

(OPEN ACCESS)

Effect of adding yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, to a diet containing cottonseed meal on plasma biochemical parameters, mineral retention in the body, and mucosal immune parameters in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*

Seyyed Morteza Hoseini*

* Corresponding Author, Inland Waters Aquatics Resources Research Center, Iranian Fisheries Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Gorgan, Iran. E-mail: seyyedmorteza.hoseini@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: The use of agricultural waste in the diets of aquatic animals contributes to the sustainability of the aquaculture industry and reduces production costs. However, these food sources have some negative effects on fish health. The addition of probiotics to the diet can mitigate these negative impacts. The aim of this study was to investigate the effect of adding yeast, <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , to a diet containing cottonseed meal on plasma biochemical indices, mineral stabilization in the body, and mucosal immune indices in rainbow trout, <i>Oncorhynchus mykiss</i> .
Article history: Received: 03.26.2025 Revised: 05.01.2025 Accepted: 05.11.2025	
Keywords: Biochemical, Cottonseed meal, Minerals, Mucosal immunity, Rainbow trout	Materials and Methods: In this study, three diets were prepared: a control diet without cottonseed meal, a cottonseed meal diet containing 15% cottonseed meal, and a cottonseed meal + yeast diet containing 15% cottonseed meal and 10^8 cfu/g of <i>S. cerevisiae</i> strain Y5052. Fish with an average weight of 31.6 ± 0.33 g were fed these diets for 8 weeks with 4 replicates. At the end of the feeding period, plasma biochemical indices, mucosal immune responses, and the levels of phosphorus, calcium, and magnesium in the muscle and vertebrae of the fish were determined.
	Results: The dietary treatments had no significant effect on the activity of aspartate aminotransferase, alkaline phosphatase, lactate dehydrogenase, urea in plasma, or on the levels of magnesium in muscle and vertebrae or calcium in muscle. The addition of yeast to the diet resulted in a decrease in alanine aminotransferase activity and plasma creatinine concentration, as well as an increase in phosphorus and calcium levels in the vertebrae and an increase in phosphorus in the muscle of the fish. The addition of cottonseed meal to the diet increased peroxidase and protease activity in the mucosal skin, and the addition of yeast significantly increased these indices compared to the cottonseed meal treatment. Alkaline phosphatase activity in the mucosal skin was higher in the cottonseed meal and cottonseed meal + yeast treatments compared to the control.
	Conclusion: A 15% level of cottonseed meal in the diet does not have a negative effect on plasma biochemical indices, mineral stabilization in the

body, or mucosal immune indices in rainbow trout. The addition of *S. cerevisiae* strain Y5052 to the cottonseed meal diet at a concentration of 10^8 cfu/g is recommended to enhance liver and kidney health, increase phosphorus and calcium stabilization, and improve mucosal immune strength.

Cite this article: Hoseini, Seyyed Morteza. 2026. Effect of adding yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, to a diet containing cottonseed meal on plasma biochemical parameters, mineral retention in the body, and mucosal immune parameters in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 15 (2), 77-91



© The Author(s).

Doi: 10.22069/japu.2025.23470.1941

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اثر افزودن مخمر، *Saccharomyces cerevisiae*، به جیره حاوی کنجاله پنبه‌دانه بر شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسما، تثبیت مواد معدنی در بدن و شاخص‌های ایمنی *Oncorhynchus mykiss*، رنگین کمان، در قزل‌آلای رنگین کمان،

سید مرتضی حسینی*

* نویسنده مسئول، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی، گرگان، ایران. رایانامه: seyyedmorteza.hoseini@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: استفاده از ضایعات کشاورزی در جیره غذایی آبزیان باعث پایداری صنعت آبزی‌پروری و کاهش هزینه تمام شده می‌شود؛ با این حال این مواد غذایی برخی آثار منفی در بدن ماهی دارند. افزودن پروبیوتیک‌ها به جیره غذایی می‌تواند اثرات منفی این مواد را کم نماید. هدف از این تحقیق بررسی اثر افزودن مخمر، <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ، به جیره حاوی کنجاله پنبه‌دانه بر شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسما، تثبیت مواد معدنی در بدن و شاخص‌های ایمنی موکوس پوست در قزل‌آلای رنگین کمان، <i>Oncorhynchus mykiss</i> بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۰۶ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱	
واژه‌های کلیدی: ایمنی موکوسی، بیوشیمیایی، قزل‌آلای رنگین کمان، کنجاله پنبه‌دانه، مواد معدنی	مواد و روش‌ها: در این مطالعه سه جیره غذایی تهیه شد: جیره شاهد فاقد کنجاله تخم پنبه، جیره پنبه‌دانه حاوی ۱۵ درصد کنجاله پنبه‌دانه و جیره پنبه‌دانه + مخمر حاوی ۱۵ درصد کنجاله پنبه‌دانه و 10^8 cfu/g مخمر <i>S. cerevisiae</i> سویه Y5052. ماهی‌ها با وزن متوسط 33 ± 0.31 گرم به مدت ۸ هفته توسط این جیره‌های غذایی با ۴ تکرار تغذیه شدند. پس از پایان دوره تغذیه، شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسما، ایمنی موکوس پوست و مقدار فسفر، کلسیم و منیزیم عضله و ستون فقرات ماهی تعیین شد.
	یافته‌ها: تیمارهای غذایی اثر معنی‌داری روی فعالیت آسپارات آمینوترانسفراز، آلکالین فسفاتاز، لاکتات دهیدروژناز و اوره پلاسما، مقدار منیزیم عضله و ستون فقرات و کلسیم عضله نداشتند. افزودن مخمر به جیره غذایی باعث کاهش فعالیت آلانین آمینوترانسفراز و غلظت کراتینین پلاسما، افزایش فسفر و کلسیم ستون فقرات و افزایش فسفر عضله ماهی شد. افزودن کنجاله پنبه‌دانه به جیره باعث افزایش فعالیت پراکسیداز و پروتئاز موکوس پوست شد و افزودن مخمر به جیره نیز باعث افزایش معنی‌دار این شاخص‌ها نسبت به تیمار پنبه‌دانه شد. فعالیت آلکالین فسفاتاز موکوس پوست در تیمارهای پنبه‌دانه و پنبه‌دانه + مخمر بالاتر از شاهد بود.

نتیجه گیری: کنجاله پنبه‌دانه در سطح ۱۵ درصد جیره اثر منفی بر شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسما، تثبیت مواد معدنی در بدن و شاخص‌های ایمنی موکوس پوست در قزل‌آلای رنگین‌کمان ندارد. افزودن مخمر *S. cerevisiae* سویه Y5052 به جیره حاوی کنجاله پنبه‌دانه با غلظت 10^8 cfu/g به منظور ارتقاء سلامت کبد و کلیه، افزایش تثبیت فسفر و کلسیم و قدرت ایمنی موکوس پوست توصیه می‌گردد.

استناد: حسینی، سید مرتضی (۱۴۰۵). اثر افزودن مخمر، *Saccharomyces cerevisiae*، به جیره حاوی کنجاله پنبه‌دانه بر شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسما، تثبیت مواد معدنی در بدن و شاخص‌های ایمنی موکوسی در قزل‌آلای رنگین‌کمان، *Oncorhynchus mykiss*. نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان، ۱۵ (۲)، ۷۷-۹۱.

Doi: 10.22069/japu.2025.23470.1941



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

آبزی‌پروری یکی از ارکان اصلی تأمین غذای جهانی است که منبعی پایدار، مغذی و اقتصادی از غذا را فراهم می‌کند و می‌تواند به مقابله با چالش‌های امنیت غذایی و پایداری محیط زیست کمک کند (۱). صنعت آبزی‌پروری به‌طور مداوم به دنبال نهاده‌های غذایی نوآورانه و پایدار است تا رشد و سلامت ماهی را افزایش و هزینه تمام شده را کاهش دهد. در میان این مواد، کنجاله پنبه‌دانه به دلیل محتوای پروتئین بالا و پتانسیل آن به عنوان یک جایگزین مقرون به صرفه در جیره غذایی آبزیان مطرح شده است (۲). با این حال، گنجاندن پروتئین‌های گیاهی در خوراک‌های آبزی می‌تواند چالش‌هایی مثل کاهش فراهمی زیستی مواد مغذی و سلامت ماهی ایجاد کند (۳). برای مقابله با این چالش‌ها، گنجاندن پروبیوتیک‌ها در جیره آبزیان می‌تواند مؤثر باشد. پروبیوتیک‌ها در آبزی‌پروری مزایای زیادی دارند، از جمله افزایش سلامت روده، تقویت پاسخ‌های ایمنی و بهبود استفاده از مواد مغذی. نقش آن‌ها در پیشگیری از بیماری آن‌ها را به یک جزء مهم در استراتژی‌های تغذیه مدرن آبزی‌پروری تبدیل کرده است (۴). مخمر *Saccharomyces cerevisiae* یکی از پروبیوتیک‌هایی است که به شکل‌های مختلف در آبزی‌پروری استفاده شده است (۵). مطالعات زیادی نشان می‌دهند که این مخمر به صورت سلول کامل، عصاره مخمری و یا تنها دیواره سلولی آن که حاوی مقادیر زیادی پری‌بیوتیک است (مانان الیگوساکارید و بتا گلوکان)، می‌تواند منجر به افزایش رشد، ایمنی و مقاومت در برابر بیماری در ماهی‌های مختلف شود (۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱).

ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، *Oncorhynchus mykiss*، یک گونه مهم در آبزی‌پروری است که به خاطر رشد سریع و تقاضای بالای بازار ارزشمند است (۱۲).

با این حال، حفظ سلامت و عملکرد بهینه در قزل‌آلا نیازمند مدیریت دقیق اجزای غذایی است. در مطالعات قبلی مشخص شده است که افزودن ۱۵ درصد کنجاله پنبه‌دانه به جیره غذایی قزل‌آلای رنگین‌کمان باعث کاهش رشد و کارایی جیره می‌شود (۱۳). با این حال در مطالعه‌ای که اخیراً در کشور انجام شده است مشخص گردید که این میزان کنجاله پنبه‌دانه اثر معنی‌داری بر رشد ماهی ندارد (۱۴) که گامی مؤثر در استفاده از این نهاده غذایی در جیره آبزیان است. با این حال اثرات آن بر سایر جنبه‌های زیستی و سلامت ماهی بررسی نشده است. این مطالعه به بررسی اثرات ترکیبی کنجاله پنبه‌دانه و مخمر *S. cerevisiae* بر شاخص‌های بیوشیمیایی، تثبیت فسفر، کلسیم و منیزیم در مهره و عضله و فعالیت پروتئاز، پراکسیداز و آلکالین فسفاتاز موکوس پوست در قزل‌آلای رنگین‌کمان پرداخته است.

مواد و روش‌ها

تهیه جیره‌های غذایی: ترکیب و پروفایل اسیدهای آمینه و اسیدهای چرب جیره‌های غذایی در جداول ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. در این مطالعه سه جیره غذایی با استفاده از نرم‌افزار WUFFDA تهیه شد: جیره شاهد فاقد کنجاله تخم پنبه، جیره پنبه‌دانه حاوی ۱۵ درصد کنجاله پنبه‌دانه و جیره پنبه‌دانه + مخمر حاوی ۱۵ درصد کنجاله پنبه‌دانه و 10^8 cfu/g مخمر *S. cerevisiae* سویه Y5052. این مقدار کنجاله پنبه‌دانه در مطالعات قبلی رشد و کارایی جیره قزل‌آلای رنگین‌کمان را کاهش داده است (۱۳). هم‌چنین این سطح مخمر باعث بهبود شاخص‌های رشد و بقاء قزل‌آلای رنگین‌کمان در مطالعات قبلی شده است (۱۵). مخمر روی محیط کشت دکستروز سیب‌زمینی (شرکت Q-Lab، اوهایو، ایالات متحده) به مدت ۴۸ ساعت کشت داده شد. سلول‌های

برداشت‌شده در محلول سرم فیزیولوژیکی استریل با تراکم 10^{10} cfu/mL معلق شدند. ده میلی‌لیتر از سوسپانسیون به هر کیلوگرم جیره غذایی در تیمار پنبه‌دانه + مخمر اضافه شد. مواد اولیه جیره غذایی مخلوط شده و با افزودن ۳۰ درصد آب به خمیر تبدیل شدند (۶) (در این مرحله سوسپانسیون مخمر اضافه شد). خمیر توسط چرخ‌گوشت پلت شده و به مدت یک شبانه‌روز خشک شد. پیش از شروع تغذیه ماهی‌ها، ترکیب تقریبی (۱۶)، پروفایل اسیدهای آمینه (۱۷) و پروفایل اسیدهای چرب (۱۸) تعیین شدند.

جدول ۱- فرمولاسیون و ترکیب شیمیایی (درصد) جیره‌های غذایی.

Table 1. Formulation and chemical composition (percentage) of the diets.

پنبه‌دانه + مخمر Cottonseed + Yeast	پنبه‌دانه Cottonseed	شاهد Control	اقلام تشکیل‌دهنده Ingredients
23.5	23.5	23.4	آرد گندم (Wheat Flour)
12	12	25	آرد کنجاله سویا (Soybean Meal)
17.3	17.3	16.4	پودر ماهی کیلکا (Kilka Fish Meal)
15	15	0	آرد کنجاله پنبه‌دانه (Cottonseed Meal)
25	25	25	پودر گوشت کشتارگاه طیور (Poultry By-product Meal)
3.5	3.5	5.5	روغن کلزا (Rapeseed Oil)
1.7	1.7	2.8	روغن آفتابگردان (Sunflower Oil)
1	1	1	مکمل معدنی (Mineral Premix)
0.5	0.5	0.5	مکمل ویتامینی (Vitamin Premix)
0.25	0.25	0.25	متیونین (Methionine)
0.25	0.25	0.15	لیزین (Lysine)
ترکیب شیمیایی (Chemical Composition)			
9.2	9.8	9.5	رطوبت (Moisture)
41.6	41.7	41.4	پروتئین خام (Crude Protein)
17.5	17.9	17	چربی خام (Crude Fat)
7.2	7.0	7.7	خاکستر (Ash)
3.36	3.48	1.75	فیبر خام (Crude Fiber)

جدول ۲- پروفیل اسیدهای آمینه (درصد از جیره) و اسیدهای چرب (درصد از چربی جیره) جیره‌های غذایی.

Table 2. Amino acid (percentage of diet) and fatty acid (percentage of diet fat) profiles of the diets.

پنبه‌دانه + مخمر Cottonseed + Yeast	پنبه‌دانه Cottonseed	شاهد Control	
			اسیدهای آمینه (Amino Acids)
2.8	2.9	2.8	آرژینین (Arginine)
2.9	2.8	2.8	گلیسین (Glycine)
2.0	2.0	2.1	سرین (Serine)
1.1	1.0	1.0	هیستیدین (Histidine)
1.6	1.5	1.6	ایزولوسین (Isoleucine)
2.4	2.2	2.4	لوسین (Leucine)
2.6	2.5	2.5	لیزین (Lysine)
1.1	1.0	1.0	متیونین (Methionine)
0.62	0.76	0.52	سیستئین (Cysteine)
1.8	1.7	1.7	فنیل آلانین (Phenylalanine)
0.9	0.94	1.1	تیروزین (Tyrosine)
1.4	1.4	1.5	ترئونین (Threonine)
0.45	0.46	0.48	تریپتوفان (Tryptophan)
2.0	1.9	1.9	والین (Valine)
			اسیدهای چرب (Fatty Acids)
0.8	0.86	0.67	C14:0
0.05	0.07	0.12	C14:1n5
22.0	21.2	19.9	C16:0
2.6	2.4	2.5	C16:1n7
6.0	5.9	6.8	C18:0
30.3	31.0	34.0	C18:1n9
0	0	1.5	C18:1n7
32.3	32.0	26.7	C18:2n6cis
1.8	1.6	2.4	C18:3n3
0.38	0.42	0.48	C20:0
0.60	0.56	0.77	C20:1n9
0.13	0.11	0.16	C20:2n6
0.38	0.42	0.49	C20:4n6
0.06	0.04	0	C20:3n3
0.65	0.63	0.65	C20:5n3
0.22	0.24	0.33	C22:0
0.10	0.09	0.31	C22:1n9
2.4	2.3	2.4	C22:6n3
0.23	0.21	0.50	C24:0

طرح آزمایش: در این آزمایش از بچه‌ماهیان جوان قزل‌آلای رنگین‌کمان استفاده شد. ۲۴۰ عدد ماهی سالم و هم اندازه از یک مزرعه آبی‌پروری خصوصی واقع در ساری تأمین و به مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی منتقل شدند. این ماهی‌ها در ۱۲ تانک پلاستیکی توزیع شدند که هر کدام ظرفیت ۳۰۰ لیتر داشتند و حاوی ۱۲۰ لیتر آب بودند. هر تانک شامل ۱۵ ماهی با وزن متوسط $0.33 \pm 31/6$ گرم بود. تانک‌ها به یک سیستم تأمین آب چاه متصل بودند که نرخ جریان ۱ لیتر در دقیقه را در طول مدت آزمایش تأمین می‌کرد. در طول آزمایش، هوادهی مداوم و سیفون روزانه انجام شد.

ماهی‌ها به مدت ۸ هفته با جیره‌های غذایی فوق‌الذکر تغذیه شدند و نرخ تغذیه روزانه ۳-۴ درصد در دو وعده بود. هر تیمار غذایی به چهار تانک اختصاص داده شد و مقدار خوراک هر دو هفته یک بار بر اساس بیوماس موجود در هر تانک تنظیم شد. در طول آزمایش، پارامترهای کیفیت آب به طور مداوم مورد نظارت قرار گرفتند. این پارامترها شامل دما ($23.5 \pm 13/3$ درجه سانتی‌گراد)، اکسیژن محلول ($8.07 \pm 1/00$ میلی گرم در لیتر)، pH ($8.04 \pm 0/00$)، آمونیاک غیر یونیزه ($0.01 \pm 0/01$ میلی گرم در لیتر) و آهن ($4.21 \pm 94/5$ میکروگرم در لیتر) بودند. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از یک پروب دیجیتال (HQ40D، لاولند، کلرادو، ایالات متحده) و یک فتومتر (مدل ۷۱۰۰، پالین تست هاوس، گیتس‌هد، بریتانیا) انجام شد.

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها: در پایان آزمایش، سه ماهی از هر تانک صید و در محلول عصاره میخک بیهوش شدند (۱۴). نمونه‌های خون از رگ دمی با سرنگ‌های هپارینه جمع‌آوری شدند. سپس ماهی‌ها با قطع نخاع کشته شدند، بخشی از عضله پشتی و قسمت دمی ستون فقرات نمونه‌برداری شدند.

هم‌چنین سه ماهی دیگر برای جمع‌آوری نمونه موکوس پوست از هر تانک نمونه‌برداری شدند.

پلاسما خون با سانتریفیوژ کردن (۷۰۰۰ دور در دقیقه؛ ۷ دقیقه) جدا شده و تا زمان آزمایش در فریزر -۷۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. عصاره موکوس پوست با افزودن یک حجم بافر فسفات به موکوس جمع‌آوری شده به دست آمد. مخلوط به مدت ۶۰ ثانیه تکان داده شد و سپس با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد تا سوپرناتانت جدا شود که تا زمان آزمایش در فریزر -۷۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (۶). نمونه عضلات پشتی در دمای -۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا اندازه‌گیری فسفر، کلسیم و منیزیم انجام شود. ستون مهره‌ها با برس تمیز شدند تا گوشت چسبیده به آن‌ها حذف شود و در دمای -۲۰ درجه سانتی‌گراد تا اندازه‌گیری فسفر، کلسیم و منیزیم نگهداری شدند.

آزمایشات: آلانین آمینوترانسفراز، آسپارات آمینوترانسفراز، آلکالین فسفاتاز، لاکتات دهیدروژناز، کراتینین و اوره پلاسما با استفاده از کیت‌های تشخیص طبی شرکت زیست شیمی (تهران) و دستگاه اتوآنالایزر (BS 480, China) اندازه‌گیری شدند.

به منظور اندازه‌گیری فسفر، کلسیم و منیزیم عضله و ستون فقرات، ابتدا نمونه‌های در کوره الکتریکی سوزانده شدند و خاکستر حاصله جمع‌آوری شد. پس از هضم اسیدی، مقدار فسفر (روش آمونیوم مولیبدات)، کلسیم (روش آرسناز) و منیزیم (روش زایلیدیل بلو) به روش‌های استاندارد تعیین شد (۱۹).

فعالیت آکالین فسفاتاز موکوس پوست با استفاده از کیت تشخیص طبی زیست شیمی تعیین شد. فعالیت پروتئاز موکوس پوست به روش آزوکازین تعیین شد (۲۰). فعالیت پرکسیداز موکوس پوست به روش قاد و راث (۲۱) تعیین گردید.

نتایج

شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسما در جدول ۳ ارائه شده‌اند. فعالیت آلانین آمینوترانسفراز و غلظت کراتینین پلاسما در تیمار پنبه دانه + مخمر به‌طور معنی‌داری کمتر از دو تیمار دیگر بود. اختلاف معنی‌داری در فعالیت آسپاراتات آمینوترانسفراز، آلکالین فسفاتاز، لاکتات دهیدروژناز و غلظت اوره پلاسما بین تیمارها مشاهده نشد.

تجزیه و تحلیل آماری: داده‌ها به روش تحلیل واریانس یک عاملی آنالیز شدند. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک تایید شد. اختلاف معنی‌دار بین تیمارها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد. از نرم‌افزار SPSS v.22 برای انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری استفاده شد. معنی‌داری در سطح $p < 0.05$ بررسی شد.

جدول ۳- شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسما (میانگین $\pm$ انحراف معیار؛ ۴ تکرار) در تیمارهای مختلف پس از ۸ هفته پرورش. حروف انگلیسی متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد.

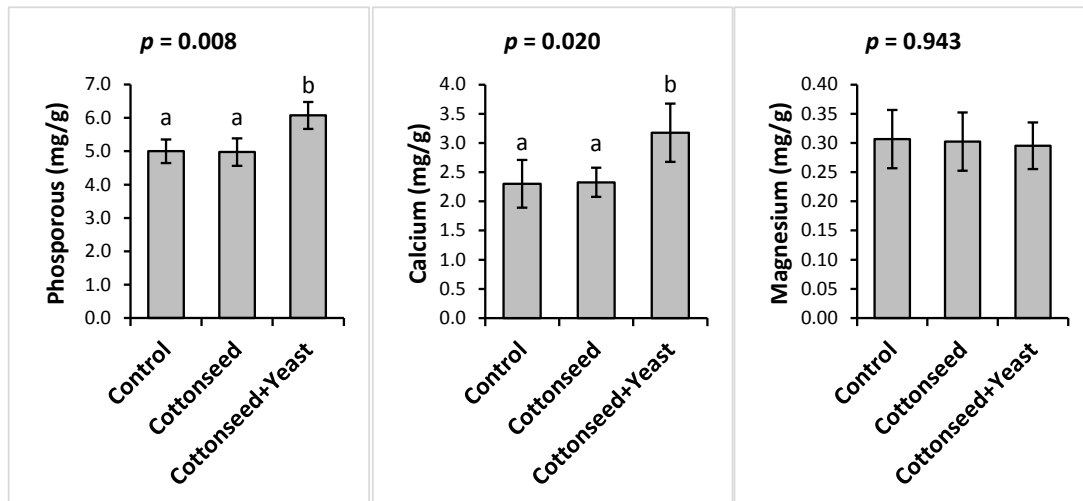
Table 3. Biochemical indices of plasma (mean $\pm$ standard deviation; 4 replicates) in different treatments after 8 weeks of rearing. Different English letters in each row indicate significant differences among treatments.

P-value	پنبه‌دانه + مخمر Cottonseed + Yeast	پنبه‌دانه Cottonseed	شاهد Control	شاخص‌ها Parameters
0.021	20.8 $\pm$ 1.84 ^a	27.9 $\pm$ 4.82 ^b	29.5 $\pm$ 4.03 ^b	آلانین آمینوترانسفراز (IU/L) Alanine Aminotransferase
0.456	95.8 $\pm$ 7.04	102 $\pm$ 10.6	94.0 $\pm$ 8.29	آسپاراتات آمینوترانسفراز (IU/L) Aspartate Aminotransferase
0.121	170 $\pm$ 23.4	141 $\pm$ 31.2	129 $\pm$ 19.7	آلکالین فسفاتاز (IU/L) Alkaline Phosphatase
0.934	344 $\pm$ 20.5	340 $\pm$ 35.2	332 $\pm$ 76.1	لاکتات دهیدروژناز (IU/L) Lactate Dehydrogenase
0.012	0.61 $\pm$ 0.11 ^a	0.84 $\pm$ 0.07 ^b	0.82 $\pm$ 0.09 ^b	کراتینین (mg/dL) Creatinine
0.540	2.00 $\pm$ 0.24	2.25 $\pm$ 0.39	2.23 $\pm$ 0.38	اوره (mg/dL) Urea

شکل ۳ شاخص‌های ایمنی موکوس پوست را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. فعالیت آلکالین فسفاتاز، پراکسیداز و پروتئاز موکوس پوست در تیمارهای پنبه‌دانه و پنبه‌دانه + مخمر به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد بود. هم‌چنین، فعالیت پراکسیداز و پروتئاز موکوس پوست در تیمار پنبه‌دانه + مخمر به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار پنبه‌دانه بود.

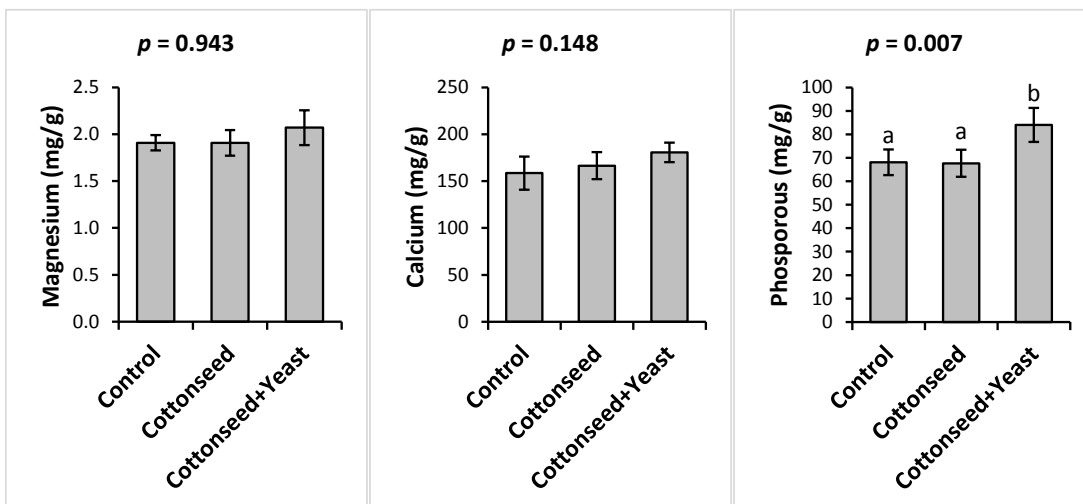
شکل ۱ غلظت مواد معدنی در مهره ماهی را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. غلظت فسفر و کلسیم در تیمار پنبه‌دانه + مخمر به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از دو تیمار دیگر بود. اختلاف معنی‌داری در غلظت منیزیم بین تیمارها مشاهده نشد.

شکل ۲ غلظت مواد معدنی در عضله ماهی را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. غلظت فسفر در تیمار پنبه‌دانه + مخمر به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از دو تیمار دیگر بود. اختلاف معنی‌داری در غلظت کلسیم و منیزیم بین تیمارها مشاهده نشد.



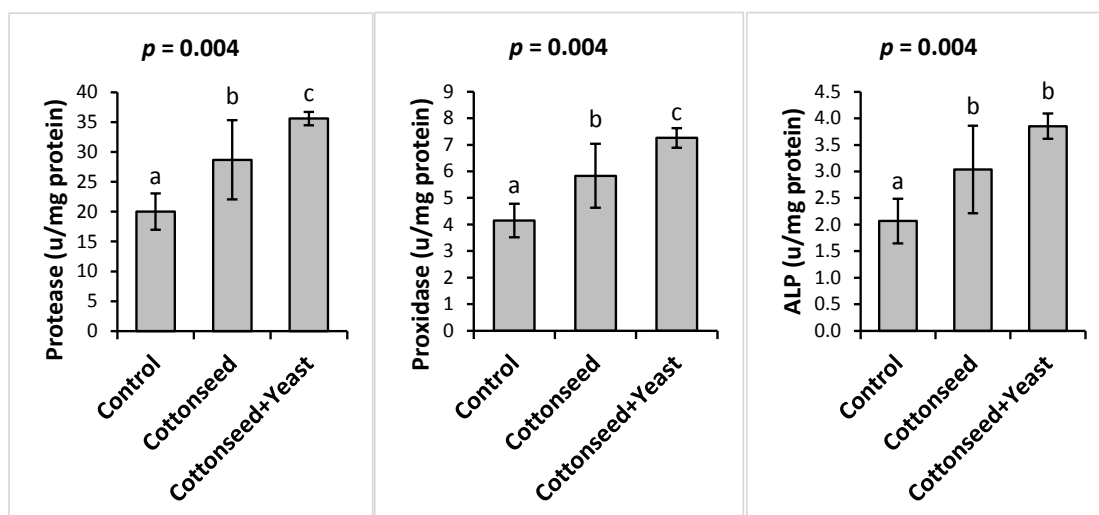
شکل ۱- غلظت فسفر، کلسیم و منیزیم مهره (میانگین $\pm$ انحراف معیار؛ ۴ تکرار) در تیمارهای مختلف پس از ۸ هفته پرورش. حروف انگلیسی متفاوت روی میله‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد.

Figure 1. Concentration of phosphorus, calcium, and magnesium in vertebrae (mean $\pm$ standard deviation; 4 replicates) in different treatments after 8 weeks of rearing. Different English letters above the bars indicate significant differences among treatments.



شکل ۲- غلظت فسفر، کلسیم و منیزیم عضله (میانگین $\pm$ انحراف معیار؛ ۴ تکرار) در تیمارهای مختلف پس از ۸ هفته پرورش. حروف انگلیسی متفاوت روی میله‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد.

Figure 2. Concentration of phosphorus, calcium, and magnesium in muscle (mean $\pm$ standard deviation; 4 replicates) in different treatments after 8 weeks of rearing. Different English letters above the bars indicate significant differences among treatments.



شکل ۳- فعالیت آکالین فسفاتاز، پراکسیداز و پروتئاز موکوس پوست (میانگین $\pm$ انحراف معیار؛ ۴ تکرار) در تیمارهای مختلف پس از ۸ هفته پرورش. حروف انگلیسی متفاوت روی میله‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد.

Figure 3. Skin mucus activity of alkaline phosphatase, peroxidase and protease (mean $\pm$ standard deviation; 4 replicates) in different treatments after 8 weeks of rearing. Different English letters above the bars indicate significant differences among treatments.

بحث و نتیجه‌گیری

باعث کاهش آنزیم آلانین آمینوترانسفراز پلاسما هم در شرایط عادی و هم در زمان مسمومیت با کادمیوم شد (۷). هم‌چنین، افزودن مخمر *S. cerevisiae* به جیره تیلاپای نیل، *Oreochromis niloticus*، باعث کاهش آنزیم آلانین آمینوترانسفراز پلاسما تحت مسمومیت با فیرونیل شده است (۲۳).

کراتینین محصولی فرعی ناشی از متابولیسم است که عضلات تولید می‌شود و توسط کلیه‌ها از خون فیلتر می‌شود. اندازه‌گیری سطوح کراتینین پلاسما به ارزیابی عملکرد کلیه‌ها کمک می‌کند (۲۴). این تحقیق نشان داد که افزودن مخمر به جیره غذایی قزل‌آلای رنگین‌کمان می‌تواند به سلامت کلیه‌ها کمک نماید. در همین راستا، افزودن مخمر *S. cerevisiae* به جیره غذایی کفال لب نازک، *Lisa ramada*، منجر به کاهش کراتینین خون شده است (۸). هم‌چنین، افزودن مخمر *S. cerevisiae* به جیره تیلاپای نیل باعث کاهش کراتینین پلاسما تحت مسمومیت با فیرونیل شده است (۲۳).

این تحقیق نشان داد که استفاده از ۱۵ درصد کنجاله پنبه‌دانه در جیره غذایی قزل‌آلای رنگین‌کمان اثر منفی بر شاخص‌های بیوشیمیایی، تثبیت مواد معدنی و ایمنی موکوس پوست ندارد و در عین حال شاخص‌های ایمنی موکوس پوست را بهبود می‌بخشد. آلانین آمینوترانسفراز آنزیمی است که در مقادیر بالا در کبد یافت می‌شود. زمانی که بافت کبد آسیب می‌بیند، این آنزیم وارد جریان خون می‌شود؛ به همین دلیل سطوح بالای آلانین آمینوترانسفراز در خون می‌تواند نشان‌دهنده آسیب یا التهاب کبد باشد (۲۲). در این تحقیق افزودن مخمر به جیره غذایی باعث کاهش آلانین آمینوترانسفراز در پلاسمای خون شد که می‌تواند نشانه‌ای از افزایش سلامت بافت کبد باشد. مطالعه روی گربه ماهی کانالی، *Ictalurus punctatus*، نشان داده است که افزودن مخمر *S. cerevisiae* به جیره باعث بهبود ساختار بافتی و سلولی کبد می‌شود (۹). نتایج این تحقیق مشابه مطالعه روی سیم دریایی سرطالایی، *Sparus aurata*، است که مخمر *S. cerevisiae*

مواد معدنی مانند کلسیم و فسفر برای نمو و محافظت از استخوان‌ها و ساختارهای اسکلتی در ماهی‌ها حیاتی هستند. آن‌ها به تراکم و استحکام استخوان کمک می‌کنند که برای رشد و حرکت ضروری است (۲۵). کمبود مواد معدنی در بدن ماهی می‌تواند منجر به کاهش رشد، ناهنجاری‌ها و افزایش حساسیت به بیماری‌ها شوند. فسفر، کلسیم و منیزیم سه عنصر اصلی از ساختار عظمه و استخوان ماهی هستند. در این تحقیق افزودن مخمر به جیره غذایی باعث افزایش نسبی مقدار فسفر و کلسیم در عضله یا ستون فقرات ماهی شد که ممکن است به دلیل افزایش فراهمی زیستی و قابلیت هضم این عناصر باشد. اگرچه تاکنون تحقیقی در این زمینه در ماهی انجام نشده است، ممکن است مخمر باعث بهبود ریخت‌شناسی روده و هضم و جذب بهتر این عناصر شده باشد. در این راستا، افزودن مخمر *S. cerevisiae* به جیره غذایی ماهی کپور روهو، *Labeo rohita* (۲۶)، تیلایپای نیل (۲۷) و گربه ماهی مخطط، *Pangasianodon hypophthalmus* (۲۸)، باعث افزایش ارتفاع ریزپرزهای روده و سطح جذب شده است. همچنین، افزودن مخمر *S. cerevisiae* به جیره غذایی تیلایپای نیل منجر به افزایش سطح خاکستر لاشه شده است (۲۹، ۳۰).

موکوس پوست به عنوان یک مانع فیزیکی عمل می‌کند که از ماهی‌ها در برابر پاتوژن‌ها، مانند باکتری‌ها، ویروس‌ها و قارچ‌ها محافظت می‌کند. این موکوس از چسبیدن این میکروارگانیسم‌ها به پوست و ورود آن‌ها به بدن جلوگیری می‌کند (۳۱). ایمنی موکوس پوست نقش مهمی در کنترل بیماری در مزارع پرورش ماهی دارد؛ زیرا آب اولین عامل انتقال

بیماری بین افراد یک گله است و ایمنی موکوسی بالا باعث جلوگیری از ورود عوامل بیماری‌زا به بدن ماهی می‌شود (۳۲). پروتئاز موجود در موکوس پوست پاتوژن‌ها را از بین می‌برد، باعث سست شدن لایه موکوس و در نتیجه جدا شدن آن از بدن می‌شود که به همراه خود پاتوژن‌ها را هم از بدن جدا می‌کند (۳۳). پراکسیداز موکوس پوست در تشکیل کمپلکس پراکسیداز-پرکسید هیدروژن-هالید شرکت دارد که یک عامل باکتری‌کش و سیتوتوکسیک قوی است (۳۳). فعالیت آلکالین فسفاتاز در موکوس پوست می‌تواند ترکیبات التهابی تولید شده توسط میکروب‌ها را خنثی کند (۳۴). در راستای نتایج این تحقیق، افزودن عصاره دیواره سلولی مخمر *S. cerevisiae* به جیره تاس‌ماهی ایرانی، *Acipenser persicus* (۳۵)، و ماهی آزاد اقیانوس اطلس، *Salmo salar* (۳۶)، منجر به بهبود شاخص‌های ایمنی موکوس پوست شده است.

در مجموع نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که افزودن ۱۵ درصد کنجاله پنبه‌دانه به جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان اثر منفی بر شاخص‌های بیوشیمیایی، تثبیت مواد معدنی در بدن و ایمنی موکوسی ندارد. همچنین، افزودن مخمر *S. cerevisiae* به جیره غذایی به منظور افزایش سلامت کبد و کلیه، بهبود تثبیت فسفر و کلسیم در بدن و ارتقاء ایمنی موکوسی توصیه می‌گردد.

تشکر و قدردانی

این اثر تحت حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته از طرح شماره ۴۰۲۰۸۰۶ انجام شده است.

منابع

1. Tacon, A. G. (2020). Trends in global aquaculture and aquafeed production: 2000–2017. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28, 43-56.
2. Jobling, M. (2012). National Research Council (NRC): Nutrient requirements of fish and shrimp. *Aquaculture International*, 20, 601-2.
3. Jannathulla, R., Rajaram, V., Kalanjiam, R., Ambasankar, K., Muralidhar, M., & Dayal, J.S. (2019). Fishmeal availability in the scenarios of climate change: Inevitability of fishmeal replacement in aquafeeds and approaches for the utilization of plant protein sources. *Aquaculture Research*, 50, 3493-506.
4. El-Saadony, M. T., Alagawany, M., Patra, A. K., Kar, I., Tiwari, R., Dawood, M. A. O., Dhama K., & Abdel-Latif, H. M. R. (2021). The functionality of probiotics in aquaculture: An overview. *Fish & Shellfish Immunology*, 117, 36-52.
5. del Valle, J. C., Bonadero, M. C., & Fernández-Gimenez, A. V. (2023). *Saccharomyces cerevisiae* as probiotic, prebiotic, synbiotic, postbiotics and parabiotics in aquaculture: An overview. *Aquaculture (Amsterdam, Netherlands)*, 569, 739342.
6. Yousefi, M., Adineh, H., Taheri Mirghaed, A., & Hoseini, S. M. (2025). Co-supplementation of diet with *Saccharomyces cerevisiae* and thymol: Effects on growth performance, antioxidant and immunological responses of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Animals*, 15, 2-30.
7. Abdel-Tawwab, M., Khalil, R. H., Younis, N. A., Abo Selema, T. A. M., Saad, A. H., El-Werwary, S. O. M., Gouda, A. H., Soliman, A. M., Shady, S. H. H., & Monier, M. N. (2024). *Saccharomyces cerevisiae* supplemented diets mitigate the effects of waterborne cadmium toxicity on gilthead seabream (*Sparus aurata* L.): growth performance, haemato-biochemical, stress biomarkers, and histopathological investigations. *Veterinary Research Communications*, 48, 69-84.
8. El-Mokhlesany, S. A., Ibrahim, M. A., Amer, A. A., Gewaily, M. S., Zaineldin, A. I., Soliman, A., Baromh, M. Z., Gouda, A. H., & Dawood, M. A. (2023). The protective effects of *Saccharomyces cerevisiae* on the growth performance, intestinal health, and antioxidative capacity of mullet (*Liza ramada*) fed diets contaminated with aflatoxin B1. *Annals of Animal Science*, 23, 859-68.
9. Xia, R., Hao, Q., Xie, Y., Zhang, Q., Ran, C., Yang, Y., Zhou, W., Chu, F., Zhang, X., Wang, Y., Zhang, Z., & Zhou, Z. (2022). Effects of dietary *Saccharomyces cerevisiae* on growth, intestinal and liver health, intestinal microbiota and disease resistance of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture Reports*, 24, 101157.
10. El-Bab, A. F. F., Saghir, S. A. M., El-Naser, I. A., El-Kheir, S. M. M. A., Abdel-Kader, M. F., Alruhaimi, R. S., Alqhtani, H. A., Mahmoud, A. M., Naiel, M. A. E., & El-Raghi, A. A. (2022). The effect of dietary *Saccharomyces cerevisiae* on growth performance, oxidative status, and immune response of sea bream (*Sparus aurata*). *Life*, 12, 1013.
11. Yang, X., He, Y., Chi, S., Tan, B., Lin, S., Dong, X., Yang, Q., Liu, H., & Zhang, S. (2020). Supplementation with *Saccharomyces cerevisiae* hydrolysate in a complex plant protein, low-fishmeal diet improves intestinal morphology, immune function and *Vibrio harveyi* disease resistance in *Epinephelus coioides*. *Aquaculture (Amsterdam, Netherlands)*, 529, 735655.
12. FAO. Cultured Aquatic Species Information Programme: *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). Roma, Italy: FAO; 2024.
13. Cheng, Z. J., & Hardy, R. W. (2002). Apparent digestibility coefficients and nutritional value of cottonseed meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*).

- Aquaculture* (Amsterdam, Netherlands), 212, 361-72.
14. Zargham, D., Emtiazjoo, M., Sahafi, H., Bashti, T., & Razmi, K. (2011). The effect of probiotic *Saccharomyces cerevisiae* strain: ptcc5052 on growth parameters and survival of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) larvae. *Advances in environmental biology*, 5, 1393-400.
15. Hoseini, S. M., Pagheh, E., Aghaei Moghaddam, A., Gharavi, B., & Ghelichpour, M. (2025). Effect of adding cottonseed meal along with yeast (*Saccharomyces cerevisiae* PTCC5052) or iron-enriched yeast to diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on economic justification of production, blood biochemical properties, microbial flora and histopathological status of the intestine. *Journal of Fisheries Science and Technology*, 14, 13-27.
16. AOAC. (2005). Official Methods of Analysis. 18th ed. Gaithersburg. MD, USA: AOAC International.
17. Hoseini, S. M., Taheri Mirghaed, A., Ghelichpour, M., Pagheh, E., Iri, Y., & Abdolvahhab, K. (2020). Effects of dietary tryptophan supplementation and stocking density on growth performance and stress responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* (Amsterdam, Netherlands), 519, 734908.
18. Asghari, T., Ahmadifard, N., & Nikoo, M. (2023). Effect of phytohormone kinetin on cell density, photosynthetic pigments, antioxidant enzymes, and fatty acid composition of the microalgae *Tetraselmis suecica*. *Aquaculture Research*, 2023, 5967771.
19. Tietz, N. W. (1995). Clinical guild to laboratory analysis. 3rd edition, Philadelphia, USA. P. 486.
20. Iversen, S. L., & Jørgensen, M. H. (1995). Azocasein assay for alkaline protease in complex fermentation broth. *Biotechnology techniques*, 9, 573-6.
21. Quade, M. J., & Roth, J. A. (1997). A rapid, direct assay to measure degranulation of bovine neutrophil primary granules. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 58, 239-48.
22. Ghelichpour, M., Taheri Mirghaed, A., Hoseini, S. M., & Perez Jimenez, A. (2020). Plasma antioxidant and hepatic enzymes activity, thyroid hormones alterations and health status of liver tissue in common carp (*Cyprinus carpio*) exposed to lufenuron. *Aquaculture* (Amsterdam, Netherlands), 516, 734634.
23. Fadl, S. E., Elbially, Z. I., Abdo, W., Saad, A. H., Aboubakr, M., Abdeen, A., Elkamshishi, M. M., Salah, A. S., El-Mleeh, A., Almeer, R., Aleya, L., Abdel-Daim, M. M., Najda, A., & Abdelhiee, E. Y. (2022). Ameliorative effect of Spirulina and *Saccharomyces cerevisiae* against fipronil toxicity in *Oreochromis niloticus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 242, 113899.
24. Taheri Mirghaed, A., Ghelichpour, M., Mirzargar, S. S., Joshaghani, H., & Ebrahimzadeh Mousavi, H. (2018). Toxic effects of indoxacarb on gill and kidney histopathology and biochemical indicators in common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture Research*, 49, 1616-27.
25. Lall, S. P. (2022). Chapter 6 - The minerals. In: Hardy R.W., & Kaushik S.J., editors. *Fish Nutrition* (Fourth Edition). Oxford, USA: Academic Press, p. 469-554.
26. Jahan, N., Islam, S. M. M., Rohani, M. F., Hossain, M. T., & Shahjahan, M. (2021). Probiotic yeast enhances growth performance of rohu (*Labeo rohita*) through upgrading hematology, and intestinal microbiota and morphology. *Aquaculture* (Amsterdam, Netherlands), 545, 737243.
27. Islam, S. M. M., Rohani, M. F., & Shahjahan, M. (2021). Probiotic yeast enhances growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) through morphological modifications of intestine. *Aquaculture Reports*, 21, 100800.
28. Boonanuntanasarn, S., Dittthab, K., Jangprai, A., & Nakharuthai, C. (2019). Effects of microencapsulated *Saccharomyces cerevisiae* on growth,

- hematological indices, blood chemical, and immune parameters and intestinal morphology in striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus*. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 11, 427-37.
29. Lara-Flores, M., Olivera-Castillo, L., & Olvera-Novoa, M. A. (2010). Effect of the inclusion of a bacterial mix (*Streptococcus faecium* and *Lactobacillus acidophilus*), and the yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on growth, feed utilization and intestinal enzymatic activity of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 2, 93-101.
 30. Ozório, R. O. A., Portz, L., Borghesi, R., & Cyrino, J. E. P. (2012). Effects of dietary yeast (*Saccharomyces cerevisia*) supplementation in practical diets of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animals*, p. 16-24.
 31. Salinas, I., Ding, Y., Fernández-Montero, Á., & Sunyer, J. O. (2022). Mucosal immunity in fish. In: Buchmann, K., & Secombes, C. J., editors. *Principles of fish immunology: From cells and molecules to host protection*. Cham: Springer International Publishing, p. 387-443.
 32. Hoseini, S. M., Adineh, H., Kulikov, E. V., Vatnikov, Y. A., Telezhenkova, A. I., & Yousefi, M. (2025). Effects of dietary autolyzed yeast and quercetin on growth performance, antioxidant and immunological parameters, and resistance to heat stress in rainbow trout. *Aquaculture (Amsterdam, Netherlands)*, 600, 742257.
 33. Guardiola, F.A., Cuesta, A., Arizcun, M., Meseguer, J., & Esteban, M. A. (2014). Comparative skin mucus and serum humoral defence mechanisms in the teleost gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Fish & Shellfish Immunology*, 36, 545-51.
 34. Lallès, J. P. (2019). Biology, environmental and nutritional modulation of skin mucus alkaline phosphatase in fish: A review. *Fish & Shellfish Immunology*, 89, 179-86.
 35. Yousefi, S., Monsef Shokri, M., Allaf Noveirian, H., & Hoseinifar, S. H. (2020). Effects of dietary yeast cell wall on biochemical indices, serum and skin mucus immune responses, oxidative status and resistance against *Aeromonas hydrophila* in juvenile Persian sturgeon (*Acipenser persicus*). *Fish & Shellfish Immunology*, 106, 464-72.
 36. Leclercq, E., Pontefract, N., Rawling, M., Valdenegro, V., Aasum, E., Andujar, L. V., Migaud, H., Castex, M., & Merrifield, D. (2020). Dietary supplementation with a specific mannan-rich yeast parietal fraction enhances the gut and skin mucosal barriers of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and reduces its susceptibility to sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*). *Aquaculture (Amsterdam, Netherlands)*, 529, 735701.

