



University of Guilan

University of Guilan with collaboration of Iranian
Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 7, No. 3, 2021, pages: 61-71



Effect of dietary nucleotide supplementation on growth performance, muscle proximate composition, and some serum biochemical compounds of stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*)

Soraya Khani-Miankuh¹, Barzan Bahrami Kamangar^{1*}, Alireza Alipour-Jorshari²

1- Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran.

2- International Sturgeon Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Guilan, Iran.

Received 05 March 2021

Revised 09 August 2021

Accepted 19 August 2021

KEYWORDS

Nucleotide
supplement
Growth
Muscle
Serum biochemical
Stellate sturgeon

ABSTRACT

The effects of dietary nucleotide supplementation on growth performance, some serum biochemical parameters, and muscle proximate composition of 240 stellate sturgeons with an average weight of 206.03 g were evaluated during 52 days. Four levels of nucleotide (0, 1, 2, and 3 g/kg diet; T₀-T₃) were used in three replications. Body weight and length were measured on days 0, 26, and 52 of the experiment in order to evaluate growth performance. Some serum biochemical parameters and muscle proximate composition were also measured at the end of the experiment. The results showed that nucleotide supplementation influenced the growth performance and enhanced some serum biochemical compounds in stellate sturgeon. Body weight, weight gain, and specific growth rate in 26th day were significantly higher in T₂ than in T₀. At the end of the experiment, these parameters were also higher in all treatments than in control group ($p < 0.05$). However, there was no significant difference between the T₁, T₂, and T₃ groups ($p > 0.05$). The total serum protein and glucose levels were not significantly different ($p > 0.05$) in T₁-T₃ than in T₀ at the end of the experiment. Serum triglyceride and cholesterol levels were higher in the T₂ and T₃ than in T₀ ($p < 0.05$). The results of comparing the mean percentage of protein, fat, moisture, and ash in muscle tissue showed no significant difference at the end of the experiment ($p > 0.05$). Based on the results, using 2 g dietary nucleotide supplement per kg is recommended in the stellate sturgeon farming conditions.

*Corresponding author: bbkamangar@uok.ac.ir



"مقاله پژوهشی"

تأثیر مکمل نوکلئوتیدی در جیره غذایی بر عملکرد رشد، ترکیب بافت عضله و برخی ترکیبات بیوشیمیایی سرم خون ماهی ازون برون (*Acipenser stellatus*)

ثریا خانی میانکوه^۱، برزان بهرامی کمانگر^{۱*}، علیرضا علیپور جورشری^۲

۱- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، کردستان

۲- سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، انستیتو تحقیقات بین‌المللی ماهیان خاویاری، رشت، گیلان

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۵/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۵

کلمات کلیدی

چکیده

اثر مکمل نوکلئوتیدی بر رشد، برخی ترکیبات بیوشیمیایی سرم و ترکیب بافت عضله ماهی ازون برون با استفاده از ۲۴۰ عدد ماهی با میانگین وزنی ۲۰۶/۰۳ گرم به مدت ۵۲ روز بررسی شد. آزمایش با چهار تیمار شامل مقادیر صفر، ۱، ۲ و ۳ گرم مکمل نوکلئوتیدی در کیلوگرم جیره و در سه تکرار اجرا شد. زیست‌سنجی در روزهای صفر، ۲۶ و ۵۲ آزمایش انجام و شاخص‌های رشد اندازه‌گیری شد. در پایان آزمایش برخی از ترکیبات بیوشیمیایی سرم و همچنین، ترکیب بافت عضله ماهیان آزمایشی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در روز ۲۶ مقادیر شاخص‌های وزن، درصد افزایش وزن بدن، نرخ رشد ویژه در تیمار ۲ گرم و در روز ۵۲ در تیمارهای ۱، ۲ و ۳ گرم مکمل نوکلئوتیدی به‌طور معنی‌دار بیش از گروه شاهد بود ($p < 0.05$). با وجود این، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای ۱، ۲ و ۳ گرم مکمل نوکلئوتیدی از لحاظ شاخص‌های یاد شده، مشاهده نشد ($p > 0.05$). نتایج آزمایش در روز ۵۲ نشان داد که تیمارهای مورد استفاده تأثیری بر مقادیر پروتئین کل و گلوکز سرم نسبت به شاهد نداشته ($p > 0.05$)، ولی مقادیر کلسترول و تری‌گلیسرید سرمی در تیمارهای ۲ و ۳ گرم بیش از گروه شاهد بود ($p < 0.05$). مقدار پروتئین، چربی، رطوبت و خاکستر بافت عضله ماهیان آزمایشی در پایان دوره آزمایش تفاوت معنی‌داری را نشان نداد ($p > 0.05$). با توجه به نتایج این آزمایش، استفاده از غلظت ۲ گرم مکمل نوکلئوتیدی در کیلوگرم غذا در شرایط پرورش ماهی ازون برون توصیه می‌شود.

مقدمه

نوکلئوتیدها مولکول‌های آلی هستند که در بسیاری از فرآیندهای زیستی نقش داشته و به عنوان واحدهای ساختاری در برخی از مولکول‌های زیستی مانند DNA، RNA¹، ATP¹ (به عنوان منبع انرژی سلولی) و cAMP² (مولکول مورد استفاده در انتقال پیام سلولی) و NAD³ (مولکول ناقل الکترون) وجود دارند. سلول‌های جانوری توانایی ساخت نوکلئوتیدها را از طریق دو مسیر اصلی شامل مسیر سنتز نو⁴ و مسیر بازیافت⁵ دارند. در طی سنتز نو، نوکلئوتیدها از آمینواسیدهای و دیگر مولکول‌ها ساخته می‌شوند و در مسیر بازیافت، نوکلئوتیدها از نوکلئوزیدها و بازهای ناشی از تجزیه اسیدهای نوکلئیک در درون سلول ساخته می‌شوند. اگرچه سلول‌ها توانایی ساخت نوکلئوتیدها را دارند، ولی ماده مغذی نیمه ضروری محسوب می‌شوند، زیرا در شرایط خاص ظرفیت سنتز آن توسط خود جانوران بسیار پایین است (Do Huu, 2016). از طرف دیگر، مواد غذایی آبزیان حاوی مقادیر نسبتاً کمی نوکلئوتید است (Do Huu et al. 2012).

در تغذیه آبزیان، استفاده از مکمل‌های نوکلئوتیدی به نسبت، جدید بوده ولی با وجود این، نتایج مطالعات انجام شده دلالت بر سودمندی استفاده از آن در جیره غذایی آبزیان دارد (Ringo et al. 2012; Do Huu, 2016). استفاده از مکمل نوکلئوتیدی موجب بهبود پاسخ ایمنی (Ringo et al. 2012; Do Huu, 2016; Hunt et al. 2016)، بهبود مقاومت نسبت به عوامل بیماریزا (Murthy et al. 2015; Shiau et al. 2015)، بهبود رشد و توسعه دستگاه گوارش (Cheng et al. 2011; Xu et al. 2015)، بهبود تأثیر واکسیناسیون (Xu et al. 2015) (Handeland et al. 2015)، بهبود قابلیت تنظیم اسمزی (Handeland et al. 1998) و بهبود رشد و عملکرد (خادمی و همکاران، ۱۳۸۷؛ فلاحتکار و همکاران، ۱۳۹۱؛ لوخی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Ringo et al. 2012; Keyvanshokoh and Thahmasebi, 2012; Abtahi et al. 2013) در ماهیان شده است.

ماهیان خاویاری از جمله ماهیان ارزشمند و اقتصادی دریای خزر هستند که ذخایر آن‌ها در دریای خزر به پایین‌ترین

حد رسیده است. تولید و پرورش ماهیان خاویاری از طریق آبی‌پروری رویکردهای است که نه تنها موجب جبران کاهش صید می‌شود، بلکه جبران تقاضای بازار را نیز فراهم و موجب کاهش قیمت محصول این دسته از ماهیان می‌شود (Cristea et al. 2012). تولید جهانی ماهیان خاویاری در سال‌های اخیر به تدریج در حال افزایش بوده و مقدار تولید ماهیان خاویاری از طریق آبی‌پروری در سال ۲۰۱۷ به ۱۰۲۳۲۷ تن رسیده که عمده تولید بر اساس پرورش گونه تاسماهی سبیری (*Acipenser baerii*) بوده است (Bronzi et al. 2019). ماهی ازون برون (*A. stellatus*) اگرچه از لحاظ تولید در میان گونه‌های اصلی تولیدی ماهیان خاویاری نیست، ولی به لحاظ اهمیت و مقبولیت عمومی در رتبه چهارم در بین گونه‌های ماهیان خاویاری در ۱۲ کشور تولید کننده جهان است (Cristea et al. 2012). در سند چشم‌انداز سازمان شیلات برای سال ۱۴۰۴ تولید ۱۰۰۰۰ تن گوشت ماهیان خاویاری و ۱۰۰ تن خاویار از گونه‌های مختلف ماهیان خاویاری از جمله گونه ازون برون در نظر گرفته شده است (عبدالحی و کرمی‌راد، ۱۳۹۷). این حجم از تولید، نیازمند افزایش ظرفیت تکثیر ماهیان خاویاری و تولید بچه‌ماهیان مورد نیاز است. با وجود این، هنوز نیازهای غذایی و فیزیولوژیک ماهی ازون برون در شرایط پرورش به درستی شناخته نشده است. اگرچه مطالعات محدودی درباره تأثیر مکمل نوکلئوتیدی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و تغذیه‌ای در تعدادی از گونه‌های ماهیان خاویاری انجام شده است (خانی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Abtahi et al. 2013)، ولی تاکنون مطالعه‌ای در خصوص بررسی تأثیر مکمل نوکلئوتیدی بر ویژگی‌های تغذیه‌ای و فیزیولوژیک ماهی ازون برون انجام نشده است. لذا هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی اثر مکمل نوکلئوتیدی تجاری وانازن^۶ بر شاخص‌های رشد، بازماندگی، ترکیب بافت عضله و برخی از ویژگی‌های بیوشیمیایی سرم خون در این گونه است.

مواد و روش‌ها

برای بررسی تأثیر مکمل نوکلئوتیدی بر رشد، ترکیب بافت عضله و برخی از شاخص‌های سرمی ماهی ازون برون،

4- de novo
5- salvage
6- Vannagen

1- Adenosine triphosphate (ATP)
2- Cyclic adenosine monophosphate (cAMP)
3- Nicotinamide adenine dinucleotide

تغذیه شدند. پس از پایان دوره سازگاری، دوره اجرای آزمایش به مدت ۵۲ روز آغاز شد. ابتدا در دوره زمانی آغاز آزمایش تا روز ۲۶ ماهیان هر تیمار آزمایشی با توجه به دمای آب، روزانه معادل ۱/۵٪ وزن زنده و در سه وعده غذا دریافت کردند. سپس از روز ۲۷ الی ۵۲ (پایان آزمایش) با توجه به دمای آب، روزانه معادل ۱/۹٪ وزن ماهیان و در سه وعده غذا دهی انجام شد. آب مورد نیاز مخازن پرورشی از یک حلقه چاه تأمین شد. میزان اکسیژن محلول آب ۵ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد. شستشوی مخازن به صورت هفتگی در طی دوره آزمایش انجام شد. دامنه دمای آب طی دوره آزمایش در ۳۰ روز ابتدایی ۱۹ الی ۲۵ و در ۲۲ روز پایانی ۲۵ الی ۲۹ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. همچنین، مقدار pH آب مورد استفاده ۷-۷/۵ بود.

زیست‌سنجی ماهیان در سه مرحله آغاز آزمایش، روز ۲۶ و روز ۵۲ (پایان آزمایش) انجام شد. در هر مرحله از زیست‌سنجی شاخص‌های درازای چنگالی و وزن ماهیان هر مخزن به ترتیب با دقت ۰/۱ سانتی‌متر و ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شد. شاخص‌های رشد شامل درصد افزایش وزن بدن، نرخ رشد ویژه، ضریب تبدیل خوراک، ضریب چاقی، درصد بازماندگی در دو بازه زمانی روز صفر (آغاز آزمایش) تا روز ۲۶ (زیست‌سنجی دوم) و روز ۲۷ تا روز ۵۲ آزمایش (زیست‌سنجی سوم) بر اساس روابط مربوطه (Biswas, 1993) تعیین شدند. همچنین، ضریب تبدیل غذایی در هر تیمار در پایان آزمایش تعیین شد.

برای بررسی غلظت مقادیر پروتئین کل، کلسترول، تری-گلیسرید و گلوکز سرمی در پایان دوره آزمایش از هر مخزن پرورشی تعداد سه قطعه ماهی (۹ عدد ماهی به ازای هر تیمار) به طور تصادفی انتخاب و پس از بیهوشی از ساقه دمی آن‌ها اقدام به تهیه نمونه خون شد. جداسازی سرم با استفاده از سانتریفیوژ یخچال‌دار (Eppendorf 5804r) در ۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه انجام شد. پس از جداسازی، سرم به درون ریزلوله‌های تمیز منتقل و تا زمان سنجش شاخص‌های بیوشیمیایی در دمای منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (Pês et al. 2016). سنجش شاخص‌های بیوشیمیایی به روش اسپکتروفتومتری و با استفاده از کیت‌های تجاری شرکت زیست شیمی و کالیبراتور مربوطه مطابق دستورالعمل شرکت سازنده انجام

آزمایشی با استفاده از ۲۴۰ قطعه ماهی ازون‌برون پرورشی در مزرعه خویار تاسماهی کاسپین واقع در شهرستان تالش، استان گیلان اجرا شد. ماهیان مورد استفاده دارای میانگین وزنی ۲۰۶/۰۳ گرم و خطای استاندارد ۲/۱۷ گرم بودند. در تغذیه اولیه ماهیان برای سازگاری، از خوراک پلت ماهیان خاویاری (FFS) شرکت تولیدی پارس‌دانه سوادکوه به عنوان خوراک پایه استفاده شد. در سنجش تقریبی، این خوراک به‌طور متوسط حاوی ۵۲/۵٪ پروتئین خام، ۱۴٪ چربی، ۳٪ فیبر، ۸/۵٪ خاکستر و ۸/۵٪ رطوبت است. در این تحقیق از مکمل نوکلئوتیدی با نام تجاری وانژن تولیدی شرکت کمفورما^۷ کشور سوئیس استفاده شد. این ترکیب یک مکمل طبیعی بر اساس استفاده از مخمر غیر-فعال شده (*Saccharomyces cerevisiae*) است که با نوکلئوتیدهای خالص و RNA خالص غنی شده و حاوی نوکلئوتیدهای آزاد است. با توجه به مطالعات پیشین، در دیگر گونه‌های ماهیان خاویاری (خانی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Abtahi et al. 2013) و با توجه به غلظت پیشنهادی شرکت سازنده (۲ الی ۲/۵ گرم در کیلوگرم) چهار تیمار آزمایشی شامل سطوح مکمل نوکلئوتیدی صفر (شاهد)، ۱، ۲ و ۳ گرم در هر کیلوگرم خوراک (T0-T3) برای افزودن به جیره پایه ماهیان آزمایشی در نظر گرفته شد.

برای افزودن مکمل نوکلئوتیدی، ابتدا خوراک تهیه شده از شرکت پارس‌دانه با استفاده از دستگاه آسیاب، خرد و به شکل پودر تبدیل شد. سپس مقادیر مکمل نوکلئوتیدی مورد نیاز به خوراک پایه افزوده، و با استفاده از مقداری آب به شکل خمیر تبدیل شد. خمیر تهیه شده با استفاده از دستگاه چرخ گوشت به شکل رشته تبدیل، و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد تا رطوبت آن کاهش یافت. سپس، رشته‌های خشک شده به فرم دانه‌های پلت تبدیل و استفاده شد (Mai et al. 2006).

برای اجرای آزمایش ۲۴۰ قطعه ماهی ازون‌برون پرورشی مورد استفاده به صورت تصادفی به ۱۲ مخزن ۵۰۰۰ لیتری و با تراکم ۲۰ قطعه ماهی در هر مخزن منتقل شدند. به منظور سازگاری ماهیان آزمایشی ابتدا به مدت ۸ روز ماهیان با استفاده از خوراک پایه (بدون افزودن مکمل نوکلئوتیدی) به مقدار ۱/۵٪ وزن زنده ماهیان هر مخزن

شد. خوانش نمونه‌ها برای سنجش شاخص‌های کلسترول، تری‌گلیسرید و گلوکز سرمی در طول موج ۵۰۰ نانومتر و خوانش نمونه‌ها برای سنجش پروتئین کل در طول موج ۵۴۶ نانومتر انجام شد.

برای تعیین ترکیب بافت عضله ماهیان در اثر تیمارهای آزمایشی، دو قطعه ماهی از هر مخزن آزمایشی (۶ قطعه به ازای هر تیمار آزمایشی) به‌طور تصادفی انتخاب شد. نمونه‌های ماهی با استفاده از غلظت بالای عصاره پودر گل میخک کشته و در کنار یخ به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها تا زمان اندازه‌گیری مقادیر پروتئین، چربی، خاکستر و رطوبت در دمای منفی ۴۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پس از جداسازی پوست و اسکلت ساقه دمی مطابق دستورالعمل AOAC 937.07 مقدار چند گرم از بافت عضله ساقه دمی جدا و برای سنجش مقادیر پروتئین، چربی، خاکستر و رطوبت عضله استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها بر اساس روش‌های استاندارد مربوطه برای سنجش مواد غذایی (AOAC, 2019) استوار بود.

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار (غلظت صفر، ۱، ۲ و ۳ گرم مکمل نوکلئوتیدی در کیلوگرم جیره پایه، T₀-T₃) و سه تکرار در هر تیمار انجام شد. توزیع نرمال داده‌های مربوط به سنجش‌های هر بخش از شاخص‌های مورد بررسی با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. تجزیه واریانس داده‌ها با روش مدل خطی عمومی (GLM) و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. همچنین، مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح ۰.۵٪ انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در محیط نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ و رسم نمودارها در محیط نرم‌افزار اکسل انجام شد.

نتایج

مقایسه میانگین شاخص‌های رشد در چهار تیمار آزمایشی و در سه مرحله اندازه‌گیری در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج مقایسه میانگین‌ها در آغاز آزمایش (روز صفر) نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میانگین شاخص‌های وزن بدن، ضریب چاقی و درازای چنگالی ماهیان در تیمارهای آزمایشی وجود ندارد (p > ۰/۰۵). در روز ۲۶ آزمایش، میانگین وزن بدن ماهیان تیمار T₂ به‌طور معنی‌دار از گروه شاهد بیشتر بود (p < ۰/۰۵). در پایان دوره

آزمایش (روز ۵۲) نیز میانگین وزن بدن، درازای چنگالی و ضریب چاقی در ماهیان تمام تیمارهای آزمایشی به‌طور معنی‌دار از گروه شاهد بیشتر بود (p < ۰/۰۵). نتایج مقایسه میانگین درصد افزایش وزن بدن و ضریب رشد ویژه ماهیان در چهار گروه آزمایشی و در سه مرحله اندازه‌گیری در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج مقایسه میانگین‌های درصد افزایش وزن بدن و ضریب رشد ویژه در فاصله زمانی روز صفر تا روز ۲۶ آزمایش نشان داد که درصد افزایش وزن در ماهیان تیمارهای T₁ و T₂ به‌طور معنی‌دار بیش از گروه شاهد بود (p < ۰/۰۵). همچنین، در فواصل زمانی روز ۲۶ تا روز ۵۲ آزمایش و روز صفر تا روز ۵۲ آزمایش، میانگین درصد افزایش وزن بدن و ضریب رشد ویژه ماهیان تحت تأثیر تیمارهای T₁-T₃ به‌طور معنی‌دار بیش از گروه شاهد بود (p < ۰/۰۵). با وجود این، تفاوت معنی‌داری بین شاخص‌های رشد در تیمارهای T₁-T₃ و در هر دو مرحله زیست‌سنجی مشاهده نشد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌های ضریب تبدیل غذایی در پایان دوره آزمایش نشان داد که این ضریب در تمام تیمارهای نوکلئوتیدی به‌طور معنی‌دار کمتر از گروه شاهد بود (p < ۰/۰۵؛ جدول ۱). همچنین، مقایسه میانگین درصد بازماندگی در گروه‌های آزمایشی در پایان دوره آزمایش تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (p > ۰/۰۵).

نتایج مقایسه میانگین‌های مقادیر شاخص‌های بیوشیمیایی سرم در پایان دوره آزمایش (روز ۵۲) در جدول ۲ ارائه شده است. بررسی غلظت پروتئین کل سرمی ماهیان در پایان دوره آزمایش نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میانگین مقادیر در گروه‌های آزمایشی وجود ندارد (p > ۰/۰۵). با وجود این، مقایسه میانگین‌های مقادیر غلظت گلوکز، کلسترول و تری‌گلیسرید سرمی ماهیان در پایان دوره آزمایش نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میانگین غلظت سرمی ماهیان در تیمارهای آزمایشی از لحاظ این شاخص‌ها وجود دارد (p > ۰/۰۵). در حالی که تفاوت معنی‌داری بین میانگین غلظت سرمی کلسترول و همچنین تری‌گلیسرید در T₁ با گروه شاهد مشاهده نشد، مقدار کلسترول سرمی به‌طور معنی‌دار در تیمار T₃ و مقدار تری‌گلیسرید در تیمارهای T₁ و T₂ بیش از گروه شاهد بود. مقدار غلظت سرمی گلوکز اگرچه در تیمار T₃ بیش از تیمارهای T₁ و T₂ بود، ولی تفاوت معنی‌داری با گروه شاهد نداشت.

نتایج مقایسه میانگین‌های درصد ترکیبات عضله ماهیان در پایان دوره آزمایش (روز ۵۲) نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میانگین درصد این ترکیبات در ماهیان تیمارهای آزمایشی وجود نداشت ($p > 0.05$). با وجود این، مقدار درصد پروتئین عضله در تیمار T2 ۳/۱٪ بیشتر، و درصد چربی بافت عضله ۲/۲٪ کمتر از گروه شاهد بود (جدول ۳).

جدول ۱ مقایسه میانگین شاخص‌های رشد ماهی ازون برون در تیمارهای آزمایشی در مراحل اندازه‌گیری.

| شاخص رشد | سطوح مکمل نوکلئوتیدی (گرم در کیلوگرم جیره) | | | |
|---------------------------------|--|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | ۰ | ۱ | ۲ | ۳ |
| وزن بدن در روز ۰ (گرم) | ۲۰۵/۸۵ ± ۱/۱۸ | ۲۰۵/۶۷ ± ۰/۱۷ | ۲۰۶/۳۴ ± ۰/۹۳ | ۲۰۵/۶۲ ± ۰/۴۶ |
| طول بدن در روز ۰ (سانتیمتر) | ۳۷/۸۳ ± ۰/۵۱ | ۳۸/۲۵ ± ۰/۲۲ | ۳۸/۰۱ ± ۰/۴۵ | ۳۸/۲۴ ± ۰/۴۰ |
| وزن بدن در روز ۲۶ (گرم) | ۲۳۰/۰۳ ± ۵/۰۵ ^b | ۲۴۸/۹۳ ± ۳/۸۰ ^{ab} | ۲۵۳/۶۰ ± ۴/۴۱ ^a | ۲۴۳/۸۰ ± ۵/۶۷ ^{ab} |
| طول بدن در روز ۲۶ (سانتیمتر) | ۴۰/۳۳ ± ۰/۳۱ | ۴۱/۲۸ ± ۰/۳۸ | ۴۱/۵۳ ± ۰/۳۰ | ۴۰/۹۱ ± ۰/۱۷ |
| وزن بدن در روز ۵۲ (گرم) | ۲۶۷/۷۵ ± ۴/۲۶ ^b | ۳۳۵/۳۰ ± ۱۱/۶۸ ^a | ۳۴۹/۰۵ ± ۳/۰۸ ^a | ۳۲۹/۳۴ ± ۸/۵۸ ^a |
| طول بدن در روز ۵۲ (سانتیمتر) | ۴۲/۵۱ ± ۰/۰۹ ^b | ۴۴/۴۶ ± ۰/۴۶ ^a | ۴۵/۲۷ ± ۰/۳۴ ^a | ۴۴/۳۹ ± ۰/۱۱ ^a |
| ضریب چاقی در روز ۰ | ۰/۰۰۳۸ ± ۰/۰۰۰۲ | ۰/۰۰۳۷ ± ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۳۸ ± ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۳۷ ± ۰/۰۰۰۱ |
| ضریب چاقی در روز ۲۶ | ۰/۰۰۳۵ ± ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۳۵ ± ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۳۵ ± ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۳۶ ± ۰/۰۰۰۱ |
| ضریب چاقی در روز ۵۲ | ۰/۰۰۳۵ ± ۰/۰۰۰۱ ^b | ۰/۰۰۳۸ ± ۰/۰۰۰۱ ^a | ۰/۰۰۳۸ ± ۰/۰۰۰۱ ^a | ۰/۰۰۳۸ ± ۰/۰۰۰۱ ^a |
| درصد افزایش وزن از روز ۰ تا ۲۶ | ۱۱/۷۳ ± ۱/۹۲ ^b | ۲۱/۰۳ ± ۱/۸۳ ^a | ۲۲/۸۹ ± ۱/۵۵ ^a | ۱۸/۵۷ ± ۳/۰۲ ^{ab} |
| درصد افزایش وزن از روز ۲۶ تا ۵۲ | ۱۶/۵۲ ± ۳/۳۲ ^b | ۳۴/۶۳ ± ۲/۸۲ ^a | ۳۷/۶۹ ± ۱/۸۰ ^a | ۳۵/۰۸ ± ۰/۳۸ ^a |
| درصد افزایش وزن از روز ۰ تا ۵۲ | ۳۰/۰۹ ± ۲/۵۷ ^b | ۶۳/۰۳ ± ۵/۶۱ ^a | ۶۹/۱۶ ± ۱/۰۱ ^a | ۶۰/۱۸ ± ۴/۵۳ ^a |
| ضریب رشد ویژه از روز ۰ تا ۲۶ | ۰/۳۷ ± ۰/۰۶ ^b | ۰/۶۴ ± ۰/۰۵ ^a | ۰/۶۹ ± ۰/۰۴ ^a | ۰/۵۷ ± ۰/۰۸ ^{ab} |
| ضریب رشد ویژه از روز ۲۶ تا ۵۲ | ۰/۵۱ ± ۰/۰۹ ^b | ۰/۹۹ ± ۰/۰۷ ^a | ۱/۰۷ ± ۰/۰۴ ^a | ۱/۰۰ ± ۰/۰۱ ^a |
| ضریب رشد ویژه از روز ۰ تا ۵۲ | ۰/۴۴ ± ۰/۰۳ ^b | ۰/۸۱ ± ۰/۰۶ ^a | ۰/۸۸ ± ۰/۰۱ ^a | ۰/۷۸ ± ۰/۰۵ ^a |
| ضریب تبدیل خوراک | ۳/۱۹ ± ۰/۲۶ ^a | ۱/۵۳ ± ۰/۱۳ ^b | ۱/۳۸ ± ۰/۰۲ ^b | ۱/۵۸ ± ۰/۱۲ |

* مقایسه میانگین با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام شد. وجود حروف متفاوت در مقایسه‌های هر شاخص و در هر مرحله نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵٪ است. داده‌های ارائه شده به صورت میانگین ± متوسط خطای استاندارد (SEM) مقادیر شاخص‌های اندازه‌گیری شده ماهیان از سه تکرار آزمایشی و در هر مرحله آزمایش است.

جدول ۲ مقایسه میانگین غلظت شاخص‌های بیوشیمیایی سرم ماهیان در تیمارهای آزمایشی در پایان دوره آزمایش.

| شاخص بیوشیمیایی سرم | سطوح مکمل نوکلئوتیدی (گرم در کیلوگرم جیره) | | | |
|---------------------|--|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| | ۰ | ۱ | ۲ | ۳ |
| پروتئین کل (mg/dL) | ۱/۸۰ ± ۰/۲۹ | ۱/۷۰ ± ۰/۰۹ | ۱/۶۹ ± ۰/۱۹ | ۱/۹۴ ± ۰/۱۱ |
| کلسترول (mg/dL) | ۶۵/۸۹ ± ۱۱/۰۳ ^{bc} | ۴۸/۳۲ ± ۷/۹۳ ^c | ۸۰/۸۱ ± ۱۰/۴۶ ^{ab} | ۹۴/۹۸ ± ۹/۰۱ ^a |
| تری‌گلیسرید (mg/dL) | ۷۲/۸۱ ± ۱۱/۹۸ ^c | ۹۳/۴۰ ± ۱۵/۴۱ ^{bc} | ۱۶۹/۵۸ ± ۱۸/۹۹ ^a | ۱۲۴/۱۰ ± ۱۴/۲۶ ^{ab} |
| گلوکز (mg/dL) | ۱۳۹/۹۵ ± ۸/۷۶ ^{ab} | ۱۱۶/۸۶ ± ۷/۹۳ ^b | ۱۰۷/۲۶ ± ۲۰/۱۲ ^b | ۱۶۸/۸۸ ± ۱۸/۲۱ ^a |

* مقایسه میانگین با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام شد. وجود حروف متفاوت در مقایسه‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵٪ می‌باشد. داده‌های ارائه شده به صورت میانگین ± متوسط خطای استاندارد (SEM) مقادیر غلظت هر یک از شاخص‌های بیوشیمیایی سرم ماهیان از سه تکرار آزمایشی است.

جدول ۳ مقایسه میانگین درصد ترکیبات عضله ماهیان در تیمارهای آزمایشی در پایان دوره آزمایش.

| شاخص ترکیب عضله | سطوح مکمل نوکلئوتیدی (گرم در کیلوگرم جیره) | | | |
|-----------------|--|--------------|--------------|--------------|
| | ۰ | ۱ | ۲ | ۳ |
| درصد رطوبت | ۸۰/۵۳ ± ۰/۹۲ | ۷۹/۷۴ ± ۰/۶۹ | ۷۹/۵۴ ± ۰/۷۲ | ۷۹/۱۶ ± ۰/۶۷ |
| درصد پروتئین | ۸۷/۲۵ ± ۱/۰۹ | ۸۹/۵۲ ± ۰/۶۴ | ۹۰/۳۴ ± ۱/۳۸ | ۸۶/۶۶ ± ۲/۴۰ |
| درصد چربی | ۹/۵۰ ± ۱/۲۳ | ۱۰/۷۸ ± ۱/۷۲ | ۷/۳۵ ± ۰/۹۵ | ۸/۶۹ ± ۱/۷۹ |
| درصد خاکستر | ۰/۸۵ ± ۰/۱۲ | ۱/۱۲ ± ۰/۰۹ | ۰/۹۶ ± ۰/۰۵ | ۱/۰۳ ± ۰/۱۴ |

* مقایسه میانگین با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) انجام شد. وجود حروف متفاوت در مقایسه‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی دار بین تیمارها در سطح ۵٪ است. داده‌های ارائه شده به صورت میانگین ± متوسط خطای استاندارد (SEM) مقادیر غلظت هر یک از شاخص‌های بیوشیمیایی سرم ماهیان از سه تکرار آزمایشی است.

بحث

افزایش تولید در واحد سطح مزارع پرورش ماهیان تحت تأثیر عوامل مختلفی است که بهینه‌سازی شرایط تغذیه با استفاده از منابع مختلف غذایی و مکمل‌های موجود، گامی موثر در این راستاست. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که استفاده از مکمل‌های نوکلئوتیدی به‌طور معنی داری موجب بهبود رشد و عملکرد در ماهی ازون برون شد. همچنین، نتایج تحقیق نشان داد که تأثیر مکمل نوکلئوتیدی مورد استفاده بر شاخص‌های رشد، وابسته به مدت زمان استفاده و غلظت مکمل بود. زیرا شاخص متوسط وزن بدن در روز ۲۶ زیست‌سنجی تنها در تیمار آزمایشی ۲ گرم مکمل نوکلئوتیدی (T_2) نسبت به گروه شاهد تفاوت معنی دار داشت، در حالی که در زیست‌سنجی روز ۵۲ هر سه غلظت مورد استفاده موجب افزایش معنی دار میانگین وزن بدن ماهیان تحت تیمار نسبت به گروه شاهد شدند. تأثیر مدت زمان و غلظت مورد استفاده مکمل نوکلئوتیدی مورد استفاده در دیگر شاخص‌های مورد بررسی از جمله درازای بدن، درصد افزایش وزن و ضریب رشد ویژه ماهیان نیز مشاهده شد. از طرف دیگر، نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از مکمل نوکلئوتیدی، موجب کاهش ضریب تبدیل غذایی در تمام غلظت‌های نوکلئوتیدی مورد استفاده شد. در عین حال، میزان بازماندگی تحت تأثیر تیمارهای مورد استفاده تفاوتی را نشان نداد. تأثیر استفاده از مکمل‌های نوکلئوتیدی بر رشد و عملکرد برخی از گونه‌های ماهیان پیش‌تر گزارش شده است. مؤثر بودن مکمل‌های نوکلئوتیدی بر شاخص‌های رشد و عملکرد در گونه‌های ماهیان استخوانی (خادمی و همکاران، ۱۳۸۷؛ فلاحتکار و همکاران، ۱۳۹۱؛ Burrells et al. 2001; Li et al. 2007; Lin et al. 2009; Tahmasebi-Kohyani

et al. 2011; Keyvanshokoo et al. 2012; Hossain et al. 2017) و ماهیان غضروفی استخوانی (Abtahi et al. 2013) گزارش شده است. این در حالی است که گزارش‌هایی نیز دلالت بر عدم تأثیر مکمل‌های نوکلئوتیدی بر شاخص‌های رشد دارد (Glencross and Rutherford, 2010; Jarmolowiz et al. 2013; Fuchs et al. 2015). اگرچه در شرایط طبیعی دسترسی به منابع نوکلئوتیدی برای رشد کافی است، ولی چنین به نظر می‌رسد که در شرایط پرورش متراکم ماهیان، افزودن مکمل نوکلئوتیدی می‌تواند موجب بهبود رشد و عملکرد شود (Ringo et al. 2012). با توجه به نیاز بالای یاخته‌های در حال تقسیم و رشد به منابع نوکلئوتیدی در طی مراحل رشد، افزودن مکمل نوکلئوتیدی می‌تواند نیازهای این مرحله ماهیان را تأمین کند (Borda et al. 2003). تأثیر مکمل‌های نوکلئوتیدی بر بیان آنزیم‌های سوخت و ساز عضلات و برخی از پروتئین‌های ساختمانی بافت عضلات که در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان گزارش شده است (Keyvanshokoo and Tahmasebi, 2012)، نیز می‌تواند یک عامل مهم در پاسخ مثبت رشد و عملکرد ماهیان به افزودن مکمل نوکلئوتیدی باشد. از طرف دیگر، مطالعات انجام شده در تعدادی دیگر از گونه‌های آبزیان نشان داده که مکمل نوکلئوتیدی در رشد و عملکرد گونه‌های گربه ماهی مخطط، گربه ماهی روگامی، کفشک و ماهی باراموندی فاقد اثر مثبت است (Hossain et al. 2020). اگر چه در مطالعه حاضر در ماهی ازون برون به بررسی مکانیسم تأثیر مکمل نوکلئوتیدی بر شاخص‌های رشد و عملکرد پرداخته نشد، ولی نتایج این تحقیق نشان داد که مثبت بودن اثر مکمل نوکلئوتیدی بر رشد و شاخص‌های عملکردی نه تنها تحت تأثیر مدت زمان

مطالعات دقیق‌تر برای درک تأثیر نوکلئوتیدها بر شاخص‌های بیوشیمیایی مورد نیاز است. اگرچه در نتایج مطالعه حاضر تفاوت معنی‌داری از لحاظ تأثیر مکمل نوکلئوتیدی بر ترکیبات عضله ماهی ازون برون مشاهده نشد، ولی افزایش نسبی در درصد پروتئین و کاهش درصد چربی عضله ماهیان تیمار T₂ در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده شد، به طوری که متوسط درصد پروتئین عضله در ماهیان تیمار T₂ ۳/۱٪ بیشتر و درصد چربی عضله در این تیمار ۲/۲٪ کمتر از متوسط این شاخص‌ها در گروه شاهد بود. تأثیر مکمل نوکلئوتیدی بر ترکیب لاشه دیگر گونه‌های ماهیان پیش‌تر گزارش شده است. استفاده از مکمل نوکلئوتیدی در فیل ماهی (al. Abtahi et al. 2013) و سیم دریایی قرمز (Hossain et al. 2016) موجب افزایش درصد پروتئین لاشه در این ماهیان شده است. افزایش نسبی پروتئین در تیمار T₂ در ماهی ازون برون در تطابق با گزارش‌های فوق است. تأثیر مثبت مکمل نوکلئوتیدی بر درصد پروتئین لاشه ممکن است از طریق افزایش ساخت زیستی پروتئین در سلول‌ها به واسطه تأثیر بر ذخیره نوکلئوتیدی بوده و یا ممکن است نشان‌دهنده افزایش استفاده از پروتئین جیره باشد (Hossain et al. 2020). از طرف دیگر، به نظر کاهش نسبی چربی در ماهی ازون برون که در تطابق با افزایش میزان کلسترول و تری‌گلیسرید در سرم است، ممکن است ناشی از افزایش مصرف این منابع برای تأمین انرژی لازم برای رشد سریع‌تر ماهیان این تیمار در مقایسه با گروه شاهد باشد. با وجود این، نتایج تحقیق حاضر برای تأیید این فرضیه کافی نیست. هدف از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر مکمل نوکلئوتیدی در جیره غذایی بر شاخص‌های رشد و عملکرد، ترکیب شیمیایی عضله و برخی از ترکیبات بیوشیمیایی سرم خون بچه‌ماهیان ماهی ازون برون بود. بررسی نتایج به دست آمده نشان داد که استفاده از مکمل‌های نوکلئوتیدی دارای تأثیر مثبت بر فراسنجه‌های رشد و عملکرد بوده و تا حدی بر ترکیب عضله مؤثر بوده است. همچنین، ترکیبات بیوشیمیایی سرم خون ماهیان تحت تأثیر تیمارهای مورد استفاده تغییر پیدا کردند. با توجه به نتایج این تحقیق، به نظر، استفاده از سطح ۲ گرم مکمل نوکلئوتیدی در کیلوگرم جیره غذایی را می‌توان به عنوان غلظت بهینه در گونه ازون برون استفاده کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که امکان استفاده از مکمل‌های نوکلئوتیدی در جیره غذایی

استفاده از مکمل است، بلکه غلظت مورد استفاده نیز تأثیر واضحی بر این شاخص‌ها داشت. از طرف دیگر، نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از مکمل نوکلئوتیدی به طور قابل توجهی موجب افزایش شاخص‌های رشد و عملکرد به خصوص در تیمار ۲ گرم مکمل در کیلوگرم جیره غذایی می‌شود، به طوری که در روز ۲۶ آزمایش متوسط وزن بدن ماهیان در تیمار ۲ گرم ۱۰/۲۵٪ و در روز ۵۲ آزمایش ۳۰/۳۶٪ بیش از متوسط وزن بدن ماهیان شاهد بود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تیمارهای نوکلئوتیدی مورد استفاده، تأثیر معنی‌داری بر غلظت سرمی گلوکز، کلسترول و تری‌گلیسرید داشتند و فاقد تأثیر بر غلظت پروتئین کل سرمی بودند. در حالی که تیمارهای ۱ و ۲ گرم مکمل نوکلئوتیدی موجب کاهش نسبی غلظت گلوکز سرمی شدند، اما تیمارهای ۲ و ۳ گرم موجب افزایش نسبی کلسترول و تری‌گلیسرید سرمی شدند. استفاده از شاخص‌های بیوشیمیایی سرم در تشخیص وضعیت فیزیولوژیک ماهیان کاربردهای بسیاری داشته و اطلاعات مفیدی را در اختیار قرار می‌دهد. کاهش غلظت گلوکز سرمی در ماهی سیم دریایی تحت اثر مکمل نوکلئوتیدی پیش‌تر گزارش شده بود (Hossain et al. 2016). به طور کلی، کاهش گلوکز سرمی در ماهیان در اثر استفاده از مکمل نوکلئوتیدی ممکن است نشان‌دهنده بهبود وضعیت فیزیولوژیک ماهیان تحت این تیمارها باشد (Hossain et al. 2020). از طرف دیگر، در شرایط استرس، بجز غلظت سرمی هورمون کورتیزول، مقدار گلوکز خون نیز یکی از شاخص‌های پاسخ به شرایط استرس محسوب می‌شود (Tahmasebi-Kohyani et al. 2011). بنابراین، ممکن است که کاهش سطح گلوکز سرمی در تیمارهای T₁ و T₂ ناشی از تأثیر این مکمل به افزایش تحمل شرایط استرس ناشی از تراکم نگهداری باشد. با وجود این، از آنجا که در آزمایش حاضر غلظت کورتیزول اندازه‌گیری نشده است، امکان تأیید این فرضیه وجود ندارد. گزارش‌های پیشین در خصوص تأثیر مکمل نوکلئوتیدی بر میزان کلسترول و تری‌گلیسرید سرمی متفاوت است. برخی از گزارش‌ها دلالت بر کاهش و برخی دلالت بر افزایش سطح این دو شاخص دارند (Hossain et al. 2020). چنین به نظر می‌رسد که تأثیر مکمل نوکلئوتیدی بر این شاخص‌ها ممکن است تحت تأثیر گونه مورد مطالعه و نوع مکمل نوکلئوتیدی مورد استفاده، متفاوت باشد. بنابراین، انجام

رنگین کمان *Oncorhynchus mykiss*. پژوهش و سازندگی ۸۱: ۱۳۵-۱۳۲.

خانی، ف.، ایمانپور، م. ر.، کلنگی میاندره، ح.، قائدی، ع.، تقی‌زاده، و. ۱۳۹۴. اثر تنش شوری بر پارامترهای خونی و بیوشیمیایی سرم خون بچه ماهیان قره‌برون (*Acipenser persicus*) تغذیه شده با سطوح متفاوت نوکلئوتید جیره. پژوهش های جانوری (زیست شناسی ایران) ۲۸: ۳۲۲-۳۰۷.

عبدالحی، ح.، کرمی‌راد، ن. ۱۳۹۷. توسعه پرورش ماهیان خاویاری در ایران. دو فصلنامه ترویجی ماهیان خاویاری ۱: ۴۴-۳۲.

فلاح‌تکار، ب.، عبدی، ح.، محمودی، ن. ۱۳۹۱. نقش تغذیه‌ای نوکلئوتید بر منابع انرژی بدن و عملکرد رشد ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*). شیلات ۲۱: ۱۴۶-۱۳۳.

لوخی، ت.ف.، هرسیج، م.، کلنگی میاندره، ح.، غفاری فارسانی، ح. ۱۳۹۴. تاثیر سطوح مختلف نوکلئوتید جیره بر پارامترهای بیوشیمیایی سرم خون بچه ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*). فیزیولوژی و بیوتکنولوژی آبیان ۳: ۶۲-۵۱.

ماهی ازون برون وجود دارد. همچنین، به واسطه استفاده از این ترکیب، شاخص‌های رشد و عملکرد بهبود نشان دادند. از آنجا که غلظت ۲ گرم مکمل نسبت به دیگر غلظت‌ها اثر مثبت بیشتری داشته است، لذا استفاده از این غلظت پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

از جناب آقای مرتضی امام قلی‌وند مدیریت محترم مزرعه پرورش تاس‌ماهی که امکان اجرای بخش پرورش این تحقیق را فراهم کردند کمال تشکر و قدردانی را داریم. همچنین، از همکاری‌های صمیمانه بخش آبی‌پروری انستیتو تحقیقات بین‌المللی ماهیان خاویاری کمال تقدیر و تشکر را داریم. کلیه هزینه‌های این تحقیق از محل گرانت آموزشی دانشگاه کردستان برای انجام پایان‌نامه کارشناسی ارشد نفر اول نویسندگان تأمین شده است.

تعارض منافع: نویسندگان هیچ گونه تعارض منافی در این پژوهش ندارند.

منابع

خادمی، ا. ر.، عباسی، ف.، جمیلی، ش. ۱۳۷۸. بررسی تاثیر آسکوژن در جیره غذایی بر رشد و بازماندگی قزل‌آلای

- Abtahi, B., Yousefi, M., Kenari, A.A. 2013. Influence of dietary nucleotides supplementation on growth, body composition and fatty acid profile of Beluga sturgeon juveniles (*Huso huso*). *Aquaculture Research* 44: 254-260.
- AOAC., 2019. Official methods of analysis of AOAC International. Latimer, G.W. (Editor) Gaithersburg, Maryland, AOAC International.
- Biswas, S.P. 1993. Manual of methods in fish biology. South Asian Publishers, 113 p.
- Borda, E., Martinez-Puig, D., Cordoba, X. 2003. Well-balanced nucleotide supply makes sense. *Feed Mix* 11: 24-26.
- Bronzi, P., Chebanov, M., Michaels, J. T., Wei, Q. 2019. Sturgeon meat and caviar production: Global update 2017. *Journal of Ichthyology* 35: 257-266.
- Burrells, C., Williams, P.D., Southgate, P.J., Wadsworth, S.L. 2001. Dietary nucleotides: a novel supplement in fish feeds: 2. Effects on vaccination, salt water transfer, growth rate and physiology of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 199: 171-184.
- Cheng, Z., Buentello, A., Gatlin, D.M. 2011. Dietary nucleotides influence immune responses and intestinal morphology of red drum *Sciaenops ocellatus*. *Fish and Shellfish Immunology* 30: 143-147.
- Cristea. V., Dicu, M.D., Dediu, L., Maereanu, M., Coadă, M.T. 2012. The influence of feeding intensity on growth performance of *Acipenser stellatus* (Pallas, 1771) juveniles. *Lucrări Științifice-Seria Zootehnie* 58: 219-224.
- Do Huu, H. 2016. Overview of the application of nucleotide in aquaculture.

- Journal of Coastal Life Medicine 4: 816-823.
- Do Huu, H., Tabrett, S., Hoffmann, K., Koppel, P., Lucas, J.S., Barnes, A.C. 2012. Dietary nucleotides are semi-essential nutrients for optimal growth of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Aquaculture* 366-367: 115-121.
- Fuchs, V.I., Schmidt, J., Slater, M.J., Zentek, J., Buck, B.H., Steinhagen, D. 2015. The effect of supplementation with polysaccharides, nucleotides, acidifiers and *Bacillus* strains in fish meal and soybean-based diets on growth performance in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture* 437: 243-251.
- Glencross, B., Rutherford, N. 2010. Dietary strategies to improve the growth and feed utilization of barramundi, *Lates calcarifer* under high water temperature condition. *Aquaculture Nutrition* 16: 343-350.
- Handeland, S.O., Berge, A., Bjornsson, B.T., Stefansson, S.O. 1998. Effects of temperature and salinity on osmoregulation and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts in seawater. *Aquaculture* 168: 289-302.
- Hossain, M.S., Koshio, S., Ishikawa, M., Yokoyama, S., Maekawa, M., Fujieda, T. 2017. Effects of dietary administration of Inosine on growth, immune response, oxidative stress and gut morphology of juvenile amberjack *Seriola dumerili*. *Aquaculture* 468: 534-544.
- Hossain, M.S., Koshio, S., Ishikawa, M., Yokoyama, S., Sony, N.M., Ono, S., Fujieda, T. 2016. Comparison of the effects of inosine and inosine monophosphate on growth, immune response, stress resistance and gut morphology of juvenile red sea bream, *Pagrus major*. *Aquaculture* 458: 64-74.
- Hossain, M.S., Koshio, S., Kestemont, P. 2020. Recent advances of nucleotide nutrition research in aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture* 12: 1028-1053.
- Hunt, A., Ozkan-Yilmaz, F., Berkoz, M., Engin, K., Gunduz, S.G., Yalin, S. 2016. Effects of dietary nucleotide yeast on immune responses and antioxidant enzyme activities of rainbow trout juveniles (*Oncorhynchus mykiss*). *Israeli Journal of Aquaculture* 68: 1-12.
- Jarmolowicz, S., Zake, Z., Siwicki, A., Terech-Majewska, E., Kowalska, A., Partyka, K. 2013. Immunomodulatory effect of dietary brewer's yeast extract in *Sander lucioperca* juveniles against the challenge of *Aeromonas salmonicida*. *Aquaculture International* 21: 939-945.
- Keyvanshokoo, S., Tahmasebi-Kohyani, A. 2012. Proteome modifications of fingerling rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) muscle as an effect of dietary nucleotides. *Aquaculture* 324-325: 79-84.
- Li, P., Gatlin, D.M., Neill, W.H. 2007. Dietary supplementation of a purified nucleotide mixture transiently enhanced growth and feed utilization of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 38: 281-286.
- Lin, Y.H., Wang, H., Shiau, S.Y. 2009. Dietary nucleotide supplementation enhances growth and immune responses of grouper, *Epinephelus malabaricus*. *Aquaculture Nutrition* 15: 117-122.
- Mai, K., Zhang, L., Ai, Q., Duan, Q., Zhang, C., Li, H., Liufu, Z. 2006. Dietary lysine requirement of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. *Aquaculture* 258: 535-542.
- Murthy, S., Baidya, S., T. D, J., Sonowal, S. 2015. Effect of nucleotide on growth, immune responses and resistance of *Labeo rohita* to *Aeromonas hydrophila* infection. *Journal of Aquaculture and Marine Biology* 2: 183-185.
- Pês, T.S., Saccol, E.M., Ourique, G.M., Londero, É.P., Gressler, L.T., Golombieski, J.I., Glanzner, W.G., Liesuy, S., Goncalves, P.B.D., Neto, J.R., Baldisserotto, B., Pavanato, M.A. 2016. Quercetin in the diet of silver catfish: effects on antioxidant status, blood

- parameters and pituitary hormone expression. *Aquaculture* 458: 100-106.
- Ringo, E., Olsen, R.E., Vecino, J.L., Wadsworth, S., Song, S.K. 2012. Use of immunostimulants and nucleotides in aquaculture: a review. *Journal of Marine Science Research and Development* 2: 1-22.
- Shiau, S.Y., Gabaudan, J., Lin, Y.H. 2015. Dietary nucleotide supplementation enhances immune responses and survival to *Streptococcus iniae* in hybrid tilapia fed diet containing low fish meal. *Aquaculture Reports* 2: 77-81.
- Tahmasebi-Kohyani, A., Keyvanshokoh, S., Nematollahi, A., Mahmoudi, N., Pasha-Zanooshi, H. 2011. Dietary administration of nucleotides to enhance growth, humoral immune responses and disease resistance of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fingerlings. *Fish and Shellfish Immunology* 30: 189-193.
- Xu, L., Ran, C., He, S., Zhang, J., Hu, J., Yang, Y., Du, Z., Yang, Y., Zhou, Z. 2015. Effects of dietary yeast nucleotides on growth, nonspecific immunity, intestine growth and intestinal microbiota of juvenile hybrid tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*. *Animal Nutrition* 1: 244-251.