2026, 2(1): 71-78

JAER

Journal of Animal Environmental Reaserch

Journal homepage: http://www.journalaer.com

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 Eslami*** [2]

[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

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-13]

مقاله علمی - پژوهشی

فعالیت آنزیم‌های متابولیکی و آنتی‌اکسیدانتی هپاتوپانکراس میگوی سفید غربی در سیستم آبزی‌پروری 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

میگوی سفید غربی
سیستم توده‌ساز زیستی
آرد گندم
آنزیم‌های متابولیکی
آنتی‌اکسیدانی

چکیده

مقدمه: سیستم آبزی‌پروری توده‌ساز زیستی بر پارمترهای ایمنی و آنتی‌اکسیدانتی میگوی پرورش یافته تاثیر می‌گذارد. در مطالعه حاضر تاثیر افزوردن آرد گندم (نسبت به غذای روزانه) بر فعالیت‌های آنزیم های متابولیکی و آنتی‌اکسیدانی هپاتوپانکراس میگوی سفید غربی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: میگوهای سفید غربی با میانگین وزن ۲/۸۰±۰/۲۵ گرم در ۵ گروه آزمایشی برای این مطالعه درنظر گرفته شدند. گروه‌های آزمایش شامل، یک گروه کنترل (بدون افزودن آرد گندم) و چهار گروه توده‌ساز زیستی با افزودن آرد گندم به سیستم پرورش به‌میزان ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد غذای روزانه بود. ۱۵ تانک با حجم آبگیری 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 آنتی‌اکسیدانی هپاتوپانکراس میگو در سیستم توده‌ساز زیستی بالاتر از گروه کنترل می‌باشد. بالاترین میزان فعالیت آنزیم ALP، ۶۱ و ۶۰ u/mg protein به‌ترتیب در تیمارهای WF50 (افزودن آرد گندم ۵۰٪ غذای روزانه) و WF75 (افزودن آرد گندم ۷۵ درصد غذای روزانه) به‌دست 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 به‌ترتیب در تیمار WF50 و WF75 مشاهده شد ($P<0/05$). به‌طور کلی مطالعه حاضر نشان داد، فعالیت آنزیم‌های متابولیکی و آنتی‌اکسیدانی میگوی سفید غربی در سیستم با توده‌های زیستی افزایش می‌یابد.

بحث و نتیجه‌گیری: افزودن آرد گندم به‌میزان ۵۰ تا ۷۵ درصد غذای روزانه در سیستم توده‌ساز زیستی عملکرد بهتری در فعالیت آنزیم‌ها (متابولیکی و آنتی‌اکسیدانی) 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 داوری: ۱۳ دی ۱۴۰۳
تاریخ اصلاح: ۱۸ اسفند ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۲۵ فروردین ۱۴۰۴

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-13]

مقدمه

پرورش میگو در ۳۰ سال گذشته به سرعت توسعه یافته است و در دهه گذشته شاهد پرورش متراکم و فوق‌متراکم 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 آبزی پروری برداشت می شود و تقاضا برای میگو در بازار بین المللی 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 آبزی پروری سنتی می تواند 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 توده ساز زیستی رایج شده است (۲). فناوری توده ساز 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 آبزی پروری و فعال شدن جوامع میکروبی نظیر باکتری های 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 توده ساز زیستی نه تنها به تصفیه آب کمک می کند بلکه به‌عنوان منبع غذایی نیز استفاده می شود، که منجر به بهبود عملکرد رشد در آبزی‌پروری میگو می‌شود (۶، ۷). اکثر موجودات آبزی از جمله میگو دارای یک سیستم آنتی‌اکسیدانی یکپارچه مانند آنتی اکسیدان های 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 آنتی اکسیدان ها مانند ویتامین های 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 می دهد (۲، ۸). در مطالعه Cardona و همکاران مشخص شد که پرورش میگو در سیستم توده‌ساز زیستی منجر به بهبود حالت‌های آنتی‌اکسیدانی و استرس اکسیداتیو را کاهش می‌دهد، در نتیجه مقاومت میگو را در برابر استرس تجربه شده در طی تولید مثل و رشد میگو افزایش می دهد (۹). بسیاری از محققان گزارش کردند که فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی پلاسما و هپاتوپانکراس میگوی سفید غربی پرورش یافته در سیستم توده‌ساز زیستی بالاتر از گروه کنترل می‌باشد، بدین‌معنی که سیستم آنتی‌اکسیدانی میگو در حضور توده‌های زیستی افزایش می‌یابد (۱۰، ۱۱)، آن‌ها پیشنهاد می کنند که میگوهای پرورش یافته در سیستم توده‌ساز زیستی می توانند وضعیت آنتی‌اکسیدانی و پاسخ ایمنی میگو را با مصرف ترکیبات فعال زیستی و میکروارگانیسم های طبیعی موجود در توده های زیستی افزایش دهند. در سیستم توده‌ساز زیستی عملکرد رشد، فعالیت‌های ایمنی و آنتی‌اکسیدانتی 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 آنتی‌اکسیدانتی و متابولیکی هپاتوپانکراس میگوی سفید غربی در سیستم آبزی پروری توده‌ساز زیستی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر در کارگاه تکثیر آبزیان دریایی خلیج فارس در بندرکلاهی، میناب، هرمزگان به‌مدت ۴۹ روز انجام گردید. میگوهای سفید غربی با میانگین وزن ۰/۲۵±۲/۸۰ 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 توده ساز زیستی با افزودن آرد گندم به سیستم پرورش به‌میزان ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد غذای روزانه بود (جدول ۱). ۱۵ تانک با حجم آبگیری 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 بایوفلاک روزانه 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 توده ساز زیستی، قبل از ذخیره سازی میگو، نیم میلی لیتر فلاک به‌ازای 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.

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-13]

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

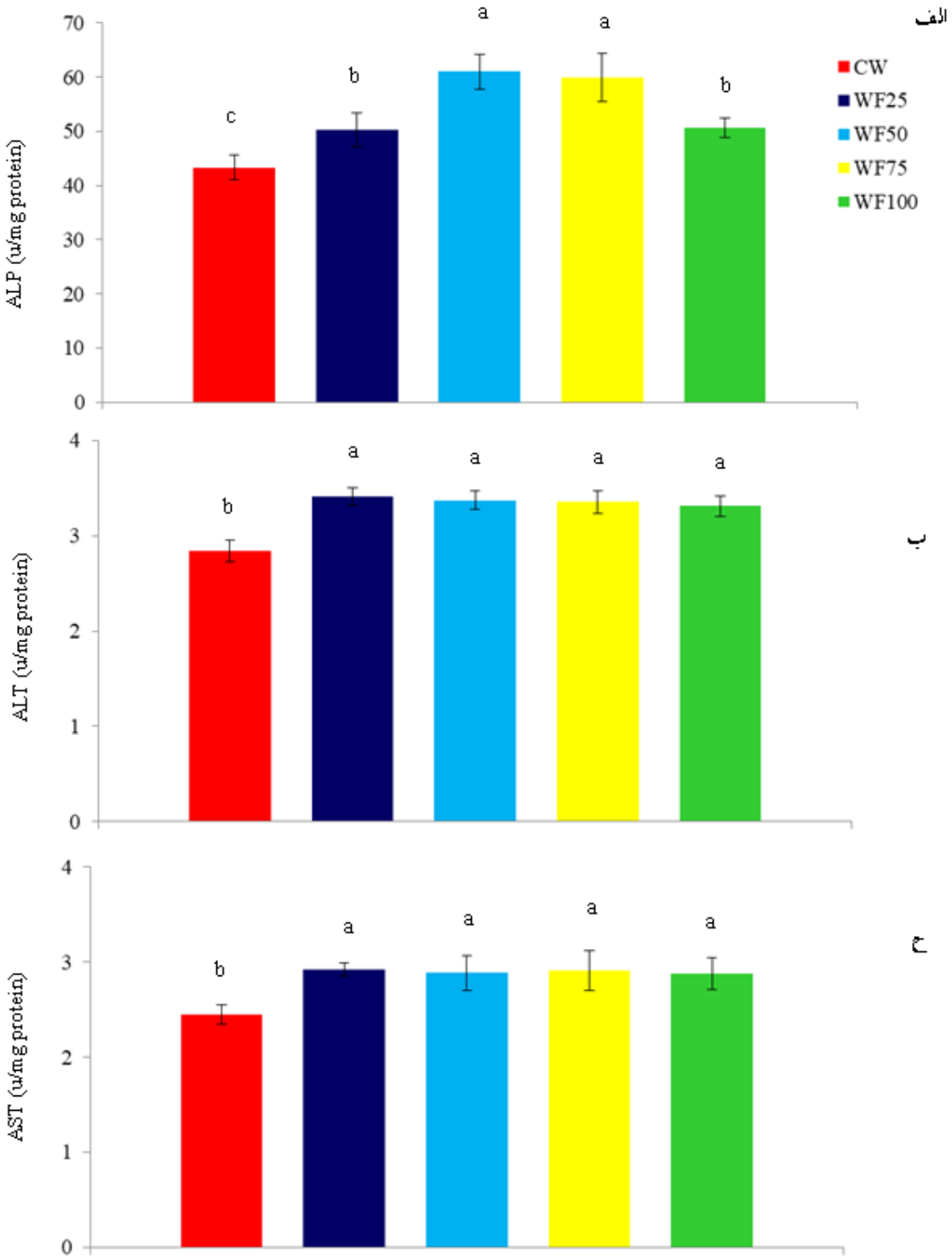
آنالیز بیوشیمیایی هپاتوپانکراس میگو: در پایان آزمایش میگوها قبل از نمونه‌برداری به‌مدت ۲۴ ساعت قطع غذا شدند. تعداد ۱۵ قطعه میگو از هر تکرار به‌طور تصادفی برداشت شد و با استفاده از گل میخک با دوز ۱۰۰ پی‌پی‌ام بی‌هوش شدند و با رعایت نکات اخلاقی در مورد حیوانات کشته شدند (۱۳). عمل جداسازی هپاتوپانکراس بر 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 آنزیم ها 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 کیت های تجاری (ZellBio GmbH, Germany) بر طبق شرایط کارخانه سازنده اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم‌های متابولیکی آلکالین فسفاتاز (ALP)، آسپارتات آمینوترانسفراز (AST) و آلانین آمینوترانسفراز (ALT) بر اساس کیت های تجاری پارس آزمون بر طبق شرایط کارخانه سازنده اندازه‌گیری شد.

آنالیز آماری: تمامی تجزیه و تحلیل های 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 چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شد. میانگین مقادیر برای همه آزمون‌های آماری در P<۰/۰۵ تفاوت معنی‌داری در نظر گرفته شد. تمام نمودارها با استفاده از اکسل نسخه ۲۰۱۳ رسم شدند.

نتایج

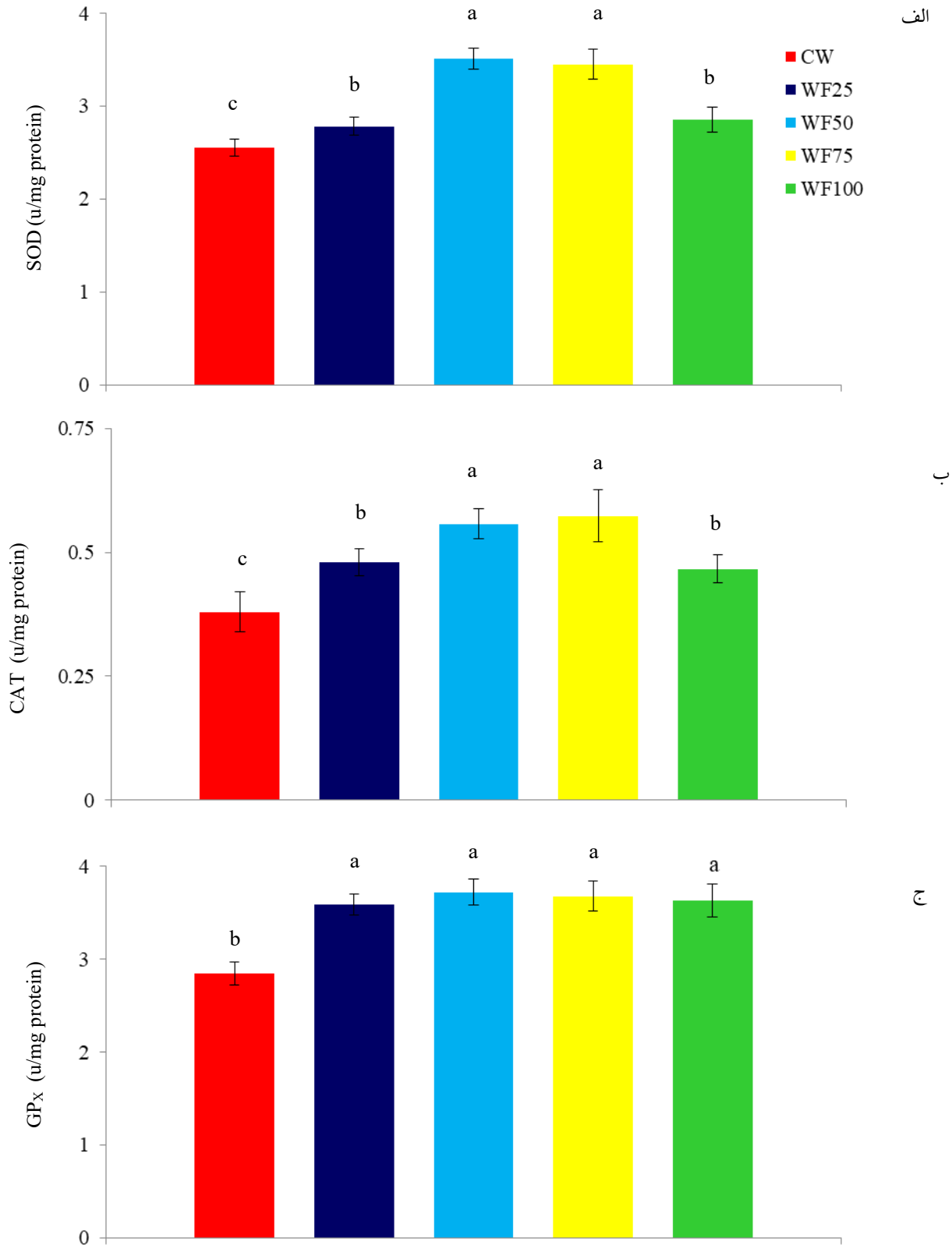
نتایج حاصل از فعالیت آنزیم‌های متابولیکی هپاتوپانکراس میگوی سفید غربی تحت تاثیر تیمارهای مختلف در شکل ۱ ارائه شده است. طبق نتایج بالاترین میزان فعالیت ALP ۶۱ و ۶۰ (u/mg protein) به‌ترتیب در تیمار WF50 و WF75 مشاهده شد، هم‌چنین کم‌ترین میزان فعالیت ALP (۴۳/۳ u/mg protein) در گروه کنترل به‌دست آمد، که اختلاف معنی داری با سایر تیمارها نشان داد (P<۰/۰۵) (شکل ۱، الف). کم‌ترین میزان فعالیت ALT (۲/۸۴ u/mg protein) در گروه کنترل مشاهده شد (شکل ۱، ب)، در بین تیمارهای توده‌ساز زیستی اختلاف معنی داری در مقادیر ALT به دست نیامد. مقادیر AST در بین تیمارهای توده‌ساز زیستی (۲/۹۲- ۲/۸۷ u/mg protein) به دست آمد که اختلاف معنی داری در بین آن ها مشاهده نشد و کم‌ترین مقدار آن در گروه کنترل (۲/۴۴) بود (P<۰/۰۵) (شکل ۱، ج). به‌طور کلی نتایج فعالیت‌های متابولیکی هپاتوپانکراس میگوی سفید غربی نشان داد که در سیستم توده ساز زیستی مقادیر آنزیم های هپاتوپانکراس (ALP، ALT و AST) نسبت به گروه کنترل افزایش می‌یابد. نتایج به‌دست 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 به‌ترتیب ۳/۵۱ و ۳/۴۵ u/mg protein به‌دست آمد که اختلاف معنی داری با سایر تیمارها نشان داد (P<۰/۰۵) (شکل ۲، الف). بالاترین میزان فعالیت CAT در تیمارهای WF50 و WF75 به‌ترتیب 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) به‌دست آمد (شکل ۲، ج). به طور کلی نتایج فعالیت های آنتی اکسیدانی هپاتوپانکراس میگوی سفید غربی نشان داد که فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی 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.

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-13]



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

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-13]



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

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-13]

بحث

آنزیم‌های متابولیکی: آنزیم‌های متابولیکی (ALP، ALT و AST) معمولاً به‌عنوان شاخص عملکرد یا آسیب به هپاتوپانکراس میگو شناخته می شوند (۱۵). آلانین آمینوترانسفراز (ALT) یک آنزیم اصلی برای تبدیل اسیدهای آمینه و سایر متابولیت‌های واسطه در میگو است، آلکالین فسفاتاز (ALP) یک آنزیم سم‌زدایی اصلی در اکثر موجودات آبزی 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 یک‌عامل مهم برای ارزیابی آسیب‌بافت در موجودات آبزی در معرض تنش‌های محیطی مختلف است و به‌عنوان شاخصی برای انعکاس وضعیت سلامت و ایمنی حیوانات آبزی استفاده می‌شود (۱۷). در مطالعه حاضر مقادیر آنزیم‌های‌متابولیکی در همه تیمارهای توده‌ساز زیستی بالاتر از گروه کنترل مشاهده شد. بیش‌تر فعالیت ALP در تیمار توده‌ساز زیستی با افزودن آرد گندم به‌میزان ۵۰ و ۷۵ درصد غذای روزانه بود، که نشان می دهد میگوی های پرورش یافته در سیستم توده‌ساز زیستی تحت تاثیر تنش محیطی قرار می‌گیرند. 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 آن‌ها استدلال کردند که کاهش ALT نشان دهنده‌عملکرد بهتر هپاتوپانکراس در میگوهای پرورش‌یافته در سیستم توده‌ساز زیستی می‌باشد (۱۸). آنزیم ALP در همولنف میگوی سفید غربی پرورش‌یافته در سیتم توده‌ساز زیستی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (۱۸)، درحالی‌که در میگوی بزرگ آب‌شیرین (*M. rosenbergii*) افزایش قابل توجهی نشان داد (۱۹). تفاوت در عملکرد آنزیم‌های کبدی بسته به گونه‌میگو و ترکیب توده‌ساز زیستی متفاوت می‌باشد (۲). تنظیم ایمنی و مکانیسم‌های دفاعی ماهی توسط فعالیت ALP تنظیم می‌شود که به‌طور گسترده به‌عنوان‌شاخص آسیب‌بافتی ناشی از استرس و پاسخ های فیزیولوژیکی استفاده می شود. در مطالعه Adineh و همکاران، گزارش شد کپور معمولی پرورش‌یافته در سیستم توده‌ساز زیستی به‌طور معنی‌داری مقادیر AST و ALT پلاسما کاهش می‌یابد و مقدار ALP پلاسما به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد که احتمالاً نشان می‌دهد توده‌ساز زیستی‌فعالیت ایمنی‌را تحریک می‌کند (۲۰). در ماهی *O. kaopingensis* پرورش یافته در سیستم توده‌ساز زیستی به‌طور معنی‌داری مقادیر AST و ALT پلاسما کاهش یافت (۲۱).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی: وضعیت آنتی‌اکسیدانی یک شاخص مهم استرس اکسیداتیو در میگو است و به‌طور مفید به‌عنوان‌وسیله‌ای برای ارزیابی اثرات رژیم غذایی بر تغییرات در وضعیت آنتی‌اکسیدانی میگو استفاده می‌شود (۲۲). در مطالعه حاضر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در تیمارهای توده‌ساز زیستی بالاتر از گروه شاهد مشاهده شد (شکل ۲). محققین مختلفی گزارش کرده‌اند که وضعیت آنتی‌اکسیدانی میگوی سفید غربی پرورش یافته در سیستم توده‌ساز زیستی بالاتر از گروه کنترل می‌باشد (۸ ، ۱۰، ۱۱ و ۲۳). بدین معنی که سیستم آنتی‌اکسیدانی میگو در سیستم توده‌ساز زیستی بهبود می‌یابد. آن‌ها پیشنهاد می کنند که میگوهای پرورش یافته در سیستم توده ساز زیستی می توانند وضعیت آنتی‌اکسیدانی و پاسخ ایمنی میگو را با مصرف ترکیبات فعال زیستی و میکروارگانیسم‌های طبیعی توده‌ساز زیستی افزایش دهند. سوپر اکسیداز دیسموتاز (SOD) یک آنزیم آنتی‌اکسیدانی است که در درجه اول در مکانیسم‌دفاعی آنتی‌اکسیدانی که آنیون سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن تبدیل می کند عمل می کند و هم‌چنین با مکانیسم‌های محافظتی در آسیب‌های 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 بالاترین‌مقدار بود (شکل ۲، الف)، که نشان می‌دهد افزودن آرد گندم به سیستم‌توده‌ساز زیستی به‌مقدار ۵۰ تا ۷۵ درصد غذای روزانه نتیجه بهتری می دهد. در مطالعه Xu و Pan فعالیت آنزیم SOD در میگوی‌سفید‌غربی‌در سیستم‌توده‌ساز زیستی افزایش یافت، به این معنی‌که سیستم‌دفاعی آنتی‌اکسیدانی و سیستم ایمنی بدن همراه با افزایش فعالیت فاگوسیتی سلول‌های خونی میگو در محیط‌زیست فلوک بهبود‌یافته است (۸). بسیاری از محققان گزارش دادند که فعالیت SOD در میگوی سفید غربی پرورش یافته با توده ساز زیستی به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است و آن‌ها پیشنهاد می‌کنند که میکروارگانیسم‌های طبیعی و مواد فعال زیستی توده‌ساز زیستی برای‌سلامت فیزیولوژیکی میگو در محیط‌زیست فلوک مثبت بوده و درنتیجه باعث تسریع در مهار رادیکال‌های آزاد می‌شود (۱۰، ۱۱، ۲۵، ۲۶ و ۲۷). کاتالاز (CAT) یک‌مکانیسم‌دفاعی آنتی‌اکسیدانی است که از میگوها در برابر رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کند (۲۸). در مطالعه‌حاضر 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 به‌طور قابل‌توجهی در میگوی سفید غربی پرورش یافته در سیستم توده‌ساز زیستی با تراکم‌های مختلف‌افزایش‌یافت و آن‌ها بیان کردند که افزایش فعالیت CAT آنتی‌اکسیدان بالاتری برای مهار رادیکال‌های آزاد با تولید ROS (reactive oxygen species) بالاتر با تراکم بالاتر است. آنزیم GPx همراه با CAT یک آنزیم آنتی‌اکسیدانی‌اصلی است که پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن تبدیل می‌کند و گلوتاتیون اکسید شده

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-13]

را برای تسهیل واکنش آنتی‌اکسیدانی کاهش می‌دهد (۲۹). در مطالعه حاضر دامنه فعالیت آنزیم GPx (۳/۳-۵۷/۷۲ u/mg protein) به‌دست آمد (شکل ۲، ج) و در تیمارهای توده‌ساز زیستی بالاتر از گروه کنترل مشاهده شد. در مطالعه Dorothy و همکاران، به‌طور قابل توجهی مقدار GPx در همولنف میگوی سفید غربی پرورش یافته در سیستم توده‌ساز زیستی در مقایسه با گروه کنترل افزایش یافت و بیان شد که این به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی برای حذف رادیکال‌های آزاد است (۲۵). به‌طورکلی مطالعه حاضر نشان داد، پرورش میگوی سفیدغربی در سیستم توده‌ساز زیستی منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های متابولیکی و آنتی‌اکسیدانی می‌شود. افزودن آرد گندم به‌میزان ۵۰ تا ۷۵ درصد غذای روزانه در سیستم توده‌ساز زیستی عملکرد بهتری در فعالیت آنزیم‌های متابولیکی و آنتی‌اکسیدانی نسبت به سایر تیمارها نشان می‌دهد. 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.

تشکر و قدردانی

از همکاران و پرسنل محترم کارگاه تکثیر و بازسازی ذخائر آبزیان خلیج‌فارس در بندرکلاهی، میناب، هرمزگان تشکر و قدردانی داریم. این پروژه به‌شماره ۴۸۱۳-۰۳-۰۶-۳۸۹۲۹ 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., Alizadeah, 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)
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.LE. 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 Lightnera, 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 *Rhodosporidium 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.,**

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-13]

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 Majeedkutty, 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

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 deferentially 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

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-13]