

Research Article

Metabolic and antioxidant enzyme activities in the hepatopancreas of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) in a limited water exchange aquaculture system: Influenced by adding different levels of wheat flour

Mohammad Hossein Khanjani^{1*}, Jamshid Eslami²

¹ Department of Fisheries Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Kerman, Iran

² Persian Gulf Aquatic Resources Reproduction and Reconstruction Center, Hormozgan Province Fisheries Directorate, Iranian Fisheries Organization, Bandar Kolahy, Minab, Iran

Key Words

Pacific white shrimp
Biofloc
Wheat flour
Metabolic enzymes
Antioxidant

Abstract

Introduction: The biofloc system affects the immune and antioxidant parameters of farmed shrimp. This study examined the activity of metabolic and antioxidant enzymes of the hepatopancreas of pacific white shrimp when wheat flour was added (compared to daily feed).

Materials & Methods: For this study, Pacific white shrimp with an average weight of 2.80 ± 0.25 grams were used in five different experimental groups. A control group (without wheat flour addition) and four biofloc groups were included in the experiment, with wheat flour added to the rearing system at rates of 25, 50, 75 and 100% of daily feed. For the tests, 15 tanks with a volume of 150 l and a salinity of 32 g/l were used for 49 days. Each tank contained 54 shrimp (approximately 1 g/l).

Results: Biofloc system showed higher activity of metabolic and antioxidant enzymes in shrimp hepatopancreas than control group. Treatments WF50 (adding wheat flour to 50% of daily feed) and WF75 (adding wheat flour to 75% of daily feed) showed the highest levels of ALP enzyme activity, 61 and 60 u/mg protein, respectively, which were significantly different from other treatments ($P < 0.05$). In WF50 and WF75 treatments, respectively, the highest SOD activity was 3.51 and 3.45 u/mg protein, and the highest CAT activity was 0.55 and 0.57 u/mg protein ($P < 0.05$). The present study showed that biofloc increases the activity of metabolic and antioxidant enzymes in Pacific white shrimp.

Conclusion: In the biofloc system, adding wheat flour to 50% to 75% of the daily feed increased enzyme activity (metabolic and antioxidant). In comparison to clear water, the biofloc system has key standards for use in the sustainable shrimp farming industry because of the improved activity of these enzymes.

Article info

* Corresponding Author's email:

m.h.khanjani@gmail.com

m.h.khanjani@ujiroft.ac.ir

Received: 28 November 2024

Reviewed: 2 January 2025

Revised: 8 March 2025

Accepted: 14 April 2025

مقاله علمی - پژوهشی

فعالیت آنزیم‌های متابولیکی و آنتی‌اکسیدانسی هپاتوپانکراس میگوی سفید غربی در سیستم آبرزی پروری با تعویض آب محدود: تحت تاثیر افزودن مقادیر مختلف آرد گندم

محمدحسین خانجانی^{۱*}، جمشید اسلامی^۲^۱ گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، کرمان، ایران^۲ مرکز تکثیر و بازسازی ذخایر آبزیان خلیج فارس، اداره کل شیلات استان هرمزگان، سازمان شیلات ایران، بندر کلاهی، میناب، ایران

کلمات کلیدی

چکیده

میگوی سفید غربی
سیستم توده‌ساز زیستی
آرد گندم
آنزیم‌های متابولیکی
آنتی‌اکسیدانسی

مقدمه: سیستم آبرزی پروری توده‌ساز زیستی بر پارمترهای ایمنی و آنتی‌اکسیدانسی میگوی پرورش یافته تاثیر می‌گذارد. در مطالعه حاضر تاثیر افزودن آرد گندم (نسبت به غذای روزانه) بر فعالیت‌های آنزیم‌های متابولیکی و آنتی‌اکسیدانسی هپاتوپانکراس میگوی سفید غربی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: میگوهای سفید غربی با میانگین وزن $2/80 \pm 0/25$ گرم در ۵ گروه آزمایشی برای این مطالعه در نظر گرفته شدند. گروه‌های آزمایش شامل، یک گروه کنترل (بدون افزودن آرد گندم) و چهار گروه توده‌ساز زیستی با افزودن آرد گندم به سیستم پرورش به میزان ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد غذای روزانه بود. ۱۵ تانک با حجم آگیری ۱۵۰ لیتر با شوری ۳۲ گرم بر لیتر به مدت ۴۹ روز برای آزمایش استفاده شد. ۵۴ قطعه میگو (تقریباً ۱ گرم در لیتر) در هر تانک ذخیره‌سازی شد.

نتایج: فعالیت آنزیم‌های متابولیکی و آنتی‌اکسیدانسی هپاتوپانکراس میگو در سیستم توده‌ساز زیستی بالاتر از گروه کنترل می‌باشد. بالاترین میزان فعالیت آنزیم ALP، ۶۱ و ۶۰ u/mg protein به ترتیب در تیمارهای WF50 (افزودن آرد گندم ۵۰٪ غذای روزانه) و WF75 (افزودن آرد گندم ۷۵ درصد غذای روزانه) به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داد ($P < 0/05$). بالاترین میزان فعالیت SOD، ۳/۵۱ و ۳/۴۵ u/mg protein و بالاترین میزان فعالیت CAT، ۰/۵۵ و ۰/۵۷ u/mg protein به ترتیب در تیمار WF50 و WF75 مشاهده شد ($P < 0/05$). به‌طور کلی مطالعه حاضر نشان داد، فعالیت آنزیم‌های متابولیکی و آنتی‌اکسیدانسی میگوی سفید غربی در سیستم با توده‌های زیستی افزایش می‌یابد.

بحث و نتیجه‌گیری: افزودن آرد گندم به میزان ۵۰ تا ۷۵ درصد غذای روزانه در سیستم توده‌ساز زیستی عملکرد بهتری در فعالیت آنزیم‌ها (متابولیکی و آنتی‌اکسیدانسی) نسبت به سایر تیمارها نشان داد. با بهبود فعالیت این آنزیم‌ها می‌توان بیان نمود که سیستم توده‌ساز زیستی دارای استانداردهای کلیدی برای استفاده در صنعت پرورش پایدار میگو نسبت به سیستم آب شفاف می‌باشد.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
m.h.khanjani@gmail.com
m.h.khanjani@ujiroft.ac.ir

تاریخ دریافت: ۸ آذر ۱۴۰۳

تاریخ داور: ۱۳ دی ۱۴۰۳

تاریخ اصلاح: ۱۸ اسفند ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۲۵ فروردین ۱۴۰۴

مقدمه

سفید غربی پرورش یافته در سیستم توده‌ساز زیستی بالاتر از گروه کنترل می‌باشد، بدین معنی که سیستم آنتی‌اکسیدانی میگو در حضور توده‌های زیستی افزایش می‌یابد (۱۰، ۱۱)، آن‌ها پیشنهاد می‌کنند که میگوهای پرورش یافته در سیستم توده‌ساز زیستی می‌توانند وضعیت آنتی‌اکسیدانی و پاسخ ایمنی میگو را با مصرف ترکیبات فعال زیستی و میکروارگانیسم‌های طبیعی موجود در توده‌های زیستی افزایش دهند. در سیستم توده‌ساز زیستی عملکرد رشد، فعالیت‌های ایمنی و آنتی‌اکسیدانی میگو با توجه به فاکتورهای مختلفی نظیر نوع منبع کربن استفاده شده، نسبت کربن به نیتروژن متفاوت می‌باشد (۱۲). در مطالعه حاضر تاثیر اضافه کردن منبع کربن آرد گندم نسبت به مقدار غذای روزانه بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و متابولیکی هپاتوپانکراس میگوی سفید غربی در سیستم آبی‌پروری توده‌ساز زیستی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر در کارگاه تکثیر آبزیان دریایی خلیج فارس در بندرکلاهی، میناب، هرمزگان به مدت ۴۹ روز انجام گردید. میگوهای سفید غربی با میانگین وزن $2/8 \pm 0/25$ گرم در ۵ گروه آزمایشی در سه تکرار برای این مطالعه در نظر گرفته شدند. گروه‌های آزمایش شامل، یک گروه کنترل (بدون افزودن آرد گندم) و چهار گروه توده‌ساز زیستی با افزودن آرد گندم به سیستم پرورش به میزان ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد غذای روزانه بود (جدول ۱). ۱۵ تانک با حجم آبیگری ۱۵۰ لیتر با شوری ۳۲ گرم بر لیتر برای آزمایش استفاده شد. ۵۴ قطعه میگو (تقریباً ۱ گرم در لیتر) در هر تانک ذخیره‌سازی شد. در گروه کنترل روزانه ۳۵ تا ۵۰ درصد آب داخل مخزن پرورش با آب تازه با شوری یکسان قبل از غذادهی تعویض می‌شد، در چهار تیمار بایوفلاک‌روزانه ۰/۵ تا ۱ درصد آب داخل مخزن پرورش تعویض می‌شد. در ابتدای دوره آزمایش، غذادهی ۶ درصد وزن بدن در نظر گرفته شد و کاهش میزان غذادهی در هر تیمار در طول دوره پرورش متناسب با افزایش رشد انجام شد. در تیمارهای توده‌ساز زیستی، قبل از ذخیره‌سازی میگو، نیم میلی لیتر فلاک به ازای هر لیتر به عنوان استوک اولیه به مخازن اضافه شد. غذادهی ۳ مرتبه در روز (۸ صبح، ۱۴ عصر، ۲۰ شب) با جیره حاوی ۳۸ درصد پروتئین، ۹ درصد چربی و ۱۴ درصد خاکستر انجام شد. آزمایش در یک سالن سرپوشیده با شرایط نور طبیعی انجام شد. آرد گندم (۹۰ درصد ماده خشک، ۷۸/۵ درصد کربوهیدرات، ۱۱/۶ درصد پروتئین، ۲/۵ درصد خاکستر و ۱/۵ درصد چربی) بود.

پرورش میگو در ۳۰ سال گذشته به سرعت توسعه یافته است و در دهه گذشته شاهد پرورش متراکم و فوق متراکم گونه‌های میگو به‌ویژه میگوی سفید غربی (*Penaeus vannamei*) هستیم که با رشد سریع، نرخ بقای بالا و مقاومت در برابر بیماری مشخص می‌شود (۱). در حال حاضر، بیش از نیمی از تولید میگو در جهان از طریق آبی‌پروری برداشت می‌شود و تقاضا برای میگو در بازار بین‌المللی در حال افزایش است. به منظور پاسخگویی به تقاضای بالا برای میگو، پرورش متراکم و فوق متراکم میگو با مشکلاتی ازجمله آلودگی محیط زیست، کیفیت پایین آب و راندمان پایین تغذیه مواجه است. هم‌چنین آبی‌پروری سنتی می‌تواند آسیب زیادی به محیط زیست ساحلی، آسیب‌های ناشی از ورود گونه‌های مهاجم و گسترش بیماری‌ها وارد کند. در سال‌های اخیر استفاده از فناوری‌های نوین از جمله فناوری توده‌ساز زیستی رایج شده است (۲). فناوری توده‌ساز زیستی یک فرآیند تصفیه آب بسته است که کیفیت آب را با حذف ترکیبات زائد نیتروژن بهبود می‌دهد که این عمل با افزودن منبع کربن خارجی با کربن بالا (نظیر ملاس، آرد گندم، نشاسته و...) به سیستم آبی‌پروری و فعال شدن جوامع میکروبی نظیر باکتری‌های هتروتروف انجام می‌دهد (۳، ۴). کاربرد فناوری توده‌ساز زیستی در پرورش میگو توجه زیادی را به خود جلب کرده است، زیرا با بهبود عملکرد رشد میگو، راه حلی عملی برای پرورش کارآمد و سالم میگو ارائه می‌دهد (۵). جامعه میکروبی در محیط توده‌ساز زیستی نه تنها به تصفیه آب کمک می‌کند بلکه به عنوان منبع غذایی نیز استفاده می‌شود، که منجر به بهبود عملکرد رشد در آبی‌پروری میگو می‌شود (۶، ۷). اکثر موجودات آبی از جمله میگو دارای یک سیستم آنتی‌اکسیدانی یکپارچه مانند آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی برای حفظ حالت‌های اکسیداسیون طبیعی و پاسخ به عوامل استرس‌زا ناشی از تغییرات مختلف محیطی و عوامل بیماری‌زا هستند (۵). توده‌های زیستی، نقش مهمی در فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارد زیرا حاوی مقدار کافی از آنتی‌اکسیدان‌ها مانند ویتامین‌های محلول در چربی و کاروتنوئیدها است و هم‌چنین فعالیت آنزیم‌های گوارشی و استفاده از خوراک را افزایش می‌دهد که جذب آنتی‌اکسیدان‌های غذایی را از خوراک افزایش می‌دهد (۲، ۸). در مطالعه Cardona و همکاران مشخص شد که پرورش میگو در سیستم توده‌ساز زیستی منجر به بهبود حالت‌های آنتی‌اکسیدانی و استرس اکسیداتیو راکاهش می‌دهد، در نتیجه مقاومت میگو را در برابر استرس تجربه شده در طی تولید مثل و رشد میگو افزایش می‌دهد (۹). بسیاری از محققان گزارش کردند که فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی پلاسما و هپاتوپانکراس میگوی

جدول ۱: تیمارهای استفاده شده در طی دوره آزمایش

تیمارها	درصد آرد گندم اضافه شده نسبت به غذای روزانه	تعویض آب	شماره تیمار
تعویض آب	بدون افزودن آرد گندم	۵۰-۳۵٪ روزانه	CW
توده ساز زیستی ۱	۲۵٪ غذای روزانه	۱-۰/۵٪ روزانه	WF25
توده ساز زیستی ۲	۵۰٪ غذای روزانه	۱-۰/۵٪ روزانه	WF50
توده ساز زیستی ۳	۷۵٪ غذای روزانه	۱-۰/۵٪ روزانه	WF75
توده ساز زیستی ۴	۱۰۰٪ غذای روزانه	۱-۰/۵٪ روزانه	WF100

آنالیز بیوشیمیایی هپاتوپانکراس میگو: در پایان آزمایش

میگوها قبل از نمونه‌برداری به مدت ۲۴ ساعت قطع غذا شدند. تعداد ۱۵ قطعه میگو از هر تکرار به طور تصادفی برداشت شد و با استفاده از گل میخک با دوز ۱۰۰ پی‌پی‌ام بی‌هوش شدند و با رعایت نکات اخلاقی در مورد حیوانات کشته شدند (۱۳). عمل جداسازی هپاتوپانکراس بر روی یخ صورت گرفت. هپاتوپانکراس جدا شده با محلول نمکی (۰/۸٪) سرد شست شو داده شد و در نهایت در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد برای فعالیت‌های بعدی ذخیره شد. برای آماده‌سازی عصاره آنزیم‌ها بافت هپاتوپانکراس از حالت فریز خارج و با بافر اسید کلریدریک - تریس در pH برابر ۷/۴ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد هموژن گردید. محلول هموژن شده در ۴۰۰۰ دور برای ۱۰ دقیقه در ۴ درجه سانتی‌گراد سانترفیوژ گردید، سپس مایع رویی برای تعیین شاخص‌های بیوشیمیایی جمع‌آوری شد (۱۴). غلظت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپراکسیداز دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و گلوتامین پرواکسیداز (GPx) بر اساس کیت‌های تجاری (ZellBio GmbH, Germany) بر طبق شرایط کارخانه سازنده اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم‌های متابولیکی آلکالین فسفاتاز (ALP)، آسپارات آمینوترانسفراز (AST) و آلانین آمینوترانسفراز (ALT) بر اساس کیت‌های تجاری پارس آزمون بر طبق شرایط کارخانه سازنده اندازه‌گیری شد.

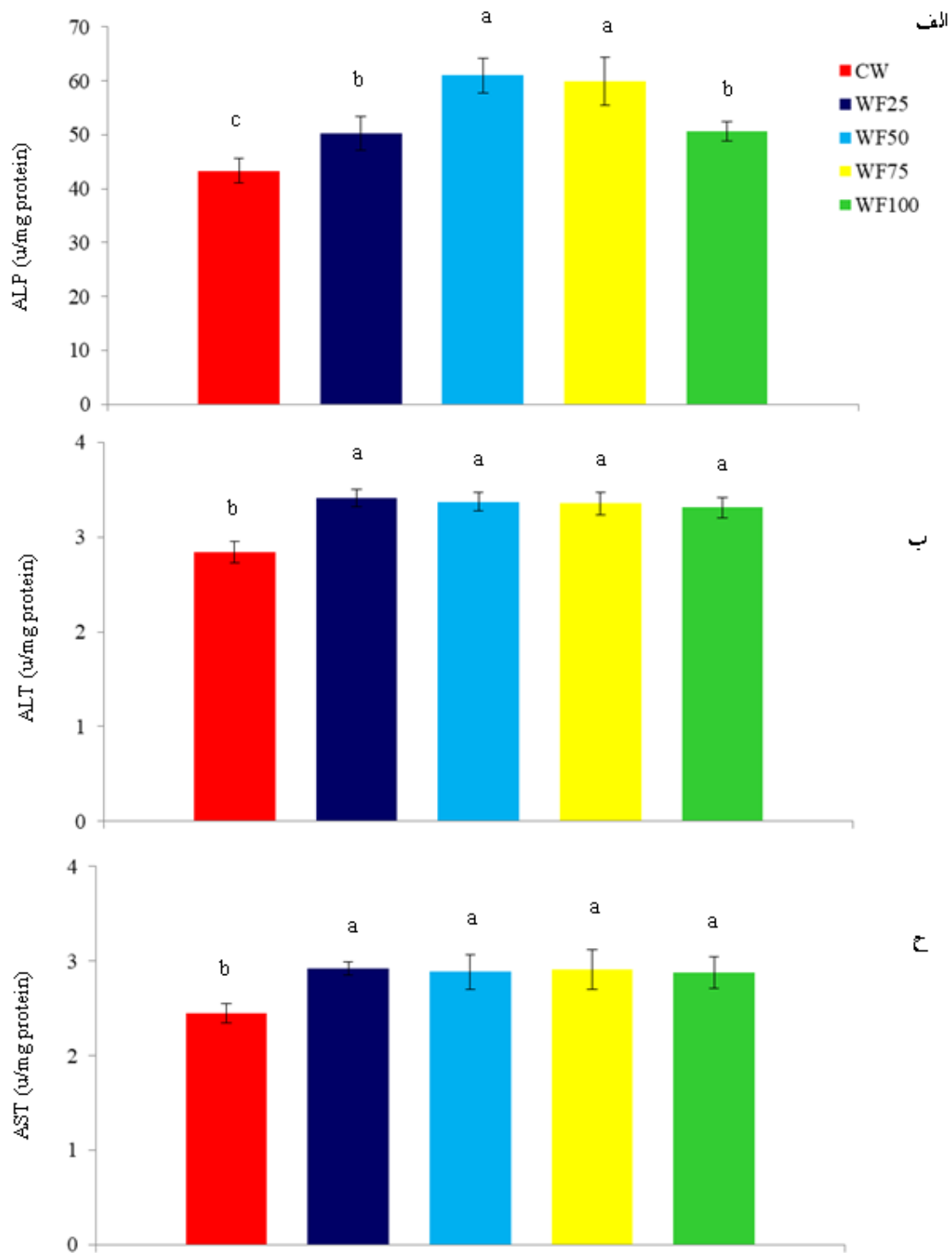
آنالیز آماری: تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از

نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام شد. تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها از طریق آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) انجام شد. میانگین تفاوت‌ها با آزمون‌های چنددامنه‌ای دانکن مقایسه شد. میانگین مقادیر برای همه آزمون‌های آماری در $P < 0.05$ تفاوت معنی‌داری در نظر گرفته شد. تمام نمودارها با استفاده از اکسل نسخه ۲۰۱۳ رسم شدند.

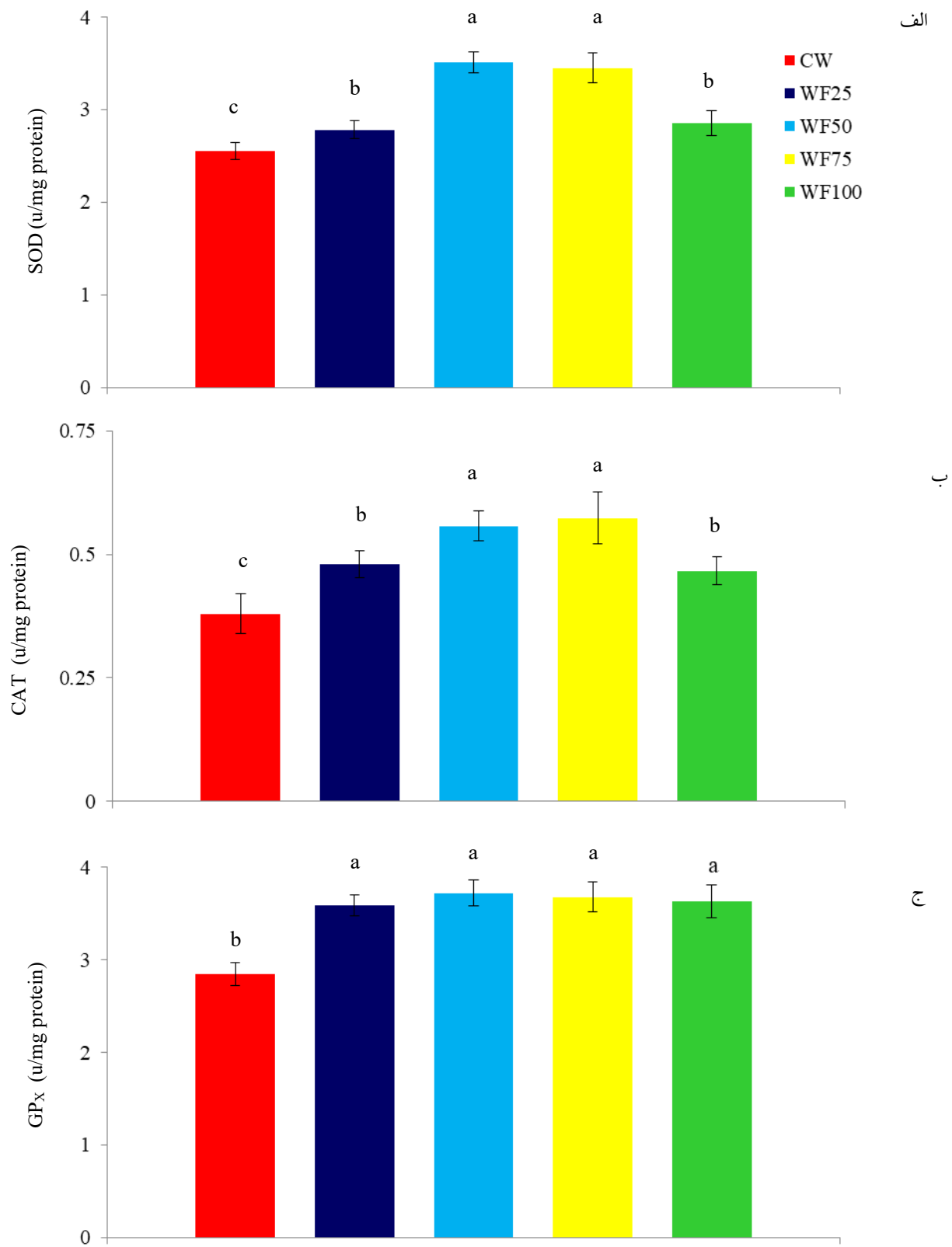
نتایج

نتایج حاصل از فعالیت آنزیم‌های متابولیکی هپاتوپانکراس میگوی سفید غربی تحت تاثیر تیمارهای مختلف در شکل ۱ ارائه شده است.

طبق نتایج بالاترین میزان فعالیت ALP ۶۱ و ۶۰ (u/mg protein) به ترتیب در تیمار WF50 و WF75 مشاهده شد، هم‌چنین کم‌ترین میزان فعالیت ALP (u/mg protein) ۴۳/۳ در گروه کنترل به دست آمد، که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داد ($P < 0.05$) (شکل ۱، الف). کم‌ترین میزان فعالیت ALT (u/mg protein) ۲/۸۴ (شکل ۱، ب)، در گروه کنترل مشاهده شد (شکل ۱، ب)، در بین تیمارهای توده‌ساز زیستی اختلاف معنی‌داری در مقادیر ALT به دست نیامد. مقادیر AST در بین تیمارهای توده‌ساز زیستی (u/mg protein) ۲/۹۲ - ۲/۸۷ به دست آمد که اختلاف معنی‌داری در بین آن‌ها مشاهده نشد و کم‌ترین مقدار آن در گروه کنترل (۲/۴۴) بود ($P < 0.05$) (شکل ۱، ج). به طور کلی نتایج فعالیت‌های متابولیکی هپاتوپانکراس میگوی سفید غربی نشان داد که در سیستم توده‌ساز زیستی مقادیر آنزیم‌های هپاتوپانکراس (ALP، ALT و AST) نسبت به گروه کنترل افزایش می‌یابد. نتایج به دست آمده از فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی هپاتوپانکراس میگوی سفید غربی تحت تاثیر تیمارهای مختلف در شکل ۲ ارائه شده است. طبق نتایج بالاترین میزان فعالیت SOD در تیمارهای WF50 و WF75 به ترتیب ۳/۵۱ و ۳/۴۵ u/mg protein به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داد ($P < 0.05$) (شکل ۲، الف). بالاترین میزان فعالیت CAT در تیمارهای WF50 و WF75 به ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۵۷ u/mg protein و کم‌ترین آن در گروه کنترل (۰/۳۸) مشاهده شد (شکل ۲، ب). تفاوت معنی‌داری در میزان فعالیت GPx در بین تیمارهای توده‌ساز زیستی مشاهده نگردید و کم‌ترین مقدار آن در گروه کنترل (۲/۸۴ u/mg protein) به دست آمد (شکل ۲، ج). به طور کلی نتایج فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی هپاتوپانکراس میگوی سفید غربی نشان داد که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت تاثیر حضور توده‌های زیستی قرار می‌گیرد و مقادیر آن در سیستم توده‌ساز زیستی بیش‌تر از گروه کنترل می‌باشد و اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد.



شکل ۱: فعالیت آنزیم‌های متابولیکی هیپاتوپانکراس میگوی سفید غربی تحت تاثیر تیمارهای مختلف



شکل ۲: فعالیت آنزیم‌های متابولیکی هیپاتوپانکراس میگوی سفید غربی تحت تاثیر تیمارهای مختلف

بحث

آنزیم های متابولیکی: آنزیم های متابولیکی (ALT, ALP, AST) معمولاً به عنوان شاخص عملکرد یا آسیب به هپاتوپانکراس میگو شناخته می شوند (۱۵). آلانین آمینوترانسفراز (ALT) یک آنزیم اصلی برای تبدیل اسیدهای آمینه و سایر متابولیت های واسطه در میگو است، آکالین فسفاتاز (ALP) یک آنزیم سم زدایی اصلی در اکثر موجودات آبی از جمله میگو است و این آنزیم نقش مهمی در جذب و متابولیسم کلسیم، ترشح و تشکیل کیتین و هم چنین نشانگر فعالیت آنزیم لیزوزومی ایفا می کند (۱۶). ALP هم چنین یک عامل مهم برای ارزیابی آسیب بافت در موجودات آبی در معرض تنش های محیطی مختلف است و به عنوان شاخصی برای انعکاس وضعیت سلامت و ایمنی حیوانات آبی استفاده می شود (۱۷). در مطالعه حاضر مقادیر آنزیم های متابولیکی در همه تیمارهای توده ساز زیستی بالاتر از گروه کنترل مشاهده شد. بیش تر فعالیت ALP در تیمار توده ساز زیستی با افزودن آرد گندم به میزان ۵۰ و ۷۵ درصد غذای روزانه بود، که نشان می دهد میگوی های پرورش یافته در سیستم توده ساز زیستی تحت تاثیر تنش محیطی قرار می گیرند. در مطالعه Hussain و همکاران کاهش قابل توجهی در آنزیم ALT در همولنف میگوی سفید غربی پرورش یافته در سیستم توده ساز زیستی گزارش کردند و آن ها استدلال کردند که کاهش ALT نشان دهنده عملکرد بهتر هپاتوپانکراس در میگوهای پرورش یافته در سیستم توده ساز زیستی می باشد (۱۸). آنزیم ALP در همولنف میگوی سفید غربی پرورش یافته در سیستم توده ساز زیستی به طور معنی داری کاهش یافت (۱۸)، در حالی که در میگوی بزرگ آب شیرین (*M. rosenbergii*) افزایش قابل توجهی نشان داد (۱۹). تفاوت در عملکرد آنزیم های کبدی بسته به گونه میگو و ترکیب توده ساز زیستی متفاوت می باشد (۲۰). تنظیم ایمنی و مکانیسم های دفاعی ماهی توسط فعالیت ALP تنظیم می شود که به طور گسترده به عنوان شاخص آسیب بافتی ناشی از استرس و پاسخ های فیزیولوژیکی استفاده می شود. در مطالعه Adineh و همکاران، گزارش شد که پرورشی پرورش یافته در سیستم توده ساز زیستی به طور معنی داری مقادیر AST و ALT پلاسما کاهش می یابد و مقدار ALP پلاسما به طور معنی داری افزایش می یابد که احتمالاً نشان می دهد توده ساز زیستی فعالیت ایمنی را تحریک می کند (۲۰). در ماهی *O. kaopingensis* پرورش یافته در سیستم توده ساز زیستی به طور معنی داری مقادیر AST و ALT پلاسما کاهش یافت (۲۱).

آنزیم های آنتی اکسیدانی: وضعیت آنتی اکسیدانی یک شاخص مهم استرس اکسیداتیو در میگو است و به طور مفید به عنوان وسیله ای

برای ارزیابی اثرات رژیم غذایی بر تغییرات در وضعیت آنتی اکسیدانی میگو استفاده می شود (۲۲). در مطالعه حاضر آنزیم های آنتی اکسیدانی در تیمارهای توده ساز زیستی بالاتر از گروه شاهد مشاهده شد (شکل ۲). محققین مختلفی گزارش کرده اند که وضعیت آنتی اکسیدانی میگوی سفید غربی پرورش یافته در سیستم توده ساز زیستی بالاتر از گروه کنترل می باشد (۸، ۱۰، ۱۱ و ۲۳). بدین معنی که سیستم آنتی اکسیدانی میگو در سیستم توده ساز زیستی بهبود می یابد. آن ها پیشنهاد می کنند که میگوهای پرورش یافته در سیستم توده ساز زیستی می توانند وضعیت آنتی اکسیدانی و پاسخ ایمنی میگو را با مصرف ترکیبات فعال زیستی و میکروارگانیسم های طبیعی توده ساز زیستی افزایش دهند. سوپر اکسیداز دیسموتاز (SOD) یک آنزیم آنتی اکسیدانی است که در درجه اول در مکانیسم دفاعی آنتی اکسیدانی که آنیون سوپر اکسید را به پراکسید هیدروژن تبدیل می کند عمل می کند و هم چنین با مکانیسم های محافظتی در آسیب های بافتی پس از فرآیند اکسیداتیو و فاگوسیتوز همراه است (۲۴). در مطالعه حاضر فعالیت آنزیم SOD در همولنف میگوی سفید غربی در تیمار WF50 و WF75 بالاترین مقدار بود (شکل ۲، الف)، که نشان می دهد افزودن آرد گندم به سیستم توده ساز زیستی به مقدار ۵۰ تا ۷۵ درصد غذای روزانه نتیجه بهتری می دهد. در مطالعه Xu و Pan فعالیت آنزیم SOD در میگوی سفید غربی در سیستم توده ساز زیستی افزایش یافت، به این معنی که سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی و سیستم ایمنی بدن همراه با افزایش فعالیت فاگوسیتی سلول های خونی میگو در محیط زیست فلوک بهبود یافته است (۸). بسیاری از محققان گزارش دادند که فعالیت SOD در میگوی سفید غربی پرورش یافته با توده ساز زیستی به طور قابل توجهی افزایش یافته است و آن ها پیشنهاد می کنند که میکروارگانیسم های طبیعی و مواد فعال زیستی توده ساز زیستی برای سلامت فیزیولوژیکی میگو در محیط زیست فلوک مثبت بوده و در نتیجه باعث تسریع در مهار رادیکال های آزاد می شود (۱۰، ۱۱، ۲۵، ۲۶ و ۲۷). کاتالاز (CAT) یک مکانیسم دفاعی آنتی اکسیدانی است که از میگوها در برابر رادیکال های آزاد محافظت می کند (۲۸). در مطالعه حاضر فعالیت آنزیم CAT در همولنف میگوی سفید غربی در تیمار WF50 و WF75 بالاترین مقدار بود (شکل ۲، ب). در مطالعه Dorothy و همکاران، فعالیت آنزیم CAT به طور قابل توجهی در میگوی سفید غربی پرورش یافته در سیستم توده ساز زیستی با تراکم های مختلف افزایش یافت و آن ها بیان کردند که افزایش فعالیت CAT آنتی اکسیدان بالاتری برای مهار رادیکال های آزاد با تولید ROS (reactive oxygen species) بالاتر با تراکم بالاتر است. آنزیم GPx همراه با CAT یک آنزیم آنتی اکسیدانی اصلی است که پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن تبدیل می کند و گلووتاتیون اکسید شده

4. Xu, W.J. and Pan, L.Q., 2014. Evaluation of dietary protein level on selected parameters of immune and antioxidant systems, and growth performance of juvenile *Litopenaeus vannamei* reared in zero-water exchange biofloc-based culture tanks. *Aquaculture*. 426: 181-188. doi: 10.1016/j.aquaculture.2014.02.003
5. Khanjani M.H., Sharifinia M. and Emerenciano M.G.C., 2024. Biofloc technology (BFT) in aquaculture: what goes right, what goes wrong? a scientific-based snapshot. *Aquaculture Nutrition*. Article ID: 7496572, 24 p. doi: 10.1155/2024/7496572. eCollection 2024
6. Kim, S.K., Pang, Z., Seo, H.C., Cho, Y.R., Samocha, T. and Jang, I.K., 2014. Effect of bioflocs on growth and immune activity of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* postlarvae. *Aquaculture Research*. 45(2): 362-371. doi: 10.1111/are.12319
7. Xu, W.J. and Pan, L.Q., 2013. Enhancement of immune response and antioxidant status of *Litopenaeus vannamei* juvenile in biofloc-based culture tanks manipulating high C/N ratio of feed input. *Aquaculture*. 412: 117-124. doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.07.017
8. Cardona, E., Lorgeoux, B., Chim, L., Goguenheim, J., Delliou, H.L.E. and Cahu, C., 2016. Biofloc contribution to antioxidant defence status, lipid nutrition and reproductive performance of broodstock of the shrimp *Litopenaeus stylirostris*: Consequences for the quality of eggs and larvae. *Aquaculture*. 452(2): 252-262. doi: 10.1016/j.aquaculture.2015.08.003
9. Zhao, D., Pan, L., Huang, F., Wang, C. and Xu, W., 2016. Effects of different carbon sources on bioactive compound production of biofloc, immune response, antioxidant level, and growth performance of *Litopenaeus vannamei* in zero-water exchange culture tanks. *J. World Aquacult. Soc.* 47(4): 566-576. doi: 10.1111/jwas.12292
10. Liu, G., Ye, Z., Liu, D. and Zhu, S., 2018. Inorganic nitrogen control, growth, and immunophysiological response of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in a biofloc system and in clear water with or without commercial probiotic. *Aquaculture International*. 26(4): 981-999. doi: 10.1007/s10499-018-0263-1
11. Kumar, S., Anand, P.S.S., De, D., Deo, A.D., Ghoshal, T.K., Sundaray, J.K., Ponniah, A.G., Jithendran, K.P., Raja, R.A., Biswas, G. and Lalitha, N., 2017. Effects of biofloc under different carbon sources and protein levels on water quality, growth performance and immune responses in black tiger shrimp *Penaeus monodon* (Fabricius, 1978). *Aquaculture Research*. 48(3): 1168-1182. doi: 10.1111/are.12958
12. Luedemana, R.A. and Lightner, D.V., 1992. Development of an in vitro primary cell culture system from the penaeid shrimp, *Penaeus stylirostris* and *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*. 101: 205-211. doi: 10.1016/0044-8486(92)90024-F
13. Yang, S.P., Wu, Z.H., Jian, J.C. and Zhang, X.Z., 2010. Effect of marine red yeast *Rhodospiridium paludigenum* on growth and antioxidant competence of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 309(1-4): 62-65. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.09.032
14. Shyne Anand, P.S., Kumar, S., Kohli, M.P.S., Sundaray, J.K., Sinha, A., Pailan, G.H. and Roy, S.D., 2017. Dietary biofloc supplementation in black tiger shrimp, *Penaeus monodon*: Effects on immunity, antioxidant and metabolic enzyme activities. *Aquaculture Research*. 48(8): 4512-4523. doi: 10.1111/are.13276
15. Qiu, M., Wang, Y., Wang, X., Sun, L., Ye, R., Xu, D., Dai, Z., Liu, Y., Bi, S., Yao, Y. and Gooneratne, R.,

را برای تسهیل واکنش آنتی اکسیدانی کاهش می‌دهد (۲۹). در مطالعه حاضر دامنه فعالیت آنزیم GPx (۳/۳-۵۷/۷۲ u/mg protein) به دست آمد (شکل ۲، ج) و در تیمارهای توده ساز زیستی بالاتر از گروه کنترل مشاهده شد. در مطالعه Dorothy و همکاران، به طور قابل توجهی مقدار GPx در همولنف میگوی سفید غربی پرورش یافته در سیستم توده ساز زیستی در مقایسه با گروه کنترل افزایش یافت و بیان شد که این به دلیل افزایش فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانی برای حذف رادیکال‌های آزاد است (۲۵). به طور کلی مطالعه حاضر نشان داد، پرورش میگوی سفید غربی در سیستم توده ساز زیستی منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های متابولیکی و آنتی اکسیدانی می‌شود. افزودن آرد گندم به میزان ۵۰ تا ۷۵ درصد غذای روزانه در سیستم توده ساز زیستی عملکرد بهتری در فعالیت آنزیم‌های متابولیکی و آنتی اکسیدانی نسبت به سایر تیمارها نشان می‌دهد. با بهبود فعالیت این آنزیم‌ها می‌توان بیان نمود که سیستم توده ساز زیستی دارای استانداردهای کلیدی برای استفاده در صنعت پرورش پایدار میگو نسبت به سیستم آب شفاف می‌باشد.

تشکر و قدردانی

از همکاران و پرسنل محترم کارگاه تکثیر و بازسازی ذخائر آبزیان خلیج فارس در بندر کلاهی، میناب، هرمزگان تشکر و قدردانی داریم. این پروژه به شماره ۳۸۹۲۹-۰۳-۰۶-۴۸۱۳ و با بهره‌مندی از اعتبارات پژوهشی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری (دانشگاه جیرفت) انجام شده است.

منابع

1. Villarreal, H. and Loarenzo, J., 2022. Super-intensive shrimp culture: Analysis and future challenges. *Journal of the world aquaculture society*. 53(5): 928-932. doi: 10.1111/jwas.12929
2. Yu, Y., Choi, J.H., Lee, J., Jo, A., Lee, J., Choi, H.J., Kang, Y.J., Choi, C.Y., Kang, J.C., Lee, K.M. and Kim, J.J., 2024. The use, application and efficacy of biofloc technology (BFT) in shrimp aquaculture industry: A review. *Environmental Technology & Innovation*. 33: 103345. doi: 10.1016/j.eti.2023.103345
3. Khanjani, M.H., Sajjadi, M., Alizadeh, M. and Sourinejad, I., 2020. Economic and production evaluation of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei* Boone, 1931) in conventional and biofloc aquaculture systems. *Journal of Animal Environment*. 12(2): 347-354. (In Persian)
- Khanjani, M.H., 2021. Effects of different protein levels on Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei* Boone, 1931) farming in a system with limited water exchange. *Journal of Animal Environment*. 13(3): 329-336. doi: 10.22034/AEJ.2020.253864.238 (In Persian)

26. **Tepaamorndech, S., Nookaew, I., Higdon, S.M., Santiyanont, P., Phromson, M., Chantarasakha, K., Mhuantong, W., Plengvidhya, V. and Visessanguan, W., 2020.** Metagenomics in bioflocs and their effects on gut microbiome and immune responses in Pacific white shrimp. *Fish Shellfish Immunol.* 106: 733-741. doi: 10.1016/j.fsi.2020.08.042
27. **Panigrahi, A., Sundaram, M., Saranya, C., Swain, S., Dash, R.R. and Dayal, J.S., 2019.** Carbohydrate sources differentially influence growth performances, microbial dynamics and immunomodulation in pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under biofloc system. *Fish Shellfish Immunol.* 86: 1207-1216. doi: 10.1016/j.fsi.2018.12.040
28. **Duan, Y., Zhang, Y., Dong, H., Wang, Y. and Zhang, J., 2017.** Effect of the dietary probiotic *Clostridium butyricum* on growth, intestine antioxidant capacity and resistance to high temperature stress in kuruma shrimp *Marsupenaeus japonicus*. *J. Therm. Biol.* 66: 93-100. doi: 10.1016/j.jtherbio.2017.04.004
2016. Effects of T-2 toxin on growth, immune function and hepatopancreas microstructure of shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture.* 462: 35-39. doi: 10.1016/j.aquaculture.2016.04.032
16. **Gyan, W.R., Yang, Q., Tan, B., Jan, S.S., Jiang, L., Chi, S., Dong, X., Liu, H. and Shuang, Z., 2020.** Effects of antimicrobial peptides on growth, feed utilization, serum biochemical indices and disease resistance of juvenile shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research.* 51(1): 1222-1231. doi: 10.1111/are.14473
17. **Hussain, A.S., Mohammad, D.A., Sallam, W.S., Shoukry, N.M. and Davis, D.A., 2021.** Effects of culturing the Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* in biofloc vs synbiotic systems on the growth and immune system. *Aquaculture.* 542(25): 736905. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.736905
18. **Miao, S., Zhu, J., Zhao, C., Sun, L., Zhang, X. and Chen, G., 2017.** Effects of C/N ratio control combined with probiotics on the immune response, disease resistance, intestinal microbiota and morphology of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Aquaculture.* 476: 125-133. doi: 10.1016/j.aquaculture.2017.04.027
19. **Adineh, H., Naderi, M., Hamidi, M.K. and 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 Shellfish Immunol.* 95: 440-448. doi: 10.1016/j.fsi.2019.10.057
20. **Yu, Z., Li, L., Zhu, R., Li, M. and Wu, L.F., 2020.** Effects of bioflocs with different C/N ratios on growth, immunological parameters, antioxidants and culture water quality in *Opsariichthys kaopingensis* Dybowski. *Aquaculture Research.* 51(2): 805-815. doi: 10.1111/are.14430
21. **Castex, M., Leclercq, E., Lemaire, P. and Chim, L., 2021.** Dietary probiotic *Pediococcus acidilactici* MA18/5M improves the growth, feed performance and antioxidant status of penaeid shrimp *Litopenaeus stylirostris*: A growth-ration-size approach. *Animals.* 11(12): 3451. doi: 10.3390/ani11123451
22. **Xu, W.J. and Pan, L.Q., 2012.** Effects of bioflocs on growth performance, digestive enzyme activity and body composition of juvenile *Litopenaeus vannamei* in zero water exchange tanks manipulating C/N ratio in feed. *Aquaculture.* 356: 147-152. doi: 10.1016/j.aquaculture.2012.05.022
23. **Wang, Y.J., Chien, Y.H. and Pan, C.H., 2006.** Effects of dietary supplementation of carotenoids on survival, growth, pigmentation, and antioxidant capacity of characins, *Hyphessobrycon callistus*. *Aquaculture.* 261(2): 641-648. doi: 10.1016/j.aquaculture.2006.08.040
24. **Dorothy, M.S., Vungarala, H., Sudhagar, A., Reddy, A.K. and Rani Asanaru Majeedkutti, B., 2021.** Growth, body composition and antioxidant status of *Litopenaeus vannamei* juveniles reared at different stocking densities in the biofloc system using inland saline groundwater. *Aquaculture Research.* 52(2): 6299-6307. doi: 10.1111/are.15493
25. **Panigrahi, A., Sivakumar, M.R., Sundaram, M., Saravanan, A., Das, R.R., Katneni, V.K., Ambasankar, K., Syama Dayal, J. and Gopikrishna, G., 2020.** Comparative study on phenoloxidase activity of biofloc-reared pacific white shrimp *Penaeus vannamei* and Indian white shrimp *Penaeus indicus* on graded protein diet. *Aquaculture.* 518(2): 734654. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.734654