



University of Guilan with collaboration of Iranian
Aquaculture Society



Aquatic Animals Nutrition

Vol. 11, No. 2, 2025, pages: 71-86
DOI: 10.22124/janb.2025.31290.1297

RESEARCH PAPER

OPEN ACCESS

Effects of selenium yeasts (Selemax, Selenosource and Sel-Plex) on survival, carcass composition and stress resistance in common carp (*Cyprinus carpio*)

Hojatillah Alamdari*, Marzieh Kazemi

Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Khuzestan, Iran

Received 07 April 2025

Revised 18 June 2025

Accepted 21 June 2025

Published online 21 November 2025

KEYWORDS ABSTRACT

Biochemical
analysis
Salinity stress
Survival rate

Introduction: Selenium (Se) has recently received considerable attention in aquatic nutrition. Farmed fish are exposed to various stressors, making nutritional supplements crucial management tools for enhancing stress resistance and optimizing overall health parameters. To reduce the overuse of antibiotics, researches have focused on dietary additives such as selenium to enhance fish health. The incorporation of prebiotics into aquatic diets is an emerging strategy for diseases prevention and enhanced production. Selenium-rich prebiotic yeast combines the benefits of both prebiotic and organic selenium, potentially exerting dual effects. The present study is the first to compare the effects of three selenium yeast types, Selemax, Selenosource and Sel-Plex, on growth performance, carcass composition and stress resistance in common carp.

Materials and Methods: In this study, the effects of seven diets containing 0.3 mg Se from Selemax, 1 mg Se from Selemax, 0.3 mg Se from Selenosource, 1 mg Se from Selenosource, 0.3 mg Se from Sel-Plex, 1 mg Se from Sel-Plex per kg of diet, and a control diet without Se supplementation were investigated in common carp (*Cyprinus carpio*). Each dietary treatment was studied in 2 tanks (replicates) and each tank contained 31 fish with an initial weight of 1.61 ± 0.32 g (mean $\pm$ SD) in a completely randomized design.

Results: No significant differences were observed in fish weight, standard length, and condition factor ($P > 0.05$). Selenium yeast supplementation did not significantly affect survival rate during the rearing period and carcass dry matter, crude protein and crude fat ($P > 0.05$). However, feeding with 0.3 mg of Se in the form of Selenosource significantly reduced the carcass ash percentage ($P < 0.01$). After exposure to high-intensity salinity stress (without aeration), no significant differences in survival time were observed ($P > 0.05$). In contrast, under low-

intensity salinity stress (with aeration) survival time increased significantly in fish fed with 0.3 mg Se in the form of Selemax or Sel-Plex ($P<0.05$).

Discussion: The insignificant difference in the survival rate of the fish indicated suitable rearing conditions. The effect of selenium yeast on the fish growth in different studies is somewhat contradictory and depends on the composition of the feed, experimental conditions, form and concentration of selenium and the health, species and life stage of the fish. While higher levels of selenium yeast will lead to significant differences in the growth of common carp but based on the new standard, selenium consumption is limited and high selenium concentration in the feed causes its accumulation in the environment and environmental problems. Selenium influences lipid, carbohydrate and amino acid metabolism in aquatic animals, but many studies have shown that selenium supplementation has no effect on the proximate analysis of fish. However, in some studies the effect of selenium on the amounts of protein and ash in the carcass has been proven. It seems that the difference in the formula of the diets is an important factor in observing different results even in the same species, since selenium is absorbed more effectively in the presence of other compounds such as vitamins E, D and A. In addition, proteins and fats also affect the bioavailability of selenium. Numerous studies in fish have shown that dietary selenium supplementation can mitigate oxidative stress caused by stressful conditions, however, the type of stressor influences outcomes even within the same species. Despite the beneficial effects of dietary selenium on fish, it has been reported that high dietary intake can lead to a decrease in antioxidant capacity, and this may be why in the present study, fish receiving 0.3 mg Se in the form of Selemax or Sel-Plex performed better than fish fed 1 mg of these types of selenium. Overall, the mechanism by which high selenium intake impairs the antioxidant system in aquatic animals remains unclear.

Conclusion: This study highlights the importance of dietary selenium supplementation for fish health and welfare. Although fish fed the unsupplemented control diet exhibited good growth and a high survival rate compared to the other fish, the basal selenium level was insufficient confer protection against stress. Dietary selenium supplementation enhanced stress resistance. Overall, the use of Selenosource selenium yeast in the diet of common carp was not beneficial but the application of selenium yeast with the brands Selemax or Sel-Plex at a level of 0.3 mg per kg of diet is recommended to increase resistance against stress.

*Corresponding author: alamdari@bkatu.ac.ir; alamdari671@yahoo.com





"مقاله پژوهشی"

اثرات سلنیوم‌های مخمری (سلمکس، سلنوسورس و سلپلکس) بر زنده‌مانی، ترکیب لاشه و مقاومت به استرس در
کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)

حجت اله علمداری*، مرضیه کاظمی

گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء (ص) بهبهان، بهبهان، خوزستان

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸

کلمات کلیدی

چکیده

تجزیه و تحلیل
بیوشیمیایی
تنش شوری
نرخ زنده‌مانی

اخیراً به سلنیوم (Se) در تغذیه آبزیان به‌طور قابل ملاحظه‌ای توجه شده است. در این تحقیق، اثرات هفت نوع جیره غذایی شامل ۱- ۰/۳ میلی گرم سلنیوم سلمکس، ۲- ۱ میلی گرم سلنیوم سلمکس، ۳- ۰/۳ میلی گرم سلنیوم سلنوسورس، ۴- ۱ میلی گرم سلنیوم سلنوسورس، ۵- ۰/۳ میلی گرم سلنیوم سلپلکس، ۶- ۱ میلی گرم سلنیوم سلپلکس در هر کیلوگرم غذا و ۷- شاهد فاقد مکمل سلنیومی در کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) مطالعه شد. پرورش در قالب طرح کاملاً تصادفی و با دو تکرار برای هر تیمار، به مدت ۵۲ روز در مخازن گرد ۲۵۰ لیتری و هر مخزن با تراکم ۳۱ قطعه ماهی به وزن آغازین 0.32 ± 0.16 گرم (میانگین $\pm$ انحراف معیار) انجام شد. تفاوت معنی‌داری از لحاظ وزن ماهی‌ها، درازای استاندارد و ضریب چاقی مشاهده نشد ($P > 0.05$). سلنیوم مخمری اثر معنی‌داری بر نرخ زنده‌مانی طی دوره پرورش و میزان ماده خشک، پروتئین خام و چربی خام لاشه نداشت ($P > 0.05$)، اما تغذیه با ۰/۳ میلی گرم سلنیوم به صورت سلنوسورس سبب کاهش معنی‌دار درصد خاکستر لاشه شد ($P < 0.01$). پس از مواجهه با استرس شوری و قطع هوادهی (استرس شدید)، تفاوت معنی‌داری از لحاظ مدت زنده ماندن ماهیان (دامنه ۱۴۹ تا ۱۸۲ دقیقه) مشاهده نشد ($P > 0.05$)، اما بعد از مواجهه با استرس شوری همراه با هوادهی (استرس با شدت کمتر)، در تیمارهای تغذیه شده با ۰/۳ میلی گرم سلنیوم به صورت سلمکس یا سلپلکس، افزایش معنی‌دار مدت زنده ماندن (به ترتیب برابر با ۲۳۹ و ۲۴۵ دقیقه در مقایسه با ۲۰۸ دقیقه در تیمار شاهد) مشاهده شد ($P < 0.05$). در مجموع، استفاده از سلنوسورس در جیره کپور معمولی مفید نبوده و مصرف سلمکس یا سلپلکس در سطح ۰/۳ میلی گرم سلنیوم در هر کیلوگرم جیره برای افزایش مقاومت در برابر استرس توصیه می‌شود.

مقدمه

مصرف سرانه جهانی ماهی از ۹ کیلوگرم در دهه ۱۹۶۰ به ۲۰ کیلوگرم در سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است که یکی از نتایج آن کاهش ذخایر ماهی در آب‌های طبیعی است. برای پاسخگویی به این نیاز بالا، توجه به پرورش ماهی و روش‌های پرورش متراکم آن معطوف شده است (FAO, 2020). ماهیان پرورشی در معرض انواع مختلفی از استرس از جمله رقم‌بندی، حمل و نقل و افزایش تراکم پرورش ماهی هستند. این تنش‌ها، ماهیان را در معرض خطرات مختلف قرار می‌دهند و به همین دلیل محققان متوسل به استفاده از برخی افزودنی‌های غذایی می‌شوند (Hassan and Mohammad, 2023). در واقع مکمل‌های غذایی، ابزار مدیریتی تعیین‌کننده‌ای برای تقویت مقاومت ماهیان پرورشی و بهینه‌سازی شاخص‌های عمومی سلامت ماهی هستند (Moustafa et al. 2024). به منظور پیشگیری از مصرف بیش از حد آنتی‌بیوتیک‌ها، تحقیقات بر روی استفاده از افزودنی‌های غذایی مانند دارچین و پروبیوتیک‌ها (Mohammad, 2021)، پودر سیر (Mohammad, 2020)، عناصر کمیاب مانند سلنیوم به شکل‌های آلی و غیرآلی (Wangkahart et al. 2022) و ضداکسایش‌ها (El-Sayed and Izquierdo, 2022) برای افزایش سلامت ماهی متمرکز شده است.

سلنیوم یک ریزمغذی ضروری مورد نیاز برای رشد طبیعی و حفاظت ضداکسایشی است. ثابت شده است که تنش اکسیداتیو ایجاد شده در اثر شرایط پرتنش با مصرف مکمل سلنیومی در غذا کاهش می‌یابد (Fontagne-Dicharry et al. 2020). سلنیوم به‌عنوان یک ماده طبیعی پیشگیری‌کننده از بروز بیماری، قادر به افزایش پایداری آبی‌پروری از طریق توسعه سلامت ماهی است. این عنصر در ساختار اسید آمینه وارد شده و منجر به تشکیل سلنوسیتئین می‌شود. سلنوسیتئین یک جزء ساختمانی از پروتئین‌های ضروری فیزیولوژیک چندکاره موسوم به سلنوپروتئین‌هاست. این ماکرومولکول‌ها برای حفاظت از DNA، دیگر پروتئین‌ها و چربی‌ها در برابر حمله اشکال اکسیژنی فعال که در حین سوخت و ساز طبیعی انسان و جانوران تولید می‌شوند، ضروری هستند (Farzad et al. 2021). انواع مختلفی از سلنیوم

غیرآلی (سلنیت سدیم و سلنات سدیم) یا اشکال سلنیوم آلی (سلنومتیونین، سلنوسیتئین و مخمر سلنیومی) در ماهیان مطالعه شده و مشخص شده است که از لحاظ دسترسی زیستی و آستانه سمیت با هم متفاوت بوده و اشکال آلی سلنیوم در مقایسه با سلنیوم غیرآلی، بیشتر قابل دسترس بوده و توانایی بیشتری در افزایش مقدار سلنیوم در ماهی دارند (Antony Jesu Prabhu et al. 2020).

استفاده از پری بیوتیک‌ها به‌عنوان افزودنی در خوراک آبزیان، رویکردی نوظهور برای پیشگیری از بیماری‌ها و افزایش تولید ماهی است (Farzad et al. 2021). پری‌بیوتیک‌ها به عنوان دسته‌ای از مواد اولیه غذایی تعریف شده‌اند که توسط میزبان هضم نمی‌شوند، اما توسط جامعه میکروبی موجود در روده قابل تخمیر بوده و به نوبه خود سبب تغییر در ترکیب و یا فعالیت جامعه میکروبی لوله گوارش می‌شوند. پری بیوتیک‌ها به‌طور انتخابی قادر به افزایش تکثیر و یا فعالیت باکتری‌های مفید بوده و در نتیجه سبب افزایش سلامت میزبان می‌شوند. یک مخمر پری بیوتیکی (با دیواره غیرفعال) غنی از سلنیوم، مجموعه‌ای از مزایای یک پری بیوتیک و مزایای سلنیوم آلی را دارد و بنابراین، می‌تواند اثرات دوگانه همزمانی را از خود نشان دهد (Farzad et al. 2021).

سلنیوم آلی مشتق از مخمر، تامین‌کننده قابل ملاحظه سلنیوم برای ویژگی‌های ضداکسایشی است (Moustafa et al. 2024). امروزه حداقل سه نوع سلنیوم مخمري با اسامی تجاری سلمکس، سلنوسورس و سلپلکس در دسترس است. هر سه سلنیوم مخمري مذکور، در واقع مخمر نانوائی (*Saccharomyces cerevisiae*) خشک و غیر فعال شده، اما غنی از سلنیوم هستند (EFSA, 2011a,b; EFSA, 2012).

کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) یکی از مهمترین گونه‌های ماهیان پرورشی در ایران و جهان است، اما در مقایسه با دیگر گونه‌های ماهی، مطالعات کمی در مورد اثرات سلنیوم بر روی این گونه انجام شده است (Mustafa and Omar, 2024). بررسی پاسخ ماهی کپور معمولی به تنش شوری به منظور تعیین میزان مقاومت و سلامت این ماهی، توسط محققان مختلف انجام شده است (Jelkic et al. 2014; Roohi et al. 2017; Talebian Nik and

Alamdari, 2020). تحقیق حاضر به عنوان اولین تلاش برای مقایسه اثرات سه نوع سلنیوم مخمری سلمکس، سلنوسورس و سلپلکس بر عملکرد رشد، ترکیب لاشه و مقاومت به استرس در کپور معمولی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

ساخت غذا

جدول ۱ فرمول جیره غذایی پایه بر اساس ماده خشک

Table 1 Formulation of basal diet (DM%)

Feed ingredients	Percentage in diet
Wheat starch	7.00
Wheat flour	27.00
Canola meal	25.00
Soybean meal	15.00
Fish meal	20.00
Soybean oil	2.58
Lysine	0.41
Methionine	0.41
Vitamin premix ¹	0.25
Mineral premix ²	0.25
Cholin chloride	0.10
Dicalcium phosphate	2.00

¹ Vitamin premix (per 0.5 kg of premix): vitamin A, 1,600,000 IU; vitamin D3, 800,000 IU; vitamin E, 40,000 mg; thiamine, 200 mg; riboflavin, 2,800 mg; niacin, 11,200 mg; pantothenic acid, 12,000 mg; pyridoxine, 2,400 mg; folic acid, 1,200 mg; biotin, 400 mg; inositol, 176,000 mg; vitamin C, 40,000 mg; vitamin K₃, 9,600 mg; cyanocobalamin 4 mg; butylhydroxytoluene 2,000 mg.

² Mineral premix (mg/0.5 kg of premix): iron, 60,000; zinc, 6,000; cobalt, 40; copper, 1,200; manganese, 5,200; iodine, 400.

پرورش ماهی

ماهیان در کیسه‌های نایلونی حاوی اکسیژن در فصل تابستان از مرکز تکثیر خصوصی در شهرستان دزفول به سالن پرورش در شهرستان بهبهان منتقل شدند. پرورش در سالن با ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی (Saffari et al. 2016) در مخازن گرد پلاستیکی ۳۰۰ لیتری با حجم مفید ۲۵۰ لیتر به مدت ۵۲ روز انجام شد. سازگاری با شرایط سالن به مدت یک هفته و با مصرف غذای تجاری کپور انجام شد. آزمایش با ۷ تیمار غذایی، هر تیمار با ۲ مخزن (تکرار) و هر مخزن با ۳۱ عدد ماهی کپور معمولی به وزن آغازین (میانگین $\pm$ انحراف معیار) $0.32 \pm 1/61$ گرم در قلب طرح

از سه نوع مخمر سلنیومی سلمکس، سلنوسورس و سلپلکس هر کدام در دو سطح ۰/۳ و ۱ میلی گرم سلنیوم به ازای هر کیلوگرم جیره غذایی پایه استفاده شد (جدول ۲).

پس از مخلوط کردن مواد اولیه غذایی و تهیه خمیر، ۷ نوع جیره غذایی با استفاده از چرخ گوشت با قطر حدیده ۲ میلی-متر ساخته شد. غذاهای ساخته شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک، و سپس خرد شد. در هر تیمار از دانه‌های غذایی با اندازه ۰/۵ تا ۱ و ۱ تا ۲ میلی‌متر در طی دوره پرورش و به ترتیب با افزایش جثه ماهیان استفاده شد. ترکیب بیوشیمیایی اقلام و جیره‌های غذایی ساخته شده در جدول ۳ ارائه شده است.

محلول روزی یکبار و پی اچ و شوری هفته‌ای یکبار در کلیه مخازن اندازه‌گیری شد. این مقادیر طی دوره پرورش در مخازن مختلف تقریباً برابر بود (جدول ۴).

کاملاً تصادفی انجام شد. ماهیان روزانه در ساعات ۹، ۱۴ و ۱۹ تا حد سیری (Talebian Nik and Alamdari, 2020) غذادهی شدند. ۲۰ دقیقه پس از هر بار غذادهی، مخازن پرورش ماهی سیفون می‌شد. تعویض آب به میزان حدود ۳۰٪ و هر ۲-۳ روز یکبار (Talebian Nik and Alamdari, 2020) انجام شد. مقادیر دما و اکسیژن

جدول ۲ خلاصه توصیفی از جیره‌های غذایی بر اساس نوع و مقدار سلنیوم (میلی گرم سلنیوم در کیلوگرم خوراک)

Table 2 Descriptive summary of diets based on the type and amount of selenium (mg Se/kg diet)

Diet	Selemax Se	Selenosource Se	Sel-Plex Se	Total Se (mg/kg)*
1	0.3	-	-	0.39
2	1	-	-	1.09
3	-	0.3	-	0.39
4	-	1	-	1.09
5	-	-	0.3	0.39
6	-	-	1	1.09
Control	-	-	-	0.09

* مقدار سلنیوم اندازه‌گیری شده در جیره غذایی شاهد و محاسبه شده در جیره‌های غذایی آزمایشی

* The amount of selenium measured in the control diet and calculated in the experimental diets

جدول ۳ ترکیب بیوشیمیایی اقلام و جیره‌های غذایی براساس ماده خشک (میانگین $\pm$ انحراف معیار)Table 3 Biochemical composition of ingredients and diets as DM basis (mean $\pm$ SE)

	Crude protein (%)	Crude fat (%)	Ash (%)	Carbohydrate (%)	Gross energy (kJ/g)
					Feed ingredients
Wheat starch	3.71 $\pm$ 0.05	0.5 $\pm$ 0.02	0.29 $\pm$ 0.01	95.5	17.5
Wheat flour	41.32 $\pm$ 0.30	1.1 $\pm$ 0.03	0.68 $\pm$ 0.03	83.9	18.24
Canola meal	42.1 $\pm$ 0.23	0.73 $\pm$ 0.1	8.77 $\pm$ 0.17	48.4	18.54
Soybean meal	51.25 $\pm$ 0.46	1.05 $\pm$ 0.06	6.7 $\pm$ 0.05	40.9	19.58
Fish meal	72.64 $\pm$ 0.57	10.40 $\pm$ 0.04	9.46 $\pm$ 0.01	7.5	22.56
Diets					
1	36.04 $\pm$ 0.15	4.72 $\pm$ 0.08	7.16 $\pm$ 0.11	52.08	19.33
2	36.14 $\pm$ 0.09	5.03 $\pm$ 0.02	6.96 $\pm$ 0.02	51.86	19.44
3	36.18 $\pm$ 0.06	4.68 $\pm$ 0.03	7.19 $\pm$ 0.04	51.94	19.32
4	36.2 $\pm$ 0.05	4.87 $\pm$ 0.25	7.36 $\pm$ 0.02	51.56	19.34
5	36.12 $\pm$ 0.12	5.48 $\pm$ 0.28	7.27 $\pm$ 0.00	51.12	19.48
6	35.83 $\pm$ 0.16	5.21 $\pm$ 0.00	7.14 $\pm$ 0.04	51.82	19.43
Control	36.92 $\pm$ 0.19	5.24 $\pm$ 0.01	7.15 $\pm$ 0.01	50.68	19.50

جدول ۴ شاخص‌های فیزیکیوشیمیایی آب طی دوره پرورش ماهی در تیمارهای مختلف (میانگین $\pm$ انحراف معیار)Table 4 Physicochemical parameters of water during fish culture period in different treatments (mean $\pm$ SE)

Treatment	Temperature (°C)	DO (mg/L)	Salinity (g/L)	pH
1	24.9 $\pm$ 0.0	7.5 $\pm$ 0.0	2.0 $\pm$ 0.1	7.5 $\pm$ 0.1
2	25.1 $\pm$ 0.0	7.4 $\pm$ 0.0	2.0 $\pm$ 0.1	7.8 $\pm$ 0.0
3	24.8 $\pm$ 0.0	7.6 $\pm$ 0.0	2.1 $\pm$ 0.1	7.7 $\pm$ 0.1
4	24.7 $\pm$ 0.0	7.5 $\pm$ 0.0	2.2 $\pm$ 0.1	7.8 $\pm$ 0.1
5	24.4 $\pm$ 0.0	7.6 $\pm$ 0.0	1.9 $\pm$ 0.1	7.7 $\pm$ 0.0
6	25.4 $\pm$ 0.0	7.4 $\pm$ 0.0	2.0 $\pm$ 0.1	7.9 $\pm$ 0.0
Control	25.1 $\pm$ 0.0	7.4 $\pm$ 0.0	2.0 $\pm$ 0.1	7.4 $\pm$ 0.1

نمونه‌برداری و روش‌های سنجش

وزن تمام ماهی‌ها در ابتدا و انتهای دوره و بعد از ۲، ۴ و ۶ هفته و درازای استاندارد آنها در انتهای دوره پرورش اندازه‌گیری شد. شاخص ضریب چاقی (Condition

factor) طبق Torrecillas و همکاران (۲۰۲۱) و نرخ زنده‌مانی مطابق Mazurkiewicz (۲۰۰۹) و براساس روابط زیر محاسبه شد:

$$100 \times (\text{مکعب طول ماهی بر حسب سانتی‌متر} / \text{وزن ماهی بر حسب گرم}) = \text{ضریب چاقی}$$

$$100 \times (\text{تعداد اولیه ماهیان} / \text{تعداد ماهیان در پایان دوره}) = \text{نرخ زنده مانی (درصد)}$$

شد. این آزمون‌ها پس از مرور منابع علمی (Jelkic et al. 2014; Roohi et al. 2017; Talebian Nik ey al. 2020) و انجام آزمایش‌های اولیه بر روی ماهیانی خارج از تیمارهای آزمایشی انتخاب شدند. یک گروه ۱۰ تایی ماهی از هر مخزن برای هر آزمون استرس شوری به‌طور تصادفی انتخاب شد. در آزمون اول، ۱۰ عدد ماهی به‌طور ناگهانی به ظرفی حاوی ۲ لیتر آب با شوری ۱۸ گرم در لیتر و بدون هوادهی انتقال داده شدند. در آزمون دوم، ۱۰ عدد ماهی به‌طور ناگهانی به ظرفی حاوی ۱۴ لیتر آب با شوری ۱۸ گرم در لیتر و همراه با هوادهی منتقل شدند. ماهیان مرده حذف می‌شد و تعداد رخداد مرگ در هر دقیقه و تا سقف زمانی ۵ ساعت ثبت می‌شد. از تعداد ماهیان زنده پس از ۵ ساعت استرس، برای محاسبه درصد زنده‌ماندن بعد از استرس استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

در طرح کاملاً تصادفی کلیه محاسبات با استفاده از نرم افزار SPSS نگارش ۱۶ و Excel نسخه ۲۰۱۳ انجام شد. کنترل نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، کنترل همگنی واریانس‌ها با آزمون لون و مقایسه متغیرهای مورد مطالعه با آزمون تجزیه واریانس یک طرفه انجام شد. پس از مواجهه با استرس شوری، رسم منحنی‌های زنده‌مانی با آزمون کاپلان-میر (Kaplan-Meier) و مقایسه بین مدت زنده‌مانی ماهیان تغذیه شده با جیره‌های غذایی مختلف با استفاده از آزمون لوگ رنک (Log Rank) انجام شد.

نتایج

عملکرد رشد

سنجش بیوشیمیایی مواد اولیه غذایی، جیره‌های غذایی ساخته شده و لاشه ماهیان در پایان دوره پرورش از طریق روش‌های استاندارد (AOAC, 2000) تعیین شد. به طور خلاصه، میزان ماده خشک در آون در دمای ۶۵ درجه سانتی-گراد به مدت ۴۸ ساعت تعیین شد. پروتئین خام به روش کلدال و از حاصل ضرب میزان نیتروژن در عدد ۶/۲۵ به دست آمد. چربی خام با عصاره‌گیری به روش سوکسله و با کاربرد پترولیوم اثر تعیین شد. خاکستر با قرار دادن نمونه‌ها در کوره به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. کربوهیدرات بر اساس مقادیر میانگین پروتئین خام، چربی خام و خاکستر در اقلام و جیره‌های غذایی محاسبه شد. انرژی خام بر اساس ضرایب ۱۷/۲، ۲۳/۶ و ۳۹/۵ کیلو ژول در گرم به ترتیب برای کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و چربی‌ها محاسبه شد (NRC, 2011). برای اندازه‌گیری میزان سلیوم در جیره غذایی شاهد (پایه)، مقدار ۰/۵ گرم غذا در آون میکروویو با ۸ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵٪ و ۱/۵ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۳۰٪ هضم شد و سپس بر روی کاغذ صافی به درون فلاسک ۲۵ میلی‌لیتری فیلتر شد. فلاسک با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. مقدار سلیوم در دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Elia et al. 2011). سنجش بیوشیمیایی مواد اولیه و جیره‌های غذایی ساخته شده با ۳ بار تکرار و سنجش بیوشیمیایی لاشه ماهیان با ۴ بار تکرار انجام شد.

آزمون استرس

در پایان دوره پرورش، از دو آزمون الف-استرس شوری و قطع هوادهی در تراکم بالا و ب-استرس شوری همراه با هوادهی در تراکم پایین برای سنجش میزان مقاومت ماهیان استفاده

وزن تمام ماهی‌ها در ابتدا و انتهای دوره و بعد از ۲، ۴ و ۶ هفته و درازای استاندارد آنها در انتهای دوره پرورش اندازه‌گیری شد. همانطور که در جدول ۵ نشان داده شده است، تفاوت معنی‌داری از لحاظ وزن ماهی‌ها در زمان‌های مختلف

اندازه‌گیری، درازای استاندارد ماهی‌ها و ضریب چاقی آنها در پایان دوره پرورش مشاهده نشد ($P>0.05$).

جدول ۵ عملکرد رشد ماهیان در تیمارهای مختلف (میانگین $\pm$ خطای استاندارد)Table 5 Growth performance of fish in different treatments (mean $\pm$ SE, n=62)

Treatment	IW (g)	W2 (g)	W4 (g)	W6 (g)	FW (g)	SL (cm)	CF
1	1.42 $\pm$ 0.1	2.41 $\pm$ 0.34	4.94 $\pm$ 0.32	5.12 $\pm$ 0.67	5.38 $\pm$ 0.77	5.5 $\pm$ 0.1	3.2 $\pm$ 0.29
2	1.6 $\pm$ 0.06	2.24 $\pm$ 0.07	4.34 $\pm$ 0.35	5.08 $\pm$ 1.26	6 $\pm$ 0.5	5.6 $\pm$ 0.7	3.21 $\pm$ 0.84
3	1.23 $\pm$ 0.13	2.95 $\pm$ 0.33	3.54 $\pm$ 0.36	4.97 $\pm$ 0.43	5.26 $\pm$ 0.37	5.8 $\pm$ 0.2	2.46 $\pm$ 0.15
4	1.67 $\pm$ 0.06	2.49 $\pm$ 0.12	3.81 $\pm$ 0.36	5.38 $\pm$ 0.65	6.23 $\pm$ 0.86	6.2 $\pm$ 0.3	3.01 $\pm$ 0.81
5	1.6 $\pm$ 0.11	2.43 $\pm$ 0.13	3.68 $\pm$ 0.15	4.34 $\pm$ 0.58	3.78 $\pm$ 0.17	5.8 $\pm$ 0.2	2.04 $\pm$ 0.24
6	1.65 $\pm$ 0.17	2.12 $\pm$ 0.22	3.71 $\pm$ 0.56	5.01 $\pm$ 1.08	5.63 $\pm$ 0.64	6.1 $\pm$ 0.2	2.52 $\pm$ 0.39
Control	1.47 $\pm$ 0.19	2.72 $\pm$ 0.13	4.15 $\pm$ 0.53	5.72 $\pm$ 0.81	6.05 $\pm$ 0.43	6 $\pm$ 0.3	2.87 $\pm$ 0.43

No significant differences were observed in different growth parameters ($P>0.05$).

($P>0.05$) اما تغذیه با ۰/۳ میلی گرم سلنوسورس در هر کیلوگرم جیره غذایی (تیمار ۳) سبب کاهش معنی‌دار درصد خاکستر لاشه شد ($P<0.01$).

ترکیب لاشه و نرخ زنده‌مانی

نتایج مربوط به سنجش بیوشیمیایی لاشه و نرخ زنده‌مانی ماهی‌ها در پایان دوره پرورش در جدول ۶ آورده شده است. انواع سلتیوم مخمری اثر معنی‌داری بر نرخ زنده‌مانی و میزان ماده خشک، پروتئین خام و چربی خام لاشه نداشتند

جدول ۶ ترکیب لاشه و نرخ زنده‌مانی ماهی‌ها در تیمارهای مختلف (میانگین $\pm$ خطای استاندارد)Table 6 Carcass composition and survival rate of carps in different treatments (mean $\pm$ SE, n=4)

Treatment	Dry matter (%)	Crude protein (%)	Crude fat (%)	Ash (%)	Survival rate (%)
1	26.82 $\pm$ 0.43	15.11 $\pm$ 0.07	8.61 $\pm$ 0.24	2.35 $\pm$ 0.05 ^a	98 $\pm$ 2
2	26.58 $\pm$ 0.77	15.05 $\pm$ 0.28	8.80 $\pm$ 0.35	2.29 $\pm$ 0.03 ^{bc}	98 $\pm$ 2
3	26.15 $\pm$ 0.04	14.67 $\pm$ 0.24	7.83 $\pm$ 0.07	2.2 $\pm$ 0.02 ^{bc}	100
4	26.25 $\pm$ 0.49	15.06 $\pm$ 0.13	8 $\pm$ 0.38	2.22 $\pm$ 0.04 ^{bc}	100
5	26.69 $\pm$ 0.38	15.46 $\pm$ 0.10	8.28 $\pm$ 0.31	2.15 $\pm$ 0.04 ^c	100
6	26.82 $\pm$ 0.15	15.29 $\pm$ 0.07	8.67 $\pm$ 0.22	2.26 $\pm$ 0.02 ^b	98 $\pm$ 2
Control	27.5 $\pm$ 0.71	15.36 $\pm$ 0.20	9.14 $\pm$ 0.29	2.34 $\pm$ 0.01 ^a	100

Different letters indicate a significant difference ($P<0.01$).

شاهد منجر به افزایش معنی‌دار مدت زنده ماندن پس از مواجهه با استرس شوری همراه با هوادهی شدند ($P<0.05$) اما تیمارهای تغذیه شده با سلنوسورس (تیمارهای ۳ و ۴) تفاوت معنی‌داری از لحاظ مدت زنده ماندن در مقایسه با شاهد نداشتند ($P>0.05$).

پاسخ به استرس

همانطور که در جدول ۷ ارائه شده است، تفاوت معنی‌داری از لحاظ مدت زنده ماندن ماهیان تیمارهای مختلف پس از مواجهه با استرس شوری و قطع هوادهی مشاهده نشد ($P>0.05$). تیمارهای تغذیه شده با ۰/۳ میلی گرم سلتیوم به صورت سلمکس یا سلپلکس (تیمارهای ۱ و ۵) در مقایسه با

جدول ۷ مدت و درصد زنده ماندن ماهیان تیمارهای مختلف پس از مواجهه با استرس شوری (میانگین $\pm$ خطای استاندارد)
Table 7 Survival time and percent of fish in different treatments after exposure to salinity stress
(mean $\pm$ SE, n=20)

Treatment	Salinity stress without aeration minutes (%)	Salinity stress with aeration minutes (%)
1	149 $\pm$ 18 (17)	239 $\pm$ 11 (21) ^a
2	171 $\pm$ 16 (5)	196 $\pm$ 9 (5) ^b
3	171 $\pm$ 13 (5)	203 $\pm$ 7 (0) ^b
4	153 $\pm$ 14 (10)	221 $\pm$ 11 (15) ^{ab}
5	166 $\pm$ 15 (10)	245 $\pm$ 11 (20) ^a
6	182 $\pm$ 12 (5)	186 $\pm$ 12 (5) ^b
Control	175 $\pm$ 14 (0)	208 $\pm$ 7 (0) ^b

Different letters indicate a significant difference ($P < 0.05$).

بحث

در سامانه آبی پروری متراکم، ماهیان اساساً سلیونیوم را از خوراک به دست می آورند. دانستن سطح بهینه سلیونیوم در جیره غذایی برای سلامت و عملکرد بهینه فرآیندهای بیولوژیک در ماهی مانند رشد، تولید مثل و ایمنی ضروری است. کمبود سلیونیوم سبب اختلال در رشد اندامها، کاهش کارکردهای ایمنی و القای استرس اکسیداتیو در کبد شده و عامل بسیاری از بیماری های التهابی است (Li et al. 2023).
 زیادی سلیونیوم هم برای ماهی سمی است و در مقادیر بالاتر موجب تأخیر در رشد، کاهش زنده ماندن، ناهنجاری ها و عملکرد ضعیف می شود. البته اثرات مضر آن بستگی به میزان تحمل گونه های ماهیان دارد (Sumana et al. 2023).
 تحقیق حاضر تفاوت معنی داری از لحاظ نرخ زنده ماندن و عملکرد رشد (وزن، درازا و ضریب چاقی) بین ماهیان تیمارهای مختلف مشاهده نشد. عدم وقوع تفاوت معنی دار در نرخ زنده ماندن ماهیان بیانگر مناسب بودن شرایط زیست برای آن ها بوده است (Hassan and Mohammad, 2023).
 نتایج تحقیقات قبلی در مورد اثر سلیونیوم مخمری بر رشد ماهیان تاحدودی متناقض است. در واقع اثر مثبت سلیونیوم بر گونه های مختلف ماهی به سلامت، اندازه و گونه ماهی، ترکیب خوراک، شرایط آزمایش (Yu et al. 2022)، شکل و غلظت سلیونیوم، گونه و مرحله زندگی ماهی (Farzad et al. 2021) بستگی دارد.

در تحقیقی مخمر غنی از سلیونیوم به میزان ۰/۳ میلی گرم سلیونیوم در کیلوگرم خوراک، به جیره غذایی آلاین قزل آلائی رنگین کمان (وزن آغازین ۹۱ میلی گرم) که حاوی ۰/۵ یا ۱/۲

میلی گرم سلیونیوم در هر کیلوگرم جیره پایه بود، افزوده شد. رشد و زنده ماندن آلاین ها به طور معنی دار تحت تأثیر سلیونیوم غذایی قرار نگرفت (Fontagne-Dicharry et al. 2015).
 افزودن ۰/۳ میلی گرم سلیونیوم به فرم مخمر غنی از سلیونیوم به جیره غذایی قزل آلائی رنگین کمان جوان (با وزن آغازین ۴۲ گرم) که حاوی ۰/۵ میلی گرم سلیونیوم در هر کیلوگرم جیره پایه بود، هم اثر معنی داری بر عملکرد رشد نداشت (Fontagne-Dicharry et al. 2020).
 در پژوهشی از مخمر *Schizosaccharomyces pombe* غنی از سلیونیوم به میزان صفر، ۰/۵ یا ۱٪ در جیره قزل آلائی رنگین کمان استفاده شد. تفاوت معنی داری از لحاظ ضریب چاقی یا نرخ زنده ماندن ماهی مشاهده نشد (Farzad et al. 2021).
 تحقیقی استفاده از مخمر غنی از سلنومیتینین هیچ اثری بر رشد قزل آلائی رنگین کمان نداشت، اما افزودن مکمل به جیره غذایی این ماهی به میزان ۳ میلی گرم در کیلوگرم سلیونیوم به فرم سلنومیتینین سبب افزایش معنی دار رشد این ماهی شد (Pacitti et al. 2016).

در پژوهشی از سلیونیوم آلی سلپلکس به میزان صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی گرم سلیونیوم در کیلوگرم غذا برای تغذیه تیلایپای نیل (*Oreochromis niloticus*) استفاده شد. در تمام جیره های غذایی سلنیت سدیم به میزان ۰/۳ میلی گرم در کیلوگرم وجود داشت. عملکرد رشد به طور قابل ملاحظه ای در گروه های تیمار شده با سلپلکس بهبود یافت و پس از مواجهه ماهیان با عامل بیماری زا (*Aeromonas hydrophila*)، مکمل غذایی سلپلکس به طور موفقیت آمیز سبب کاهش استرس اکسیداتیو شد و توان بالقوه استفاده از این افزودنی پیشگیری

کننده از بیماری به جای آنتی بیوتیک‌ها در پرورش ماهی تیلاپپای نیل مطرح شد. این پژوهش مصرف ۱ تا ۲ میلی‌گرم سلنیوم سلپلکس در کیلوگرم جیره غذایی تیلاپپای نیل به-منظور بهبود نرخ رشد، پاسخ فیزیولوژیک، واکنش ایمنی شناختی و ظرفیت جذب کنندگی^۱ روده را مورد تأیید قرار داد (Moustafa et al. 2024).

در کپور معمولی گزارش شده است که مصرف ۰/۳ میلی-گرم سلنیوم آلی (سلپلکس) در هر کیلوگرم غذا به مدت دو سال اثرات مثبت معنی‌دار بر وزن و ضریب تبدیل غذایی دارد (Ani et al. 2010). در پژوهشی در کارگاه پرورش مداربسته، سلنیوم آلی (سلپلکس) به میزان صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌گرم سلنیوم در کیلوگرم به جیره غذایی پایه ماهی کپور معمولی با وزن آغازین ۲۷ گرم افزوده شد. وزن نهایی بدن به‌طور معنی‌دار در ماهیان تغذیه شده با ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بیشتر بود اما ماهیان تغذیه شده با ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیوم از لحاظ این شاخص تفاوت معنی‌داری با گروه شاهد (فاقد مکمل سلنیومی) نداشتند. نرخ زنده‌مانی در کپورهای تغذیه شده با سطوح مختلف سلپلکس بین ۸۸ تا ۹۲٪ بود و با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند. در این مطالعه اگرچه از پودر ماهی به‌میزان ۲۸٪ در جیره‌های غذایی استفاده شد، اما مقدار سلنیوم در جیره غذایی پایه (شاهد) گزارش نشد و حد بهینه سلپلکس در جیره غذایی کپور معمولی برابر با ۰/۵ تا ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شد (Mustafa and Omar, 2024). در تحقیقی سلنومتیونین به‌میزان ۳ و ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به جیره غذایی کپور معمولی افزوده شد، اما تفاوت معنی‌داری در شاخص‌های رشد به دست نیامد (Wangkahart et al. 2022)، هر چند که سلنومتیونین در مقایسه با سلنیوم مخمری به‌طور نسبی از دسترسی زیستی، قابلیت هضم و امکان تجمع بیشتری در بافت‌های بدن برخوردار است (Mushtaq et al. 2022).

در مجموع، در تحقیق حاضر ممکن است کاربرد سطوح بالاتر سلنیوم مخمری منجر به بروز تفاوت‌های معنی‌دار در رشد کپور معمولی شود، اما باید به این مساله توجه کرد که براساس استاندارد اتحادیه اروپا، بیشینه غلظت مجاز سلنیوم حتی به

شکل آلی در خوراک حیوانات و از جمله ماهیان برابر با ۰/۵ میلی‌گرم سلنیوم در هر کیلوگرم خوراک فرموله است (Antony Jesu Prabhu et al. 2020)، هر چند که انجمن غذا و داروی ایالات متحده آمریکا، گنجاندن سلنیوم آلی تا مقادیر زیاد ۳ تا ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خوراک حیوانات را مجاز می‌داند (Farzad et al. 2021). از طرف دیگر، زیاد بودن سلنیوم در خوراک، سبب انباشته شدن آن در محیط و مشکلات زیست محیطی می‌شود (Antony Jesu Prabhu et al. 2020).

سنجش تقریبی بدن شاخص خوبی از وضعیت فیزیولوژیک ماهی است (Safabakhsh et al. 2020). در پژوهش حاضر، انواع سلنیوم مخمری اثر معنی‌داری بر میزان ماده خشک، پروتئین خام و چربی خام لاشه نداشتند، اما تغذیه با ۰/۳ میلی‌گرم سلنوسورس در هر کیلوگرم جیره غذایی سبب کاهش معنی‌دار درصد خاکستر لاشه شد. یکی از اثرات اصلی کمبود سلنیوم غذایی در ماهی، کاهش رشد و به همراه آن کاهش ساخت پروتئین است (Sumana et al. 2023). بر این اساس، عدم مشاهده تفاوت معنی‌دار در میزان پروتئین لاشه منطبق با عدم مشاهده تفاوت معنی‌دار در عملکرد رشد بوده است. سلنیوم ریزمغذی ضروری برای ماهی است که بر سوخت و ساز چربی، قند و اسید آمینه جانوران آبی مؤثر است (Yoboue et al. 2018) اما در بسیاری از موارد تحقیقات نشان داده که مکمل سلنیومی اثری بر سنجش تقریبی (مقادیر ماده خشک، پروتئین خام، چربی خام و خاکستر) کاراس (*Carassius auratus gibelio*) (Zhou et al. 2009)، شاه ماهی دم زرد (*Seriola lalandi*) (Le and Fotedar, 2014) و کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) (Mushtaq et al. 2022) نداشت. در آزمایشی کپور معمولی با مکمل سلنیومی (سلنومتیونین، سلنیت سدیم و یا نانو ذرات سلنیوم) به میزان ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره تغذیه شد. هر سه نوع مکمل سلنیومی اثر معنی‌داری بر سنجش تقریبی (رطوبت، پروتئین، چربی و خاکستر) لاشه نداشتند (Saffari et al. 2016). در پژوهشی که اخیراً بر روی کپور

¹ absorptive

تراکم جمعیت به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در متر مکعب (Kucukbay et al. 2009) است، اما در صورت ایجاد استرس از طریق افزایش جمعیت تا مقادیر ۸۰ کیلوگرم در متر مکعب (Naderi et al. 2017) یا ۴۲ کیلوگرم در متر مکعب (Fontagne-Dicharry et al. 2020)، این مکمل توانایی پیشگیری از اثرات منفی بر عملکرد رشد و سوخت و ساز ضد اکسایشی را ندارد. بنابراین متفاوت بودن شرایط استرس، بر نتایج مطالعات حتی در یک گونه ماهی نیز مؤثر است. اگرچه سلیوم اثرات مفیدی دارد، اما گزارش‌ها حاکی از آن است که مصرف مقادیر بالای آن می‌تواند منجر به کاهش ظرفیت ضد اکسایشی شود (Sumana et al. 2023) و ممکن است به همین علت در مطالعه حاضر ماهیان دریافت کننده ۰/۳ میلی گرم سلیوم به صورت سلمکس یا سلپلکس، عملکرد بهتری در مقایسه با ماهیان تغذیه شده با ۱ میلی گرم سلیوم به صورت سلمکس یا سلپلکس داشته‌اند. در مجموع، مکانیسم اثر منفی مصرف مقدار زیاد سلیوم بر سیستم ضد اکسایشی جانوران آبی هنوز مشخص نیست (Li et al. 2023).

به‌طور خلاصه، مطالعه حاضر نشان‌دهنده اهمیت مکمل سلیومی جیره در سلامت و مقاومت به استرس در ماهی است. اگرچه ماهیان تغذیه شده با جیره فاقد مکمل سلیومی، رشد خوب و نرخ زنده‌مانی بالایی در مقایسه با دیگر ماهیان داشتند، اما میزان سلیوم در جیره شاهد برای محافظت از ماهی در برابر شرایط پرتنش کافی نبود و مکمل سازی جیره غذایی با سلیوم سبب افزایش مقاومت بدن در برابر استرس شد. در مجموع به نظر می‌رسد استفاده از مخمر سلیوم با برند سلنوسورس در جیره کپور معمولی فاقد مزیت قابل توجهی باشد. در مقابل، کاربرد سلیوم مخمری با نشان‌های تجاری سلمکس یا سلپلکس در سطح ۰/۳ میلی گرم سلیوم در هر کیلوگرم جیره برای افزایش مقاومت در برابر استرس توصیه می‌شود.

منابع

تشکر و قدردانی

معمولی و با افزودن سلیوم مخمری (سلپلکس) به میزان صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی گرم سلیوم به هر کیلوگرم جیره غذایی پایه انجام شد، ماهیان تغذیه شده با ۱ میلی گرم در کیلوگرم سلیوم در مقایسه با شاهد، به‌طور معنی‌دار پروتئین لاشه بیشتری داشتند، اما تیمارهای مختلف سلیومی از لحاظ میزان پروتئین لاشه تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. چربی لاشه در تمام تیمارها مشابه بود و تیمارهای تغذیه شده با سلیوم به‌طور معنی‌دار خاکستر لاشه بیشتری در مقایسه با شاهد داشتند (Mustafa and Omar, 2024). به نظر می‌رسد تفاوت در فرمول جیره‌های غذایی عامل مهمی در مشاهده نتایج متفاوت حتی در یک گونه مشخص است، زیرا سلیوم در حضور دیگر ترکیبات، مانند ویتامین‌های D، E و A به‌طور مؤثرتری جذب می‌شود. علاوه بر این، پروتئین‌ها و چربی‌ها هم بر دسترسی زیستی به سلیوم مؤثرند (Mustafa and Omar, 2024).

افزودن سلیوم به جیره‌های غذایی ماهیان پرورشی برای بهبود شرایط سلامت آن‌ها توصیه شده است. مکمل سلیومی سبب افزایش محافظت از یاخته در برابر استرس اکسیداتیو شده و در ارتقای دفاع ضد اکسایشی موجودات زنده مشارکت دارد (Durigon et al. 2019). در مطالعه حاضر، تفاوت معنی‌داری از لحاظ مدت زنده ماندن ماهیان تیمارهای مختلف پس از مواجهه با استرس شوری و قطع هوادهی مشاهده نشد. تیمارهای تغذیه شده با ۰/۳ میلی گرم سلیوم به صورت سلمکس یا سلپلکس (تیمارهای ۱ و ۵) در مقایسه با شاهد منجر به افزایش معنی‌دار مدت زنده ماندن پس از مواجهه با استرس شوری همراه با هوادهی شدند، اما تیمارهای تغذیه شده با سلنوسورس (تیمارهای ۳ و ۴) مزیتی از این لحاظ در مقایسه با شاهد نداشتند. تحقیقات مختلف در ماهیان نشان داده است که مکمل سلیومی جیره قادر به کاهش تنش اکسیداتیو ایجاد شده در اثر شرایط پرتنش نظیر دستکاری (Rider et al. 2009)، افزایش تراکم جمعیت (Kucukbay et al. 2009)، مصرف روغن اکسید شده (Chen et al. 2013) یا آلودگی به فلزات سنگین (Penglase et al. 2014) است. در قزل‌آلای رنگین‌کمان مطالعات نشان داده است که مکمل سلیومی غذایی قادر به پیشگیری از اثرات منفی تنش فیزیکی مزمن ناشی از افزایش

این پژوهش با حمایت مالی شرکت بهین رشد ساز آراین (برسا) انجام شده است.

- Ani, A.R., Şara, A., Barbu, A., Bentea, M. 2010. Organic selenium (Sel-Plex) and its impact on the indices of growth, consumption and meat quality of carp (*Cyprinus carpio*), the Galitian variety. *Animal Science and Biotechnologies* 43: 1-8.
- Antony Jesu Prabhu, P., Holen, E., Espe, M., Silva, M.S., Holme, M.H., Hamre, K., Waagbø, R. 2020. Dietary Se required to achieve body homeostasis and attenuate pro-inflammatory responses in Atlantic salmon post-smolt exceeds the present EU legal limit. *Aquaculture* 526: 735413. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735413.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. *Official Methods of Analysis* 17th ed., Gaithersburg, M.D, USA, 2200 p.
- Chen, Y.J., Liu, Y.J., Tian, L.X., Niu, J., Liang, G.Y., Yang, H.J., Yuan, Y., Zhang, Y.Q. 2013. Effect of dietary vitamin E and selenium supplementation on growth, body composition, and antioxidant defense mechanism in juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoide*) fed oxidized fish oil. *Fish Physiology and Biochemistry* 39: 593-604. DOI: 10.1007/s10695-012-9722-1.
- Durigon, E.G., Kunz, D.F., Peixoto, N.C., Uczay, J., Lazzari, R. 2019. Diet selenium improves the antioxidant defense system of juveniles Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Brazilian Journal of Biology* 79: 527-532. DOI: 10.1590/1519-6984.187760
- EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP). 2011a. Scientific opinion on safety and efficacy of Sel-Plex® (organic form of selenium produced by *Saccharomyces cerevisiae* CNCM I- 3060) for all species. *EFSA Journal* 9: 2110. DOI: 10.2903/j.efsa.2011.2110.
- EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP). 2011b. Scientific opinion on the safety and efficacy of selenium in the form of organic compounds produced by the selenium-enriched yeast *Saccharomyces cerevisiae* NCYC R645 (SelenoSource AF 2000) for all species. *EFSA Journal* 9: 2279. DOI: 10.2903/j.efsa.2011.2279
- EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP). 2012. Scientific opinion on safety and efficacy of selenium in the form of organic compounds produced by the selenium-enriched yeast *Saccharomyces cerevisiae* NCYC R646 (Selemax 1000/2000) as feed additive for all species. *EFSA Journal* 10: 2778. DOI: 10.2903/j.efsa.2012.2778.
- Elia, A.C., Prearo, M., Pacini, N., Dorrr, A.J.M., Abete, M.C. 2011. Effects of selenium diets on growth, accumulation and antioxidant response in juvenile carp. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74: 166-173. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2010.04.006
- El-Sayed, A. F. M., Izquierdo, M.S. 2022. The importance of vitamin E for farmed fish-A review. *Reviews in Aquaculture* 14: 688-703. DOI: 10.1111/raq.12619.
- FAO. 2020. Food and agriculture organization of the United Nations. Rome, Available at: <http://faostat.fao.org>.
- Farzad, R., Kuhn, D.D., Smith, S.A., O'Keefe, S.F., Hines, I.S., Bushman, T.J., Galagarza, O.A., Stevens, A.M. 2021. Effects of selenium-enriched prebiotic on the growth performance, innate immune response, oxidative enzyme activity and microbiome of rainbow trout

- (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 531: 735980. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735980.
- Fontagné Dicharry, S., Godin, S., Liu, H., Prabhu, P.A.J., Bouyssière, B., Bueno, M., Tacon, P., Médale, F., Kaushik, S.J. 2015. Influence of the forms and levels of dietary selenium on antioxidant status and oxidative stress-related parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. British Journal of Nutrition 113: 1876-1887. DOI: 10.1017/S0007114515001300.
- Fontagné Dicharry, S., Véron, V., Larroquet, L., Godin, S., Wischhusen, P., Aguirre, P., Terrier, F., Richard, N., Bueno, M., Bouyssiere, B., Antony Jesu Prabhu, P., Tacon, P., Kaushik, S.J. 2020. Effect of selenium sources in plant-based diets on antioxidant status and oxidative stress-related parameters in rainbow trout juveniles under chronic stress exposure. Aquaculture 529: 735684. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735684.
- Hassan, M.A., Mohammad, M.A. 2023. The effect of the nutritional value enhancing of the diet provided to common carp *Cyprinus carpio* L. by adding organic selenium and vitamin E on growth parameters and food utilization. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, October 12-16, Chicago, USA. DOI: 10.1088/1755-1315/1158/5/052002.
- Jelkic, D., Opacak, A., Horvat, D., Safner, R. 2014. Common carp fry survival during salinity stress test: Effect of feeding regime-short communication. Veterinarski Arhiv 84: 429-438.
- Kucukbay, F.Z., Yazlak, H., Karaca, I., Sahin, N., Tuzcu, M., Cakmak, M.N., Sahin, K. 2009. The effects of dietary organic or inorganic selenium in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under crowding conditions. Aquaculture Nutrition 15: 569-576. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2008.00624.x.
- Le, K.T., Fotedar, R. 2014. Bioavailability of selenium from different dietary sources in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*). Aquaculture 420-421: 57-62. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2013.10.034
- Li, Z.M., Wang, X.L., Jin, X.M., Huang, J.Q., Wang, L.S. 2023. The effect of selenium on antioxidant system in aquaculture animals. Frontiers in Physiology 14: 1153511. DOI: 10.3389/fphys.2023.1153511.
- Mazurkiewicz, J. 2009. Utilization of domestic plant components in diets for common carp *Cyprinus carpio* L. Archives of Polish Fisheries 17: 5-39. DOI: 10.2478/v10086-009-0001-4
- Mohammad, M.A. 2020. Influence of different levels of garlic *Allium sativum* powder additions on growth promoter and biochemical composition of common carp *Cyprinus carpio* L. Plant Archives 20: 7321-7326.
- Mohammad, M.A. 2021. Effect of adding different levels of cinnamon (*Cinnamomum* sp.) on growth and chemical composition criteria of common carp *Cyprinus carpio* L. Iraqi Journal of Veterinary Sciences 35: 93-98. DOI: 10.33899/ijvs.2020.126362.1308
- Moustafa, E.M., Shukry, M., Zayed, M.M., Farrag, F.A., Abd El-Aziz, W.E., Omar, A.A. 2024. Impact of Sel-Plex dietary supplementation on growth performance, physiological response, oxidative status, and immunity-linked gene expression in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings challenged with *Aeromonas hydrophila*. Open Veterinary Journal 14: 70-89. DOI: 10.5455/OVJ.2024.v14.i1.8
- Mushtaq, M., Fatima, M., Shah, S.Z.H., Khan, N., Naveed, S., Khan, M. 2022. Evaluation of dietary selenium methionine levels and their effects on growth performance, antioxidant status, and meat quality of intensively reared juvenile *Hypophthalmichthys molitrix*. PLoS ONE

- 17: e0274734. DOI: 10.1371/journal.pone.0274734
- Mustafa, I.A., Omar, S.S. 2024. The effects of dietary organic selenium on growth, body composition and hematological parameters of common carp (*Cyprinus carpio*) reared in recirculating aquaculture system. Cellular and Molecular Biology 70: 87-93. DOI: <http://dx.doi.org/10.14715/cmb/2024.70.1.12>
- Naderi, M., Keyvanshokoo, S., Salati, A.P., Ghaedi, A. 2017. Combined or individual effects of dietary vitamin E and selenium nanoparticles on humoral immune status and serum parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under high stocking density. Aquaculture 474: 40-47. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.03.036
- NRC (National Research Council). 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Academy Press, Washington, DC. 399 p.
- Pacitti, D., Lawan, M.M., Feldmann, J., Sweetman, J., Wang, T., Martin, S.A.M., Secombes, C.J. 2016. Impact of selenium supplementation on fish antiviral responses: A whole transcriptomic analysis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed supranutritional levels of Sel-Plex. BMC Genomics 17: 116. DOI: 10.1186/s12864-016-2418-7
- Penglase, S., Hamre, K., Ellinngsen, S. 2014. Selenium and mercury have a synergistic negative effect on fish reproduction. Aquatic Toxicology 149: 16-24. DOI: 10.1016/j.aquatox.2014.01.020
- Rider, S.A., Davies, S.J., Jha, A.N., Fisher, A.A., Knight, J., Sweetman, J.W. 2009. Supra-nutritional dietary intake of selenite and selenium yeast in normal and stressed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Implications on selenium status and health responses. Aquaculture 295: 282-291. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2009.07.003
- Roohi, Z., Imanpoor, M.R., Jafari, V., Taghizadeh, V. 2017. The effect of salinity stress on survival, biochemical and blood parameters in fingerling *Cyprinus carpio* fingerling fed with herbal supplement of *Carum carvi*. Nova Biologica Reperta 4: 47-54. DOI: 10.21859/acadpub.nbr.4.1.48. (In Persian).
- Safabakhsh, M.R., Mohseni, M., Bahri A.H., Mohammadizadeh, F. 2020. Effect of dietary selenium on growth performance, survival rate and biochemical-blood profile of farmed juvenile beluga (*Huso huso*). Iranian Journal of Fisheries Sciences 19: 2077-2088. DOI: 10.22092/ijfs.2018.117845
- Saffari, S., Keyvanshokoo, S., Zakeri, M., Johari, S.A., Pasha-Zanoosi, H. 2016. Effects of different dietary selenium sources (sodium selenite, selenomethionine and nanoselenium) on growth performance, muscle composition, blood enzymes and antioxidant status of common carp (*Cyprinus carpio*). Aquaculture Nutrition 23: 611-617. DOI: 10.1111/anu.12428
- Sumana, S.L., Chen, H., Shui, Y., Zhang, C., Yu, F., Zhu, J., Su, S. 2023. Effect of dietary selenium on the growth and immune systems of fish. Animals 13: 2978. DOI: 10.3390/ani13182978
- Talebian Nik, S.S., Alamdari, H. 2020. Adding Iranian oak acorn (*Quercus brantii*) to the diet of common carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) and its effects on growth performance, carcass composition and resistance to salinity stress. Iranian Scientific Journal of Fisheries 29: 83-91 (In Persian). DOI: 10.22092/ISFJ.2020.121667
- Torrecillas, S., Montero, D., Carvalho, M., Benitez-Santana, T., Izquierdo, M. 2021. Replacement of fish meal by Antarctic krill meal in diets for European sea bass *Dicentrarchus labrax*: Growth performance, feed utilization and liver

- lipid metabolism. *Aquaculture* 545: 737166. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737166
- Wangkahart, E., Bruneel, B., Chantiratikul, A., de Jong, M., Pakdeenarong, N., Subramani, P.A. 2022. Optimum dietary sources and levels of selenium improve growth, antioxidant status, and disease resistance: re-evaluation in a farmed fish species, Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish and Shellfish Immunology* 121: 172-182. DOI: 10.1016/j.fsi.2021.12.003
- Yoboue, E.D., Sitia, R., Simmen, T. 2018. Redox crosstalk at endoplasmic reticulum (ER) membrane contact sites (MCS) uses toxic waste to deliver messages. *Cell Death and Disease* 9: 331. DOI: 10.1038/s41419-017-0033-4
- Yu, Q., Xia, C., Han, F., Xu, C., Rombenso, A., Qin, J.G., Chen, L., Li, E. 2022. Effect of different dietary selenium sources on growth performance, antioxidant capacity, gut microbiota, and molecular responses in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition* 5738008: 1-16. DOI: 10.1155/2022/5738008
- Zhou, X., Wang, Y., Gu, Q., Li, W. 2009. Effects of different dietary selenium sources (selenium nanoparticle and selenomethionine) on growth performance, muscle composition and glutathione peroxidase enzyme activity of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). *Aquaculture* 291: 78-81. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2009.03.007