shete et al., 2016; Irhayyim et al., 2020*). آکواپونیک ترکیبی از تولید ماهی (آبی‌پروری) و کشت گیاهان بدون خاک (هیدروپونیک) تحت گردش آب به‌هم پیوسته است که برای تولید پایدار آبزیان به‌کار می‌رود (*Diver and Rinehart, 2010*).

arvensis) با ماهی کپور معمولی (*C. carpio*) در سیستم آکواپونیک (Shete et al., 2017)، تأثیر تراکم ذخیره ماهی بر کیفیت آب و عملکرد رشد کپور اروپایی و سبزیجات برگ‌دار در سیستم آکواپونیک (Maucieri et al., 2019) و بهینه‌سازی تراکم ذخیره ماهی کوی (*C.c carpio*) با گیاه دارویی بشقابی یا گوتوکولا (*Centella asiatica*) در سیستم آکواپونیک با استفاده از فاضلاب آبی‌پروری (Nuwansi et al., 2020) اشاره کرد.

آنچه که باید در طول دوره پرورش ماهی به آن توجه داشت این است که با افزایش رشد ماهی یکسری آلودگی نیتروژنی حاصل متابولیسم و غذای باقی‌مانده در محیط پرورش باقی‌مانده که با استفاده از سیستم آکواپونیک می‌توان اثرات مخرب ترکیبات سمی نیتروژنی را به حداقل رساند که در این میان بررسی سلامت ماهی برای داشتن تولید پایدار بسیار حائز اهمیت است بنابراین هدف از این مطالعه بررسی اثرات استفاده از سیستم آکواپونیک بر عملکرد رشد، ترشحات آزیم‌های گوارشی و پاسخ ایمنی ماهی کپور معمولی بود.

۲ | مواد و روش‌ها

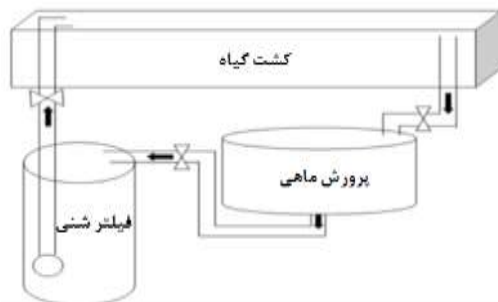
در این آزمایش بچه‌ماهی کپور معمولی (*C. carpio*) از مزرعه پرورش بچه‌ماهیان گرم‌آبی رشت تهیه و به مدت ۱۴ روز دوره سازگاری با شرایط آزمایشگاه را در مخازن ۴۰۰ لیتری بتنی در آزمایشگاه مهندسی آبیان دانشگاه گنبدکاووس سپری کردند. پارامترهای کیفی آب مخازن ماهی در طول دوره پرورش اندازه‌گیری شد به طوری که دمای آب $27/0 \pm 25/0$ درجه سانتی‌گراد، اکسیژن محلول به میزان $49/0 \pm 5/47$ میلی‌گرم در لیتر، آمونیاک و نیترات به ترتیب به میزان $0/03 \pm 0/02$ و $41/0 \pm 11/59$ گرم در ۳ تیمار (هر یک با ۳ تکرار) در مخازن ۶۰ لیتری ذخیره‌سازی شد. خروجی مخازن ماهی از هر تیمار وارد فیلتر شنی می‌شد. خروجی فیلتر شنی وارد ۳ لوله پولیکا هر یک حاوی ۱۷ بوته گیاه کاهو (*L. sativa*) شد و پس آن آب توسط پمپ به مخازن ماهی برگشت داده می‌شد. در گروه دیگر، خروجی فیلتر شنی وارد ۳ لوله پولیکا هر یک حاوی ۱۷ بوته گیاه خیار (*C. sativus*) شد و پس آن آب توسط پمپ به مخازن ماهی برگشت داده می‌شد. در تیمار شاهد، همین سامانه ولی بدون گیاه برقرار شد. ماهیان به مدت ۶۰ روز در سیستم آکواپونیک پرورش یافتند که به شرح ذیل بود:

تیمار آزمایش (T₀) پرورش ماهی بدون وجود گیاه؛ تیمار آزمایش (T_L) پرورش ماهی کپور معمولی و کشت گیاه کاهو در سیستم آکواپونیک؛ تیمار آزمایش (T_C) پرورش ماهی کپور معمولی و کشت گیاه خیار در سیستم آکواپونیک.

هفته)، قیمت مناسب در بازار و همچنین مشکلات کمتر در برابر آفت و بیماری کاندیدای مناسب برای این سیستم پرورش است بنابراین بکارگیری از هر نوع گیاه باید متناسب با توانایی تولیدکننده و بازار محصول صورت گیرد (Karlsdottir, 2012).

گونه‌های آبی مورد استفاده در سیستم آکواپونیک می‌توان به ماهی کپور معمولی، ماهی کوی، کپور علفخوار، تیلایپا، قزل‌آلای رنگین-کمان، سی‌باس آسیایی، ماهی سوف نقره‌ای و سوف طلایی اشاره کرد (Rakocy et al., 2010). در بین آبیان، ماهی کپور معمولی به دلیل تحمل بالای تراکم ذخیره‌سازی و مقاومت در برابر استرس (Adineh et al., 2019)، حساسیت کمتر در برابر تغییرات کیفیت آب و کمبود اکسیژن به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب می‌شود.

در محیط پرورش عوامل مختلف زیست‌شناختی همچون تراکم ذخیره‌سازی، عوامل بیماری‌زا و انگلی، رفتار عمومی آبی، پرخاشگری درون گونه‌ای، شرایط بدن، کیفیت و کمیت غذای مصرفی و همچنین نوع سیستم پرورش می‌تواند بر فیزیولوژی رشد و سلامت ماهی اثرگذار باشد (Ashley, 2007; Baßmann et al., 2017). سنجش شاخص-های ایمنی به‌ویژه هورمون استرس و آزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را می‌توان به‌عنوان شاخص کیفیت محیط‌زیست آبی و چگونگی عملکرد ارگان‌های بدن دانست (Pankhurst, 2011). اگر استرس بیش از حالت هموستاتیک باشد به احتمال زیاد بر سلامتی ماهی تأثیر منفی می‌گذارد (Conte, 2004)، بنابراین ارزیابی پارامترهای ایمنی خون می‌تواند در تشخیص واکنش فیزیولوژیکی ماهی در برابر عوامل محیطی و شرایط زیستی در جهت ارزیابی سلامت ماهی کمک نماید (Gao et al., 2020). مطالعات متنوع داخلی و خارجی درخصوص استفاده از سیستم آکواپونیک انجام شده که می‌توان به تأثیر افزودن ویتامین B₃ در یک سازگان توأم ماهی تیلایپای نیل (*Oreochromis niloticus*) و گیاه کاهو (*Lactuca sativa*) و بررسی عملکردی رشد گیاه و ماهی (Salamroodi et al., 2020)، بررسی رشد و میزان تولید ماهی کپور معمولی *Cyprinus carpio* در سیستم آکواپونیک و روش سنتی پرورش توأم (Minabi et al., 2020)، تأثیر افزایش سختی کل آب بر شاخص‌های رشد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) و گیاه کاهو (*L. sativa*) در یک سازگان آبی‌پروری توأم (Salamroodi et al., 2020)، تأثیر گیاه سنبل آبی (*Eichhornia crassipes*) بر تغییرات شاخص‌های ایمنی و آزیم‌های کبدی در ماهی کوی (*Cyprinus carpio carpio*) در سیستم آکواپونیک (Varasteh et al., 2018)، نقش ویتامین B₁ در سازگان پرورش توأم ماهی تیلایپای نیل (*O. niloticus*) و گیاه زعفران (*Crocus stivus*) و بررسی شاخص‌های رشد ماهی و گیاه (Javanmardi et al., 2019)، ارزیابی محیط‌های مختلف هیدروپونیک برای نعنای (*Mentha*)



شکل ۱- طراحی سیستم پرورش ماهی و گیاه (آکواپونیک)

گذاری شده در فریزر با دمای ۸۰- درجه سانتیگراد نگهداری شد. میزان ایمونوگلوبولین توسط کیت مخصوص به روش کدورت‌سنجی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر انجام شد (Siwicki, 1993). برای سنجش فعالیت لیزوزیم، ترسیم منحنی استاندارد توسط لیزوزیم سفیده تخم- مرغ (۱ میلی‌گرم در لیتر لیزوزیم) انجام شد. مقدار ۲۵ میکرولیتر از پلاسما به پلیت‌های ۹۶ خانه‌ای الیزا افزوده شد و سپس مقدار ۱۷۵ میکرولیتر از سوسپانسیون باکتریایی میکروکوکوس لیزودیکتیکوس (*Micrococcus lysodeikticus*) در غلظت ۰/۲۰ میلی‌گرم در لیتر در ۰/۵ مولار بافر فسفات با پی‌اچ ۶/۲ اضافه شد. با استفاده از دستگاه الیزا (Bio-Tak) جذب نوری اولیه در طول موج ۵۳۰ نانومتر قرائت و پس از ۱ ساعت نگهداری در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد اتاق، مجدداً جذب نوری اندازه‌گیری شد (ELLIS, 1990). برای آنزیم سوپر اکساید دیسموتاز (SOD)، ابتدا در حضور هیدروژن پراکساید (H_2O_2) فرآیند اتواکسیداسیون پیروگالول بررسی شد. در طی این فرآیند از سطح آنزیم سوپر اکساید دیسموتاز موجود در سرم کاسته شد، سپس سنجش با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر انجام شد (Marklund and Marklund, 1974). برای سنجش آنزیم کاتالاز (CAT)، سرم خون نمونه‌ها با محلول پراکسید هیدروژن (H_2O_2) به مدت ۱۰ دقیقه در دمای اتاق در مجاورت هم قرار گرفتند. سپس از محلول آمونیم مولیبدات جهت توقف فرآیند اکسیداسیون جهت تعیین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز استفاده شد. سنجش با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۱۰ نانومتر انجام شد (Goth, 1991). میزان گلوکز سرم با استفاده از کیت‌های تجاری (پارس آزمون، کرج، ایران) براساس دستور- العمل شرکت سازنده و به روش رنگ‌سنجی تعیین گردید. سطوح کورتیزول سرم با استفاده از کیت آزمایشگاهی به روش ELISA (IBL Co., Gesellschaft für Immunchemie und Immunbiologie) تعیین شد (Adineh et al., 2020).

قبل از آنالیز نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون Shapiro-Wilk و Levene's بررسی و از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) برای مقایسه آماری تیمارها و از روش دانکن برای بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها تیمارهای مختلف آزمایشی استفاده شد. در آزمون‌های آماری سطح معنی‌دار ۰/۰۵ در نظر گرفته شد ($p < 0.05$). رسم نمودار و تجزیه و تحلیل داده‌ها به- ترتیب با استفاده از نرم‌افزار Excel و SPSS در محیط ویندوز انجام شد.

عملکرد رشد و تغذیه: پایان دوره آزمایش برای به‌دست آوردن عملکرد رشد و تغذیه ماهیان، وزن توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ گرم و طول به‌وسیله تخته بیومتری با دقت ۱ میلی‌متر طبق فرمول‌های ذیل محاسبه شد:

$$\begin{aligned} \text{میانگین رشد روزانه} &= (\text{وزن نهایی (گرم)} - \text{وزن اولیه (گرم)}) / (\text{تعداد روزهای پرورش}) \times 100 \\ \text{نرخ رشد ویژه} &= [Ln(\text{وزن نهایی (گرم)}) - Ln(\text{وزن اولیه (گرم)})] / (\text{روزهای آزمایش}) \times 100 \\ \text{ضریب چاقی} &= (\text{وزن نهایی (گرم)}) / (\text{توان سوم طول کل ماهی (سانتی‌متر)}) \times 100 \\ \text{ضریب تبدیل غذایی} &= (\text{مقدار غذای مصرف شده (گرم)}) / (\text{وزن نهایی (گرم)} - \text{وزن اولیه (گرم)}) \\ \text{کارایی تبدیل غذا} &= (\text{وزن بدست آمده (گرم)}) / (\text{مقدار غذای مصرف شده (گرم)}) \times 100 \\ \text{نسبت کارایی پروتئین} &= (\text{وزن بدست آمده (گرم)}) / (\text{مقدار مصرف پروتئین (گرم)}) \\ \text{نسبت کارایی چربی} &= (\text{وزن بدست آمده (گرم)}) / (\text{مقدار مصرف چربی (گرم)}) \end{aligned}$$

سنجش آنزیم‌های گوارشی: پایان دوره آزمایش تعداد ۳ قطعه ماهی کپور به‌طور تصادفی از هر تکرار صید شد. ناحیه شکم پس از خشک شدن با الکل ضدعفونی و روده به‌طور کامل از بدن خارج و با سرم فیزیولوژی شستشو داده شد. نمونه‌های دستگاه گوارش همگن شدند و در دور ۲۵۰۰۰ به‌مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند و مواد مایع رویی حاصل جمع شد. برای تعیین مقدار فعالیت آنزیم آمیلاز از نشاسته محلول ۰/۳٪ به‌عنوان سوبسترا با بافر NaH_2PO_4 (pH=۷/۴) با روش توصیفی لانگلوئیز و همکاران (Langlois et al., 1987) اندازه‌گیری شد. فعالیت لیپاز با هیدرولیز ۰/۵ میلی‌مولار از p-nitrophenyl myristate ۰/۲۵ میلی‌مولار از 2-methoxy ethanol و ۵ میلی‌مولار از sodium cholate و ۰/۲۵ مولار بافر Tris/Hcl مورد سنجش قرار گرفت (Iijima et al., 1998). فعالیت آنزیم پروتئاز با استفاده از محلول سوبسترا آزوکارژین ۰/۱٪ در ۰/۲ مولار بافر فسفات با پی‌اچ ۷ انجام شد (Walter, 1984).

سنجش برخی پارامترهای ایمنی و آنتی‌اکسیدانی: به‌منظور سنجش برخی از فاکتورهای ایمنی غیراختصاصی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، ماهیان پرورش‌یافته در سیستم آکواپونیک به‌مدت ۲۴ ساعت قطع غذاهای شدند. پس از بیهوشی ماهیان با ۲۰۰ میلی‌گرم پودر میخک، از هر تکرار تعداد ۵ قطعه ماهی به‌طور تصادفی صید و خون‌گیری از ساقه دمی توسط سرنگ‌های فاقد ماده ضد انعقاد انجام شد. برای جداسازی بهتر سرم از گلبول‌های خونی، خون در لوله‌های سرم‌شناسی فاقد ماده هپارینه به‌مدت ۱ ساعت در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و پس از ته‌نشینی لخته، در دستگاه سانتریفوژ یخچال‌دار به- مدت ۱۰ دقیقه در دور ۵۰۰۰ قرار گرفت. سرم تا زمان سنجش فاکتورهای خونی در درون میکروتیوب‌های درب‌دار استریل شماره-

۳ | نتایج

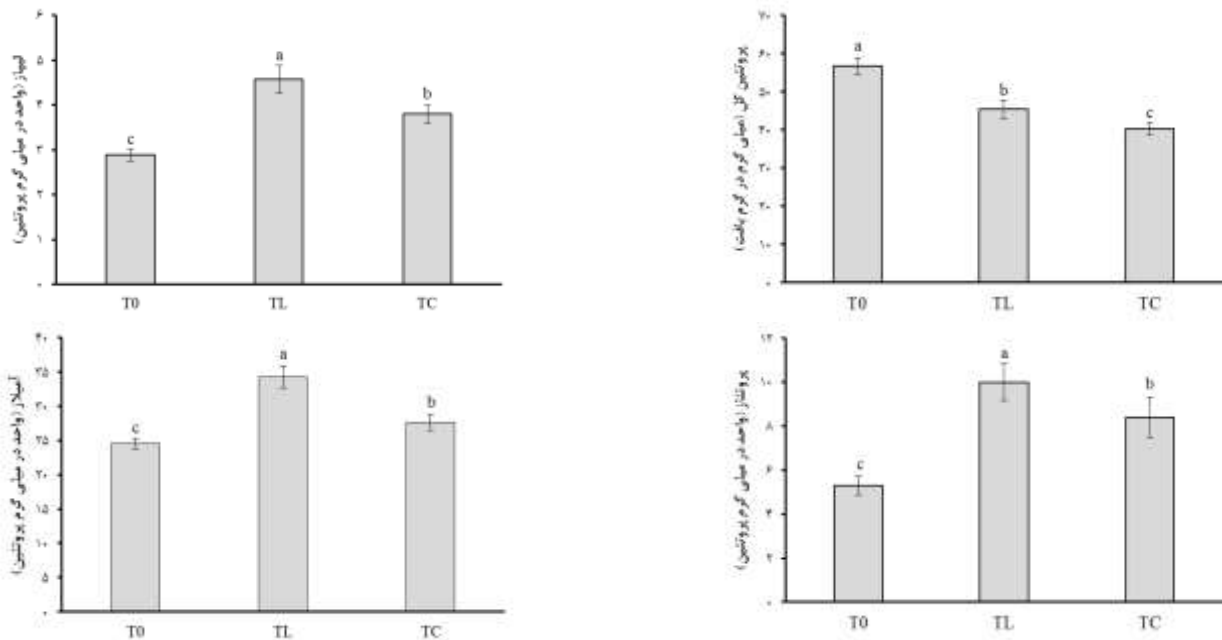
تیمار شاهد به ترتیب $34/73 \pm 1/78$ گرم و $26/93 \pm 1/51$ گرم به دست آمد ($p < 0/05$). رشد روزانه و نرخ رشد ویژه در تیمارهای آکوپونیک T_C و T_L در مقایسه با تیمار شاهد T_0 افزایش آماری معنی‌داری داشت ($p < 0/05$). ضریب تبدیل غذایی در تیمارهای آکوپونیک T_C و T_L در مقایسه با تیمار شاهد T_0 از $2/65 \pm 0/27$ به $1/73 \pm 0/13$ کاهش یافت. با کاهش ضریب تبدیل غذایی نیز کارایی تبدیل غذایی افزایش یافت. در شرایط کشت آکوپونیک T_C و T_L معیارهایی مانند نسبت کارایی پروتئین و چربی نیز افزایش معنی‌داری داشتند ($p < 0/05$).

نتایج به دست آمده از پارامترهای رشد و تغذیه ماهی کپور پرورش یافته در سیستم آکوپونیک در جدول ۱ نشان داده شده است. در پایان ۶۰ روز دوره پرورش، عملکرد رشد و تغذیه ماهی کپور معمولی در شرایط کشت آکوپونیک نسبت به تیمار شاهد بدون کشت آکوپونیک اختلاف معنی‌دار آماری داشت ($p < 0/05$) در حالی که بین دو تیمار کشت آکوپونیک T_C و T_L تفاوت آماری مشاهده نداشت ($p > 0/05$). وزن نهایی بین تیمارهای مختلف آزمایشی اختلاف آماری معنی‌داری داشت به طوری که بیشترین مقدار در تیمارهای آکوپونیک و کمترین آن در

جدول ۱- عملکرد رشد و تغذیه ماهی کپور معمولی در سیستم آکوپونیک به مدت ۶۰ روز

T _C	T _L	T ₀	
$11/50 \pm 0/41$	$11/55 \pm 0/39$	$11/73 \pm 0/43$	وزن اولیه (گرم)
$34/64 \pm 2/18^a$	$34/73 \pm 1/78^a$	$26/93 \pm 1/51^b$	وزن نهایی (گرم)
$0/38 \pm 0/035^a$	$0/38 \pm 0/029^a$	$0/25 \pm 0/027^b$	رشد روزانه (درصد)
$1/83 \pm 0/10^a$	$1/83 \pm 0/09^a$	$1/38 \pm 0/12^b$	نرخ رشد ویژه
$2/30 \pm 0/13$	$2/27 \pm 0/09$	$2/23 \pm 0/11$	ضریب چاقی
$1/74 \pm 0/16^b$	$1/73 \pm 0/13^b$	$2/65 \pm 0/27^a$	ضریب تبدیل غذایی
$57/87 \pm 5/27^a$	$57/94 \pm 4/40^a$	$38/01 \pm 4/18^b$	کارایی تبدیل غذا
$0/59 \pm 0/05^b$	$0/58 \pm 0/04^b$	$0/38 \pm 0/04^b$	نسبت کارایی پروتئین
$2/80 \pm 0/25^a$	$2/82 \pm 0/21^a$	$1/85 \pm 0/20^b$	نسبت کارایی چربی

- وجود حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان از اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارها است ($p < 0/05$).



شکل ۲- مقادیر آنزیم‌های گوارشی در تیمارهای مختلف آزمایشی (بترتیب پروتئین، پروتئاز، لیپاز و آمیلاز)

پروتئین به دست آمد. مقادیر آنزیم‌های لیپاز و آمیلاز ماهی کپور معمولی پرورش یافته در تیمار T_L سیستم آکوپونیک نسبت به تیمار T_0 بدون آکوپونیک تفاوت آماری داشت ($p < 0/05$). مقادیر به دست آمده از ایمنی سرم خون ماهی کپور معمولی در جدول ۲ نشان داده شده است. ایمنوگلوبولین کل و لیوزیم در تیمارهای مختلف آزمایشی تفاوت معنی‌دار داشت ($p < 0/05$). بیشترین مقادیر فاکتورهای ذکر شده به ترتیب در

فعالیت آنزیم‌های گوارشی ماهی کپور معمولی پرورش یافته در محیط آکوپونیک در شکل ۲ آورده شده است. پروتئین کل بین تیمارهای مختلف آزمایشی اختلاف معنی‌دار آماری داشت ($p < 0/05$). مقدار پروتئاز در تیمار T_L در مقایسه با تیمار شاهد T_0 به طور معنی‌دار افزایش داشت ($p < 0/05$). مقادیر این آنزیم در تیمارهای T_C و T_L و T_0 به ترتیب $10/00 \pm 0/84$ ، $8/40 \pm 0/93$ و $5/31 \pm 0/44$ واحد در میلی‌گرم

مقایسه با تیمار T₀ افزایش معنی‌داری داشت (p<0/05). آنزیم کاتالاز در تیمارهای آکوپونیک در مقایسه با تیمار شاهد تفاوت آماری داشت (p<0/05).

تیمارهای T_C، T_L و T₀ به‌دست آمد. گلوکز و کورتیزول افزایش معنی‌دار آماری در تیمار شاهد (T₀) نسبت به تیمارهای آکوپونیک (T_C و T_L) داشت (p<0/05). آنزیم آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسمتاز سرم خون ماهی کپور معمولی در تیمارهای T_L و T_C در

جدول ۲- شاخص‌های ایمنی و آنتی‌اکسیدانی سرم خون ماهی کپور معمولی پرورش یافته در سیستم آکوپونیک

T _C	T _L	T ₀	
۷۳/۶۹±۱/۶۷ ^a	۶۴/۸۵±۱/۶۹ ^b	۵۱/۵۳±۲/۱۳ ^c	ایمنوگلوبولین (میلی گرم / میلی لیتر)
۲۹/۵۷±۱/۲۹ ^a	۲۴/۳۲±۰/۶۱ ^b	۲۰/۷۳±۱/۱۷ ^c	لیزوزیم (واحد / میلی لیتر)
۱۲۹/۸۳±۲/۲۰ ^b	۱۲۹/۱۰±۲/۰۹ ^b	۱۳۴/۸۵±۲/۷۵ ^a	گلوکز (میلی گرم / دسی لیتر)
۲۳/۴۷±۱/۴۷ ^b	۲۱/۳۱±۰/۸۹ ^b	۳۰/۴۷±۱/۵۴ ^a	کورتیزول (نانوگرم / میلی لیتر)
۶۵/۵۷±۲/۹۷ ^a	۶۴/۱۶±۰/۷۶ ^a	۵۹/۳۱±۲/۰۰ ^b	سوپراکسید دیسمتاز (واحد / میلی لیتر)
۴۸/۲۶±۱/۶۲ ^b	۴۵/۸۱±۱/۲۵ ^b	۵۴/۷۵±۱/۷۱ ^a	کاتالاز (واحد / میلی لیتر)

- وجود حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان از اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارها است (p<0/05)

۴ | بحث و نتیجه‌گیری

به قدرت هضمی ماهیان موثر باشد. افزایش کارایی رشد تحت‌تأثیر شرایط زیستی برای بهبود هضم و جذب غذا است از اینرو جمعیت میکروارگانیزم‌های مفید، فعالیت آنزیمی باکتری‌ها، بهبود تعادل میکروبی روده (Tovar et al., 2002) می‌تواند در افزایش این راندمان کمک نماید. مقدار پروتئین کل بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری داشت. آنزیم‌های گوارشی پروتئاز، لیپاز و آمیلاز در تیمار T_L افزایش معنی‌داری در مقایسه با تیمار T₀ داشت. آنزیم‌های پروتئاز و آمیلاز به‌عنوان آنزیم‌های هضمی درون‌ریز می‌توانند هضم، جذب و بهره‌وری تغذیه را تسهیل نمایند (Luo et al., 2014). نتایج این تحقیق نشان داد که ماهی کپور معمولی می‌تواند به‌خوبی با شرایط جدید تغذیه در سیستم آکوپونیک سازگار شود و فعالیت آنزیم‌های گوارشی را تحریک نماید که نتیجه آن بهبود کارایی هضم و افزایش رشد ماهی است.

با افزایش علاقه عمومی به آکوپونیک نیاز بیشتر به نظارت بر سلامت ماهی برای به حداقل رساندن خطر شیوع بیماری‌های عفونی و غیر عفونی جهت حفظ امنیت زیستی را ضروری می‌کند (Yildiz et al., 2019). پارامترهای خون ماهی نسبت به تغییر شرایط زیستی بسیار حساس است بنابراین از آن می‌توان برای ارزیابی سلامت ماهی استفاده کرد (De Pedro et al., 2005). شناخت فاکتورهای خونی به‌منظور شناسایی بیماری‌ها، نوع تغذیه و تعیین شرایط بهداشتی و سلامت ماهی می‌تواند مفید باشد (Bahmani et al., 2001). ایمنوگلوبولین و فعالیت لیزوزیم از فاکتورهای مهم ایمنی غیراختصاصی در مهره‌داران است (Sheikhzadeh et al., 2013). در این مطالعه، ایمنوگلوبولین کل و فعالیت لیزوزیم در تیمارهای مختلف آزمایشی اختلاف آماری معنی‌داری داشت. بیشترین مقدار ایمنوگلوبولین کل در تیمار TC (۷۳/۶۹ ± ۱/۶۷ میلی گرم در میلی لیتر) و کمترین مقدار این فاکتور در تیمار T₀ (۵۱/۵۳ ± ۲/۱۳ میلی گرم در میلی لیتر) به‌دست آمد. همسو با نتایج ما گزارش شده که استفاده از سیستم آکوپونیک می‌تواند شاخص‌های ایمنی ماهی کوی را افزایش دهد (Varasteh et al., 2018). در صورت بروز استرس در محیط، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

پرورش آبزین در سیستم آکوپونیک یکی از روش‌های نوین آبی‌پروری برای تولید غذا (گیاه و جانور آبی) است. نتایج کارایی رشد و تغذیه ماهی کپور پرورش یافته در سیستم آکوپونیک در مقایسه با تیمار شاهد T₀ نشان داد که بیشترین وزن نهایی در تیمارهای T_L و T_C به‌دست آمد. با توجه به افزایش وزن در تیمارهای آکوپونیک دیگر فاکتورهای رشد همچون درصد رشد روزانه، نرخ رشد ویژه، ضریب چاقی افزایش معنی‌دار آماری داشت. براساس گزارش منتشر شده به‌کارگیری سیستم آکوپونیک در مقایسه با سیستم سنتی (استخر خاکی) منجر به افزایش میزان تولید ماهی کپور معمولی در واحد سطح به بیش از ۲۰۰ برابر شد در حالی که شاخص اقتصادی در روش سنتی مطلوبتر بود که نشان‌دهنده هزینه پایین تولید ماهی در استخر خاکی است (Minabi et al., 2020). یکی از عوامل اثرگذار بر افزایش راندمان رشد و بهره‌وری تغذیه، کیفیت آب محیط پرورش می‌باشد (Yavuzcan Yildiz et al., 2017). بهبود شرایط محیطی در سیستم آکوپونیک ممکن است به دلیل فعالیت باکتری‌های اکسیدکننده آمونیاک و کاهش سطح آمونیاک سمی و همچنین فعالیت باکتری‌های اکسیدکننده نیتريت و بالا بودن سطح نیترات باشد. بهبود شرایط محیطی می‌تواند باعث افزایش سرعت رشد ماهی شود (Anantharaja et al., 2017). در این مطالعه، برای بهبود کیفیت آب در سیستم آکوپونیک از گیاه کاهو و خیار استفاده شد که در مقایسه با تیمار شاهد بدون استفاده از گیاه توانست باعث افزایش عملکرد رشد و کاهش ضریب تبدیل غذایی شود. گیاه کاهو با جذب یون‌های آمونیم (Aoi and Hayashi, 1996) از اهمیت ویژه‌ای در حفظ مقادیر ترکیبات نیتروژنی آب در محیط پرورش ماهی برخوردار است. همسو با نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر، گزارشی در خصوص موفقیت سیستم آکوپونیک برای پرورش ماهی آناباس (*Anabas testudineus*) (Anantharaja et al., 2017)، تولید ماهی کوی (*C.c carpio*) (Nuwansi et al., 2019) و پرورش ماهی کپور معمولی (*C.carpio*) (Minabi et al., 2020) منتشر شده است. با توجه به اینکه آنزیم‌های گوارشی نقش کلیدی در هضم مواد غذایی برعهده دارند بنابراین آگاهی از سطح فعالیت آنها می‌تواند در پی بردن

- huso). *Fish Physiology and Biochemistry*, 24: 135-140.
- Baßmann B., Brenner M., Palm H.W. 2017. Stress and welfare of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) in a coupled aquaponic system. *Water*, 9(7): 504.
- Chen Y.J., Yuan R.M., Liu Y.J., Yang H.J., Liang G.Y., Tian L.X. 2015. Dietary vitamin C requirement and its effects on tissue antioxidant capacity of juvenile largemouth bass, *Micropterus salmoides*. *Aquaculture*, 435: 431-436.
- Conte F.S. 2004. Stress and the welfare of cultured fish. *Applied Animal Behaviour Science*, 86(3-4): 205-223.
- De Pedro N., Guijarro A.E., LopezPatino M.A., Marinez-Alvarez R., Delgado M. 2005. Daily and seasonal variation in haematological and blood biochemical parameters in tench *Tinca tinca*. *Aquaculture Research*, 36: 85-96.
- Ellis A.E. 1990. Lysozyme assays. In: Stolen, J.S., Fletcher, T.C., Anderson, D.P., Robertson, B.S., Van Muiswinkel, publication. pp: 101-103.
- Gao Y., Zhu G., Tian Y., Li K., Zhao Y., Liang J., Li X. 2020. Blood biochemistry profile of Qihe crucian carp *Carassius auratus* in different aquaponic systems. *Environmental Science and Pollution Research*, 21:1-10.
- Goth L. 1991. A simple method for determination of serum catalase activity and revision of reference range. *Clinica Chimica Acta*, 196(2-3): 143-151.
- Iijima N., Tanaka S., Ota Y. 1998. Purification and characterization of bile salt-activated lipase from the hepatopancreas of red sea bream, *Pagrus major*. *Fish physiology and biochemistry*, 18(1): 59-69.
- Irhayyim T., Fehér M., Lelesz J., Bercsényi M., Bársony P. 2020. Nutrient Removal Efficiency and Growth of Watercress (*Nasturtium officinale*) under Different Harvesting Regimes in Integrated Recirculating Aquaponic Systems for Rearing Common Carp (*Cyprinus carpio* L.). *Water*, 12(5): 1419.
- Javanmardi S., Rafiee G., Rezaei Tavabe K. 2019. Roles of vitamin B1 in an aquaponic system using Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Saffron plant (*Crocus stavius*), and its effects on fish and plant growth. *Journal of Aquaculture Sciences*, 6 (2): 51-59. (In Persian).
- Karlsdottir S.K. 2012. Aquaponics – Grønn vekst, Funded by Nordisk Atlantsamarbejde (NORA) 2011- 2012, Project No 510-072, Final report from the project.
- Langlois A., Corring T., Fevrier C. 1987. Effects of wheat bran on exocrine pancreas secretion in the pig. *Reproduction Nutrition Developpement*, 27(5): 929-939
- Li G., Tao L., Li X.L., Peng L., Song C.F., Dai L.L., Xie L. 2018. Design and performance of a novel rice hydroponic biofilter in a pond-scale aquaponic recirculating system. *Ecological engineering*, 125: 1-10.
- Lu Y., Liang X.P., Jin M., Sun P., Ma H.N., Yuan Y., Zhou Q.C. 2016. Effects of dietary vitamin E on the growth performance, antioxidant status and innate immune response in juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Aquaculture*, 464: 609-617.
- به‌عنوان اولین خط دفاعی بدن واکنش نشان می‌دهند، از این رو با بررسی آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز می‌تواند در ارزیابی سلامت آبی و وضعیت سیستم ایمنی حائز اهمیت باشد (Chen et al., 2015; Lu et al., 2016). نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در تیمارهای آکواپونیک (T_C و T_L) به‌دست آمد. شاخص‌های گلوکز و کورتیزول اغلب به‌عنوان نشانگرهای زیستی استرس استفاده می‌شود که در این آزمایش بیشترین مقادیر این فاکتورها در تیمار شاهد به‌دست آمد. کاهش مقادیر کورتیزول در تیمارهای T_L و T_C نشان‌دهنده عملکرد بهینه سیستم آکواپونیک است، چنین سیستمی را می‌توان به‌عنوان یک محیط ضد استرس برای ماهی کپور معمولی معرفی کرد (Adineh et al., 2019). برای به‌حداقل رساندن میزان استرس بایستی عوامل تشکیل‌دهنده سیستم آکواپونیک به‌خوبی عمل نماید تا کیفیت آب در حد مطلوب به محیط پرورش آبی رسیده و ماهی در شرایط فیزیولوژیکی مناسب به رشد خود ادامه دهد. به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد سیستم آکواپونیک (ماهی و گیاه) می‌تواند مکانی مناسب و بدون استرس برای رشد و تقویت سیستم ایمنی ماهی کپور معمولی باشد.

پست الکترونیک نویسندگان

- مهدی اسدی: asadi.mehdi1995@gmail.com
 محمد هرسنج: m_harsij80@yahoo.com
 حسین آدینه: adineh.h@gmail.com
 محمد قلی‌زاده: gholizade_mohammad@yahoo.com
 نیما معظمی: nima moazami@gmail.com

REFERENCES

- Adineh H., Naderi M., Hamidi M.K., Harsij M. 2019. Biofloc technology improves growth, innate immune responses, oxidative status, and resistance to acute stress in common carp (*Cyprinus carpio*) under high stocking density. *Fish and Shellfish Immunology*, 95: 440-448.
- Adineh H., Naderi M., Yousefi M., Khademi Hamidi M., Ahmadifar E., Hoseini S.M. 2020. Dietary licorice (*Glycyrrhiza glabra*) improves growth, lipid metabolism, antioxidant and immune responses, and resistance to crowding stress in common carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture Nutrition*, 27(2): 417-426.
- Anantharaja K., Mohapatra B.C., Pillai B.R., Kumar R., Devaraj C., Majhi D. 2017. Growth and survival of climbing perch, *Anabas testudineus* in Nutrient Film Technique (NFT) Aquaponics System. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 5(4): 24-29.
- Aoi T., Hayashi T. 1996. Nutrient removal by water lettuce (*Pistia stratiotes*). *Water Science and Technology*, 34(7-8): 407-412.
- Ashley P.J. 2007. Fish welfare: current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science*, 104(3-4): 199-235.
- Bahmani M., Kazemi R., Donskaya P. 2001. A comparative study of some haematological features in young reared sturgeons (*Acipenser persicus* and *Huso*

- Luo G., Gao Q., Wang C., Liu W., Sun D., Li L., Tan H. 2014. Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. *Aquaculture*, 422: 1-7.
- Marklund S., Marklund G. 1974. Involvement of the superoxyde anion radical in the auto oxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxyde dismutase. *European Journal of Biochemistry*, 47: 469-474.
- Maucieri C., Nicoletto C., Zanin G., Birolo M., Trocino A., Sambo P., Xiccato G. 2019. Effect of stocking density of fish on water quality and growth performance of European Carp and leafy vegetables in a low-tech aquaponic system. *PloS one*, 14(5): 1-15.
- McNicol G. 2006. United Nations Department Of Economic and Social Affairs, Population Division: Population, Resources, Environment and Development Database, Version 4.0. Population and Development Review, 32(4): 790-791.
- Minabi E., Yavari V., Morammazi J. 2020. Evaluation of growth and production of common carp *Cyprinus carpio* in aquaponic system and traditional aquaculture method. *Wetland Ecobiology*, 11(4): 19-24. (In Persian).
- Nuwansi K.K.T., Verma A.K., Chandrakant M.H., Prabhath G.P.W.A., Peter R.M. 2020. Optimization of stocking density of koi carp (*Cyprinus carpio* var. koi) with gotukola (*Centella asiatica*) in an aquaponic system using phytoremediated aquaculture wastewater. *Aquaculture*, 73:59-65.
- Nuwansi K.K.T., Verma A.K., Rathore G., Prakash C., Chandrakant M.H., Prabhath G.P.W.A. 2019. Utilization of phytoremediated aquaculture wastewater for production of koi carp (*Cyprinus carpio* var. koi) and gotukola (*Centella asiatica*) in an aquaponics. *Aquaculture*, 507: 361-369.
- Pankhurst N.W. 2011. The endocrinology of stress in fish: an environmental perspective. *General and comparative endocrinology*, 170(2): 265-275.
- Rakocy J.E., Bailey D., Shultz C. Danaher J. 2010. The Status of Aquaponics-University of the Virgin Islands Agricultural Experiment Station. USA. 68p.
- Salamroodi E., Rafiee G., hashemi E., Rezaei Tavabe K. 2020. Effect of increasing vitamin B3 in a combined Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and lettuce (*Lactuca sativa*), and a functional study of plant and fish growth indices. *Journal of Fisheries*, 73(2): 163-174. (In Persian).
- Salamroodi E., Rafiee G., Rezaei Tavabe K. 2020. The effect of increasing water hardness on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and lettuce (*Lactuca sativa*) growth indices in a combined aquaculture. *Journal of Aquaculture Sciences*, 7 (2): 77- 90. (In Persian).
- Sheikhzadeh N. 2013. Influence of dietary vegetable crops on Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) immune system and growth performance, *Acta Scientiae Veterinariae* 41: 11-19.
- Shete A.P., Verma A.K., Chadha N.K., Prakash C., Chandrakant M.H., Nuwansi K.K.T. 2017. Evaluation of different hydroponic media for mint (*Mentha arvensis*) with common carp (*Cyprinus carpio*) juveniles in an aquaponic system. *Aquaculture international*, 25(3): 1291-1301.
- Shete A.P., Verma A.K., Chadha N.K., Prakash C., Peter R.M., Ahmad I., Nuwansi K.K.T. 2016. Optimization of hydraulic loading rate in aquaponic system with Common carp (*Cyprinus carpio*) and Mint (*Mentha arvensis*). *Aquacultural Engineering*, 72: 53-57.
- Siwicki A. 1993. Nonspecific defense mechanisms assay in fish. II. Potential killing activity of neutrophils and macrophages, lysozyme activity in serum and organs and total immunoglobulin (Ig) level in serum. *Fish diseases diagnosis and preventions methods*. Olsztyn, Poland. 111p
- Tacon A.G.J. 2004. Use of fish meal and fish oil in aquaculture: a global perspective. *Aquatic Resources, Culture and Development*, 1(1): 3-14.
- Tovar D., Zambonino J., Cahu C., Gatesoupe F.J., Vázquez-Juárez R., Lésel R. 2002. Effect of live yeast incorporation in compound diet on digestive enzyme activity in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Aquaculture*, 204(1-2): 113-123.
- Varasteh G., Soltani M., Shamsae Mehrjan M., Kamali A. 2018. Investigation of changes in growth indices, immune factors and hepatic enzymes of koi carp (*Cyprinus carpio carpio*) in an aquaponic system. *Wetland Ecobiology*, 10(3): 75-90. (In Persian).
- Walter H. 1984. Proteinases: Methods with hemoglobin, casein and azocoll as substrates in: *Methods of Enzymatic Analysis*, Vol. 5, Bergmeyer H.U., Bergmeyer J. In: John Wiley and Sons Ltd, New York, USA. pp:270-274.
- Yavuzcan Yildiz H., Robaina L., Pirhonen J., Mente E., Domínguez 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(1): 13-19.
- Yildiz H.Y., Radosavljevic V., Parisi G., Cvetkovikj A. 2019. Insight into Risks in Aquatic Animal Health in Aquaponics. *Aquaponics Food Production Systems*, 435p.

نحوه استناد به این مقاله:

اسدی م، هرسج م، آدینه ح، قلی‌زاده م، معظمی ن. بررسی عملکرد رشد، فعالیت آنزیم گوارشی، پارامترهای ایمنی و آنتی‌اکسیدانی ماهی کپور (*Cyprinus carpio*) پرورش یافته در سیستم آکواپونیک. نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی دانشگاه گنبدکاووس. ۱۴۰۰، ۳۷-۳۰: ۹(۳).

Asadi M., Harsij M., Adineh H., Gholizadeh M., Moazami N. Evaluation of growth performance, digestive enzyme activity, immune and antioxidant parameters of Common carp (*Cyprinus carpio* L.) juveniles reared in aquaponic system. *Journal of Applied Ichthyological Research, University of Gonbad Kavous*. 2021, 9(3): 30-37.

Evaluation of growth performance, digestive enzyme activity, immune and antioxidant parameters of Common carp (*Cyprinus carpio* L.) juveniles reared in aquaponic system

Asadi M¹., Harsij M²., Adineh H^{3*}., Gholizadeh M⁴., Moazami N⁵.

¹Ms.C., Aquatic Ecology, Dept. of Fisheries, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

²Assistant Prof., Dept. of Fisheries, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

³Assistant Prof., Dept. of Fisheries, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

⁴Assistant Prof., Dept. of Fisheries, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

⁵ Ms.C., Aquatic Ecology, Dept. of Fisheries, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

Type:

Original Research Paper

Paper History:

Received: 07-12-2020

Accepted: 21-02- 2021

Corresponding author:

Adineh H. Assistant Prof., Dept. of Fisheries, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

Email: adineh.h@gmail.com

Abstract

Aquaponic is considered a sustainable semi-closed system for food production that combines aquaculture and hydroponics. The aims of this study were to evaluate the influence of aquaponic on the growth and feed performance, digestive enzyme activity and blood parameters of Common carp juveniles for 60 days. This experiment consisted of three groups (three replications per group) which included; cultivation of common carp without plants (T0), use of aquaponic system for culturing common carp with lettuce (TL) and cucumber (TC). A total of 225 carp (initial body weight: 11.59 ± 0.41g) were randomly distributed in nine 60-L tanks. Results showed that aquaponic system in TL and TC groups could increase the weight gain (WG) and specific growth rate (SGR) and reduce the feed conversion ratio (FCR) of common carp. Total protease, amylase, and lipase activities were also significantly higher in TL and TC groups than control group, respectively. After 60 days, serum lysozyme activity and total immunoglobulin were significantly higher and serum cortisol and glucose levels were lower in aquaponic groups than the control group. The highest serum catalase and superoxide dismutase were observed in TL and TC group. The best effect on growth, digestive enzymes, and immune response were shown in TL and TC groups (Aquaponic system) compared to control.

Keywords Common carp, Aquaponic system, Growth parameters, Digestive enzymes, Non-specific immunity