

# Effects of Dietary Yeast, Yeast RNA, $\beta$ -Glucan, Yeast Rna and $\beta$ -Glucan on Growth and Immune Performance of Juvenile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Guiping Gao, Qi Peng, Jian Feng\*

Ocean Research Center, Guangxi University, Nanning Guangxi  
Email: fengjian08@163.com

Received: Mar. 8<sup>th</sup>, 2018; accepted: Mar. 19<sup>th</sup>, 2018; published: Mar. 28<sup>th</sup>, 2018

## Abstract

(Objective) This study explored the effects of yeast, yeast RNA,  $\beta$ -glucan,  $\beta$ -glucan and yeast RNA on the growth performance, serum immune parameters of juvenile tilapia. (Method) In this experiment, four kinds of isonitrogenous and isoenergetic diets containing 0.2% yeast, 0.04% yeast RNA, 0.2%  $\beta$ -glucan and 0.04% RNA + 0.2%  $\beta$ -glucan were designed to juvenile tilapia ( $5.0 \pm 0.02$  g) for 30 days. (Conclusion) The results showed: 1) In all experimental groups except for  $\beta$ -glucan group, the final body weight (FBW), feed intake (FI) and specific growth rate (SGR) of fish were significantly increased compared with fish of control group, and the feed conversion ratio (FCR) was significantly lower ( $P < 0.05$ ), especially fish in yeast RNA group. 2) Compared with control group, serum superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) of fish in all experimental groups were significantly increased ( $P < 0.05$ ), especially fish in yeast RNA +  $\beta$ -glucan group. 3) Compared with fish in the control group, the serum total protein content, globulin content of fish in yeast group, yeast RNA group,  $\beta$ -glucan group, yeast RNA +  $\beta$ -glucan group increased significantly, and the A/G ratio was significantly lower ( $P < 0.05$ ), especially fish in yeast RNA +  $\beta$ -glucan group. The experiment included that dietary yeast, yeast RNA, yeast RNA +  $\beta$ -glucan could improve the growth performance of tilapia fingerlings and supplement of 0.04% yeast RNA showed better promotion of the growth performance; Yeast, yeast RNA,  $\beta$ -glucan and yeast RNA +  $\beta$ -glucan could improve the immune performance of tilapia fingerlings, and supplement of 0.04% yeast RNA + 0.2%  $\beta$ -glucan showed better promotion of the immune performance.

## Keywords

Tilapia, Growth, Immune, Yeast RNA,  $\beta$ -Glucan

\*通讯作者。

# 饲料中添加酵母、酵母RNA、 $\beta$ -葡聚糖和酵母RNA + $\beta$ -葡聚糖对吉富罗非鱼幼鱼生长和免疫性能的影响

高桂平, 彭 洪, 冯 健\*

广西大学海洋研究中心, 广西 南宁

Email: fengjian08@163.com

收稿日期: 2018年3月8日; 录用日期: 2018年3月19日; 发布日期: 2018年3月28日

## 摘 要

**(目的)**本实验研究了酵母、酵母RNA、 $\beta$ -葡聚糖以及酵母RNA +  $\beta$ -葡聚糖配合使用对吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)幼鱼生长性能与免疫性能的影响。**(方法)**以基础饲料、含有0.2%酵母、0.04%酵母RNA、0.2% $\beta$ -葡聚糖、0.04%酵母RNA + 0.2% $\beta$ -葡聚糖复合物的5组等氮等能基础饲料投喂初始体重为5.0 g左右的吉富罗非鱼幼鱼60天。**(结果)**实验结果表明: 1) 除 $\beta$ -葡聚糖组外, 各实验组末重(FBW)、摄食量(FI)、特定生长率(SGR)较对照组显著升高, 饲料系数显著降低( $P < 0.05$ ), 且酵母RNA组末重、特定生长率显著高于其他单独添加组及酵母RNA +  $\beta$ -葡聚糖复合物组 ( $P < 0.05$ ), 饲料系数显著降低( $P < 0.05$ ); 2) 实验各组鱼体血清超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、溶菌酶(LZM)、酸性磷酸酶(ACP)活力较对照组显著升高( $P < 0.05$ ), 其中酵母RNA +  $\beta$ -葡聚糖复合物组最高。3) 各实验组血清总蛋白、球蛋白含量较对照组显著升高, 白球比显著降低( $P < 0.05$ ), 其中酵母RNA +  $\beta$ -葡聚糖复合物组最高。**(结论)**本实验结果显示: 饲料中添加酵母、酵母RNA、酵母RNA +  $\beta$ -葡聚糖复合物均能提高吉富罗非鱼幼鱼的生长性能, 以单独添加0.04%酵母RNA效果最好; 饲料中添加酵母、酵母RNA、 $\beta$ -葡聚糖、酵母RNA +  $\beta$ -葡聚糖复合物均能提高吉富罗非鱼幼鱼免疫性能, 并且当酵母RNA与 $\beta$ -葡聚糖配合使用时效果最好。

## 关键词

罗非鱼, 生长, 免疫, 酵母RNA,  $\beta$ -葡聚糖

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

(研究的重要意义)罗非鱼(Tilapia), 属于鲈形目(Perciformes), 丽鱼科(Cichlidae), 口孵光鳃罗非鱼属(*Oreochromis*), 是一种常见热带鱼, 目前已经成为世界性的经济鱼类, 我国年产量超过 150 万 t [1], 约占世界罗非鱼年总产量的 40%。吉富罗非鱼(Genetic Improvement of Farmed Tilapia)是由尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)的 4 个亚洲品系以及 4 个非洲品系经过遗传性状改良之后的一个品系, 具备生长快、遗传形状稳定、产肉率高、肉质细腻、鲜美等特点, 目前该品种是我国罗非鱼生产中的主要养殖对象之

一。近年来,随着养殖规模的扩大和养殖环境的恶化,罗非鱼鱼病频繁暴发,严重阻碍了罗非鱼养殖业的健康发展[2][3]。为控制病害,大量抗生素类药物被投入到水产养殖中。长期大量的使用抗生素不仅使病原体产生了耐药性,也使药物残留问题愈加突显,降低了罗非鱼品质,给环境以及人类健康造成危害[4]。(本研究切入点)因此,在罗非鱼的健康养殖过程中选择合适的免疫增强剂以减少抗生素类药物用量的探索具有积极意义。(前人研究进展)目前,复合免疫制剂对罗非鱼幼鱼机体生长和免疫性能影响的研究较少。(拟解决的关键问题)本研究以 5.00 g 左右的吉富罗非鱼为试验对象,分别在饲料中添加酵母、酵母 RNA、 $\beta$ -葡聚糖及酵母 RNA +  $\beta$ -葡聚糖复合免疫制剂,对其在吉富罗非鱼幼鱼生长和免疫性能方面的有效性进行了研究,为罗非鱼的健康养殖提供相关依据。

## 2. 材料与方 法

### 2.1. 试验饲料组成与营养成分分析

饲料原料秘鲁鱼粉、鱼油、次粉、大豆粕、菜籽粕、复合多维、复合多矿、磷酸二氢钙、氯化胆碱由广西百洋饲料公司提供;酵母(干啤酒酵母)、酵母 RNA (有效含量 90%)购自上海蓝季科技发展有限公司, $\beta$ -葡聚糖(有效含量 80%)购自上海蓝季科技发展有限公司。饲料原料全部经过粉碎,过 40 目筛,按配比称量后,微量成分采取逐级扩大法添加,并与大宗原料混合均匀,加油和水后再次均匀混合,用小型颗粒饲料机制粒直径为 2.5 mm 的颗粒饲料,于 85℃ 烘干,储存于密封塑料袋中,置-20℃ 冰箱内保存直至投喂。本实验根据罗非鱼的营养需求(NRC, 2011) [5],以菜籽粕、大豆粕和秘鲁鱼粉为主要蛋白源,以鱼油为主要脂肪源,以次粉为主要糖源,设计基础饲料,并记为 D1 组。在基础饲料中分别添加 0.2% 酵母[6]、0.04% 酵母 RNA [7] [8]、0.2% $\beta$ -葡聚糖[9]、0.04% 酵母 RNA + 0.2% $\beta$ -葡聚糖,共制成 5 组等氮等能饲料,分别记为 D2~D5 组。各个实验组的饲料组成和营养成分值见表 1。

### 2.2. 实验用鱼与养殖期管理

本实验中,共采用吉富罗非鱼鱼苗 600 尾,均购自广西水产引育种中心同一批孵化鱼苗;所有鱼苗在同一水池中暂养一周,暂养期投喂商业罗非鱼鱼苗饲料。选取平均体重为 5.0 g 的罗非鱼幼鱼 300 尾;将其分为 5 组,包括 4 个试验组及 1 个对照组;每组设 3 个平行,每个平行 20 尾鱼。在规格为长 10.0 m、宽 1.5 m、高 1.5 m 的水泥池中放置 15 个长 1.0 m、宽 0.5 m、高 1.0 m 的尼龙网箱,养殖期间换水量控制为 1/5 d<sup>-1</sup>;分别将 15 个平行的实验幼鱼随机放置于 15 个网箱中,每个网箱设置一个食台用于投喂饲料。实验鱼的投饲频率为一天两次,投喂时间点为每天 9 时与 18 时,投饲量为鱼体重量的 15%~10%;每次投喂采取少量多次地将实验饲料投放至食台中,并在投喂时仔细观察实验鱼的摄食情况,当食台上开始出现剩余饲料时即停止当次投喂并将残饵捞出,每次喂食后记录当次投喂饲料量以及剩余残饵的量;养殖一周后对实验鱼进行称重并记录鱼体重量,用以调整投喂量。养殖实验在大棚中进行,为自然光周期;整个养殖期持续 60 天。整个实验期间水质监测(每天测 3 次水温;每周测一次水质指标)情况为:水温 29.4℃ ± 3.6℃, pH 7.0 ± 0.2,溶解氧 7.09 ± 0.24 mg·L<sup>-1</sup>,氨氮 0.45 ± 0.03 mg·L<sup>-1</sup>,亚硝酸盐 0.15 ± 0.02 mg·L<sup>-1</sup>,硝酸盐 0.09 ± 0.01 mg·L<sup>-1</sup>。

### 2.3. 样品采集与方 法

养殖期结束后停止投饲一天。对每个网箱内存活的实验鱼进行称重并计数,所得体重为末重(W<sub>2</sub>),所得鱼尾数为存活尾数(N<sub>2</sub>);将间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐(MS-222)与水按照 20 g: 1 m<sup>3</sup> 的剂量配置后,每个平行随机取 10 尾鱼麻醉,用一次性无菌注射器(1 ml)从鱼体尾静脉采血;所采血液转入 2 ml 离心管中,使其在室温下静置 2 h,然后转入 4℃ 冰箱保存 4~6 h,随后将血样在 4℃ 下以 3000 r/min 离心 10 min

**Table 1.** Composition and nutrient levels of basal diet  
**表 1.** 基础饲料组成及营养水平(%)

原料 Ingredient	含量(%) Concentration				
	D1	D2	D3	D4	D5
次粉 Wheat middling	25	25	25	25	25
菜籽粕 Rapeseed meal	30	30	30	30	30
大豆粕 Soybean meal	30	30	30	30	30
秘鲁鱼粉 Fishmeal	10	10	10	10	10
鱼油 Fish oil	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
啤酒酵母 Beer yeast	0	0.2	0	0	0
酵母 RNA Yeast RNA	0	0	0.04	0	0.04
$\beta$ -葡聚糖 $\beta$ -glucan	0	0	0	0.2	0.2
磷酸二氢钙 Monocalcium	1	1	1	1	1
氯化胆碱 Choline chloride	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
复合多矿 Min.premix <sup>1)</sup>	1	1	1	1	1
复合多维 Vit. Premix. <sup>2)</sup>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
合计 Total	100	100	100	100	100
营养水平 Nutrient level <sup>3)</sup>					
总能(MJ/Kg) Gross energy <sup>4)</sup>	17.94	17.84	17.80	17.96	17.97
粗蛋白质 Crude protein	35.4	35.1	35.5	35.0	35.3
粗脂肪 Crude lipid	4.4	4.5	4.0	4.6	4.3
粗灰分 Ash	6.2	6.4	6.7	6.1	6.2
水分 Moisture	9.4	9.8	9.2	9.5	9.1

1. 复合多矿(kg<sup>-1</sup>预混料): 亚硒酸钠(45.6% Se), 1g; 硫酸铜(25.4% Cu), 30g; 硫酸亚锰(32.5% Mn), 15g; 硫酸锌(22.7% Zn), 120g; 硫酸亚铁(20.1% Fe), 100g; 氟化钠(42.5% F), 5g; 氯化钴(24.8% Co), 3g; 2. 复合多维(kg<sup>-1</sup>预混料): 维生素 D<sub>3</sub> (50万 IU/g), 5g; 维生素 E (50%), 20g; 维生素 K<sub>3</sub>, 50g; 维生素 A (50万 IU/g), 6g; 泛酸钙, 100g; 核黄素, 20g; 盐酸硫胺素, 20g; 生物素, 2g; 维生素 B<sub>12</sub>, 0.1g; 叶酸, 5g; 烟酸, 30g; 维生素 C, 100g; 盐酸吡哆醇, 20g; 脱脂米糠, 222.9g; 肌醇, 400g; 3. 无氮浸出物 = 100% - (粗蛋白% + 粗脂肪% + 粗灰分% + 水分%); 4. 总能(MJ/kg) = (粗蛋白 × 23.6 + 粗脂肪 × 39.5 + 无氮浸出物 × 17.6)/100. 1. Mineral (per Kg premix): sodium selenite (45.6% Se), copper sulphate (25.4% Cu), 30g; manganous sulphate (32.5% Mn), 15g; zinc sulphate (22.7% Zn), 120g; ferrous sulphate (20.1% Fe), 100g; 30g; sodium fluoride (42.5% F), 5g; cobalt chloride (24.8% Co), 3.0g; 2. Vitamin (per Kg premix): vitamin D<sub>3</sub>, 5g (500,000 IU/g); vitamin E, 20g (50%); vitamin K<sub>3</sub>, 50g; vitamin A, 6g (500,000 IU/g); d-Ca pantothenate, 100g; thiamine, 20g; pyridoxine, 20g; biotin, 2.0g; riboflavin, 20mg; vitamin B<sub>12</sub>, 0.1g; folic acid, 5g; niacin, 30g; ascorbic acid, 100g; defatted rice bran, 222.9g; inositol, 400g. 3. Nitrogen-free extract = 100 - (moisture% + protein% + lipid% + ash%). 4. GE = (protein\*23.64 KJ/g + lipid\*39.54 KJ/g + nitrogen-free extract \*17.15 KJ/g)/100.

后取上层血浆；使用南京建成生物公司生产的超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、溶菌酶、酸性磷酸酶试剂盒测定血浆酶含量；另随机取 10 尾进行尾静脉抽血，所采血样转入 2 ml 离心管中，以 3000 r/min 离心 5 min 后移取上层血清，使用日立自动血液生化分析仪检测所得血清中总蛋白、白蛋白、球蛋白的含量。实验样品的水分、粗蛋白、脂肪和灰分含量按 A.O.A.C (1990) 有关标准方法测定[10]。有关养殖效益参数计算公式如下[11]：成活率(SR) (%) = (实验结束鱼尾数/实验开始时尾数) × 100；摄食量(FI) (g) = 投喂量 - (余料 + 残饵)；特定生长率(SGR) (%t<sup>-1</sup>) = 100 × (LnW<sub>2</sub> - LnW<sub>1</sub>)/t；饲料效益(FER) (%) = 100 × (W<sub>2</sub> - W<sub>1</sub>)/FI (式中，W<sub>1</sub>—试验开始时鱼体重(g)，W<sub>2</sub>—试验结束时鱼体重(g)，t—养殖实验天数(d)，FI—摄食量)。

## 2.4. 数据处理和分析

采用 SPSS19.0 数据统计软件包对实验各组间数据进行统计分析，试验结果经过一元方差分析(One-way ANOVA)后，用平均数±标准差表示。进行方差齐性分析，显著水平采用 0.05。

## 3. 结果

### 3.1. 实验组鱼的存活率、生长性能和饲料利用率

在整个养殖试验期间，实验组鱼均没有出现死亡，存活率均为 100%。实验组鱼的摄食量、特定生长率、饲料系数见表 2。从表 2 结果可以看出，除 D4 组外，其余各试验组的特定生长率与饲料系数均显著高于对照组(D<sub>1</sub>) ( $P < 0.05$ )；D<sub>2</sub> 组最高，其次为 D<sub>5</sub>、D<sub>4</sub> 组。

### 3.2. 免疫相关酶活力指标

血浆超氧化物歧化酶、溶菌酶、酸性磷酸酶与过氧化氢酶活力见表 3。从表 3 结果可以看出，各试验组鱼的血浆超氧化物歧化酶、溶菌酶、酸性磷酸酶与过氧化氢酶活力均显著高于对照组(D<sub>1</sub>) ( $P < 0.05$ )；D<sub>5</sub> 组鱼各项指标最高，其次为 D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub> 与 D<sub>4</sub> 组鱼。

### 3.3. 血清蛋白指标

实验各组血清总蛋白、白蛋白、球蛋白及白球比见表 4。从表 4 结果可以看出，各试验组鱼的血清总蛋白、白蛋白、球蛋白及白球比指标均显著高于对照组(D<sub>1</sub>) ( $P < 0.05$ )；D<sub>5</sub> 组鱼各项指标最高，其次为 D<sub>4</sub>、D<sub>2</sub> 与 D<sub>3</sub> 组鱼。

Table 2. The growth performance of tilapia juveniles in different groups\*

表 2. 实验各组罗非鱼幼鱼生长性能\*

实验组	初重(g) IBW	末重(g) FBW	存活率(%) SR	摄食量(g) FI	特定生长率(%d <sup>-1</sup> ) SGR	饲料系数 FCR
D1	5.00 ± 0.2	13.74 ± 0.11 <sup>a</sup>	100.00 ± 0.00	14.14 ± 0.29 <sup>a</sup>	3.37 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.62 ± 0.02 <sup>c</sup>
D2	5.00 ± 0.2	18.78 ± 0.25 <sup>c</sup>	100.00 ± 0.00	20.12 ± 0.57 <sup>d</sup>	4.41 ± 0.05 <sup>c</sup>	1.42 ± 0.03 <sup>a</sup>
D3	5.00 ± 0.2	16.41 ± 0.26 <sup>b</sup>	100.00 ± 0.00	16.17 ± 0.52 <sup>b</sup>	3.96 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.46 ± 0.04 <sup>ab</sup>
D4	5.00 ± 0.2	14.16 ± 0.31 <sup>a</sup>	100.00 ± 0.00	14.69 ± 0.60 <sup>a</sup>	3.47 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.60 ± 0.03 <sup>c</sup>
D5	5.00 ± 0.2	16.52 ± 0.36 <sup>b</sup>	100.00 ± 0.00	17.12 ± 0.35 <sup>c</sup>	3.98 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.49 ± 0.03 <sup>b</sup>

\*同列无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著( $P > 0.05$ )，不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下表同。\*In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ( $P > 0.05$ ). The same as below.

**Table 3.** The activity of SOD, LZM, ACP and CAT in serum of fish in diet groups (n = 6)**表 3.** 实验各组鱼体血浆超氧化物歧化酶(SOD)、溶菌酶(LZM)、酸性磷酸酶(ACP)和过氧化氢酶(CAT)活力(n = 6)

组别	氧化物歧化酶 SOD (U/mL)	溶菌酶 LZM (U/mL)	酸性磷酸酶 ACP (U/100 mL)	过氧化氢酶 CAT (U/mL)
D1	29.48 ± 3.40 <sup>a</sup>	149.96 ± 6.91 <sup>a</sup>	9.84 ± 0.36 <sup>a</sup>	2.79 ± 0.37 <sup>a</sup>
D2	41.16 ± 3.61 <sup>c</sup>	171.22 ± 5.19 <sup>c</sup>	12.69 ± 1.87 <sup>c</sup>	6.46 ± 0.29 <sup>c</sup>
D3	34.51 ± 4.09 <sup>b</sup>	166.24 ± 5.48 <sup>bc</sup>	11.24 ± 1.13 <sup>b</sup>	4.62 ± 0.31 <sup>b</sup>
D4	35.39 ± 3.96 <sup>b</sup>	163.26 ± 4.76 <sup>b</sup>	13.65 ± 1.05 <sup>c</sup>	6.34 ± 0.24 <sup>c</sup>
D5	44.65 ± 3.68 <sup>d</sup>	188.75 ± 3.53 <sup>d</sup>	13.59 ± 0.76 <sup>c</sup>	7.06 ± 0.25 <sup>d</sup>

**Table 4.** The total protein (TP), albumin (AB), globulin (GB) and A/G ratio in serum of fish in diet groups\***表 4.** 实验各组鱼血清总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)和白球比(A/G)\*

组别	总蛋白(g/dL) TP	白蛋白(g/dL) ALB	球蛋白(g/dL) GLB	白球比 A/G ratio
D1	3.24 ± 0.08 <sup>a</sup>	1.33 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.91 ± 0.10 <sup>a</sup>	0.69 ± 0.07 <sup>d</sup>
D2	4.47 ± 0.15 <sup>c</sup>	1.61 ± 0.08 <sup>c</sup>	2.86 ± 0.09 <sup>c</sup>	0.56 ± 0.03 <sup>b</sup>
D3	3.67 ± 0.13 <sup>b</sup>	1.41 ± 0.04 <sup>b</sup>	2.25 ± 0.12 <sup>b</sup>	0.63 ± 0.04 <sup>c</sup>
D4	4.62 ± 0.09 <sup>c</sup>	1.65 ± 0.04 <sup>c</sup>	2.97 ± 0.08 <sup>c</sup>	0.56 ± 0.02 <sup>b</sup>
D5	5.39 ± 0.09 <sup>d</sup>	1.74 ± 0.05 <sup>d</sup>	3.65 ± 0.12 <sup>d</sup>	0.48 ± 0.03 <sup>a</sup>

## 4. 讨论

### 4.1. 酵母、酵母 RNA、β-葡聚糖对吉富罗非鱼幼鱼生长性能的影响

本实验中, 酵母 RNA 表现出了较好的生长促进作用, 酵母 RNA 组鱼的特定生长率显著高于其它实验组, 饲料系数也较其它实验组鱼显著降低。其原因可能是, 在饲料中添加适量的酵母 RNA 促进了鱼体通过补救途径合成核苷酸, 促进了鱼体肠道等组织、细胞的生长与发育, 进而增加了鱼体对饲料的消化利用率[12]。此外, 本实验中酵母 RNA、酵母 RNA + β-葡聚糖复合物组鱼摄食量显著高于其他各组鱼( $P < 0.05$ )。表明酵母 RNA 具有良好的诱食性, 刺激了罗非鱼幼鱼味觉、嗅觉神经以及化学感受器, 提高了摄食速率, 减少了饲料营养成分在水中的流失, 使得鱼体能更高效的利用饲料中的营养成分[13]。在红鲷 (*Pagrus auratus*)、南亚野鲮和大黄鱼上的研究表明, β-葡聚糖能显著提高其生长性能[14] [15] [16]。但本实验中, β-葡聚糖对罗非鱼幼鱼生长性能的影响并不明显, 这与周艳萍、许国焕等对异育银鲫和彭泽鲫的研究结果相似[17] [18]。有研究显示, 饲料中的 β-葡聚糖在用于生长与激活免疫系统这两者之间存在一定的矛盾, 生长性能的高低与免疫功能的强弱这两者之间存在负相关的关系[19], 其机理需进一步研究。酵母组鱼体末重、摄食量、特定生长率均显著高于对照组, 且饲料系数较对照组显著降低。饲料中的酵母可能在一定程度有效参与肠道微生物定植, 通过其自身的代谢活动消耗氧气形成一种厌氧环境, 在肠道内抑制如大肠杆菌、弧菌等一系列有害菌群的繁殖, 从而增强肠道健康状况, 提高对食物的消化率[20]。但酵母组其他各生长指标均显著低于酵母 RNA 组。其原因可能是啤酒酵母细胞壁主要由甘露糖纤维蛋白, 葡聚糖纤维蛋白以及几丁质组成, 鱼类本身缺乏消化酵母细胞壁成分的多种酶, 因此难以破坏细胞壁利用酵母细胞中的蛋白质以及核酸等物质[21]。酵母 RNA + β-葡聚糖复合物组鱼特定生长率显著高于对照组, 体现了酵母 RNA 与 β-葡聚糖配合使用对罗非鱼幼鱼生长的促进作用[22]。但特定生长率与饲料

系数显著低于酵母 RNA 组,其原因可能是, $\beta$ -葡聚糖可能会增加消化道内食物的粘度,而使得消化酶在底物中的扩散速率下降,增加了食物消化的时间降低了营养物质的吸收与利用率[23]。

#### 4.2. 酵母、酵母 RNA、 $\beta$ -葡聚糖对吉富罗非鱼血液免疫指标的影响

过氧化氢能在过氧化氢酶(CAT)作用下生成水分子,从而将机体内多余的自由基分解排出。SOD 与 CAT 是机体抗氧化防御系统的重要组成部分,不但能减少由于脂质过氧化而引发的细胞损伤,而且还能使细胞膜以及核酸不受自由基的侵害[24]。本实验中,酵母 RNA 组超氧化物歧化酶(SOD)活力显著高于对照组( $P < 0.05$ ),说明饲料中添加 0.04%酵母 RNA 能显著提高吉富罗非鱼幼鱼血浆 SOD 活力,这与苗新等研究结果相似[25]。外源核苷酸对增强机体抗氧化性能的机理尚不清楚,可能的原因是多数参加免疫反应的细胞依靠从头合成途径生成的核苷酸不能满足自身需求,当有适量的外援核苷酸补充时,合成 SOD 基因的表达量上调,从而使得血浆中两种酶的活力增强。 $\beta$ -葡聚糖组 SOD 与 CAT 活力均显著高于对照组( $P < 0.05$ )。单独添加 0.2%  $\beta$ -葡聚糖同样能提高吉富罗非鱼血浆 SOD 与 CAT 活力。这与在南美白对虾和异育银鲫的实验结果类似[26]。酵母组血浆 SOD、CAT 活力显著高于对照组( $P < 0.05$ ),但低于  $\beta$ -葡聚糖组。说明饲料中添加 0.2%干啤酒酵母能显著增强机体抗氧化能力,提高免疫性能,其作用主要由  $\beta$ -葡聚糖引起。本实验中酵母 RNA +  $\beta$ -葡聚糖复合物组鱼血浆 SOD 活力、CAT 活力均显著高于对照组与单独添加酵母 RNA 组、 $\beta$ -葡聚糖组和酵母组( $P < 0.05$ )。说明酵母 RNA 与  $\beta$ -葡聚糖搭配使用时,对吉富罗非鱼幼鱼抗氧化酶活力的提高效果最好。

血浆溶菌酶(LZM)与酸性磷酸酶(ACP)同属于溶酶体系统,当外源异物侵入时,机体血液中的吞噬细胞聚集,并进行吞噬,分泌 LZM、ACP 等各种酶辅助破坏外源异物结构。在机体免疫过程中,LZM 除了能溶解细菌细胞壁外,还能起到免疫调节作用,诱导并增强其他免疫因子的合成与分泌。而血浆 ACP 能催化磷酸单脂水解,并介导磷酸基团转移反应,降解并破坏表面含有磷酸酯的外源异物。因此,血浆中 LZM 与 ACP 的活力是鱼机体非特异性免疫功能的重要指标[27]。本实验中,酵母 RNA 组鱼体血浆 LZM、ACP 活力均显著高于对照组( $P < 0.05$ ),这与在凡纳滨对虾的研究结果相符[28]。外源核苷酸影响机体溶菌酶及酸性磷酸酶活力可能是机体内白细胞的代谢周期短,因而其吞噬异物以及分泌活动增强时,需要一定外源核苷酸来维持;而饲料中的酵母 RNA 能在机体内消化分解后进入核苷酸池,供白细胞利用从而提高其分泌 LZM、ACP 的量[29]。 $\beta$ -葡聚糖组与酵母组鱼体血浆 LZM 及 ACP 活力均显著高于对照组( $P < 0.05$ ),一般认为  $\beta$ -葡聚糖能较好的刺激鱼类免疫系统,增强鱼体免疫酶的活力;并且多糖的免疫刺激作用借助细胞表面的受体得以发挥, $\beta$ -葡聚糖在与吞噬细胞表面的多糖受体结合后,能增强其吞噬以及酶分泌等活动[30]。酵母 RNA 与  $\beta$ -葡聚糖配合使用时,血浆 LZM 与 ACP 活力最高,且与对照组和单独添加组均差异显著( $P < 0.05$ ),说明酵母 RNA 与  $\beta$ -葡聚糖配合使用对提高吉富罗非鱼血浆 LZM 及 ACP 活力的效果明显好于单独添加酵母 RNA 或  $\beta$ -葡聚糖。

血清蛋白分为两类,一类是白蛋白,另一类是球蛋白。血清球蛋白由  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  三部分组成,血液的  $\gamma$  球蛋白几乎都属于免疫球蛋白(Ig),而  $\beta$  球蛋白中也存在少部分免疫球蛋白。其在动物机体中的作用包括:中和毒素、破坏病毒结构、抑制病原体的生长繁殖以及发挥免疫调节功能等,因此,血液中的球蛋白含量是机体体液免疫水平的一个重要标志[31]。本实验在非供毒条件下,在单独添加组中,0.04%酵母 RNA 组、0.2%  $\beta$ -葡聚糖组鱼体血清总蛋白(TP)、白蛋白(ALB),特别是球蛋白(GLB)值均显著高于对照组( $P < 0.05$ );这与在南亚野鲮、花鲈、齐口裂腹鱼的研究结果相符[32] [33];而投喂 0.2%酵母后,鱼血清 TP、ALB、GLB 明显升高,且较对照组差异显著( $P < 0.05$ ),与在异育银鲫的研究结果较为一致;说明罗非鱼幼鱼饲料中添加酵母 RNA、酵母或  $\beta$ -葡聚糖均能刺激鱼类免疫,提高血清总蛋白、白蛋白,特别是球蛋白的含量,增强免疫性能。酵母 RNA +  $\beta$ -葡聚糖复合物组鱼体 TP、GLB 含量最高,显著高于单独

添加 $\beta$ -葡聚糖、酵母 RNA 组及酵母组, A/G 显著低于单独添加 $\beta$ -葡聚糖、酵母 RNA 组、酵母组, 说明酵母 RNA 与 $\beta$ -葡聚糖配合使用对提高血清球蛋白的含量具有协同作用。

## 5. 结论

饲料中添加酵母、酵母 RNA、酵母 RNA +  $\beta$ -葡聚糖复合物均能提高吉富罗非鱼幼鱼的生长性能; 添加 0.04% 酵母 RNA 时效果最好。饲料中添加酵母、酵母 RNA、 $\beta$ -葡聚糖、酵母 RNA +  $\beta$ -葡聚糖复合物均能提高吉富罗非鱼幼鱼免疫性能; 其中 0.04% 酵母 RNA 与 0.2% $\beta$ -葡聚糖配合使用的情况下, 效果最好。建议在一般罗非鱼饲料中添加酵母 RNA; 养殖鱼病高发期在罗非鱼饲料中添加酵母 RNA +  $\beta$ -葡聚糖复合物。

## 基金项目

广西南宁科技局项目(201303071G)。

## 参考文献

- [1] 农业部渔业局. 2008 中国渔业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 190.
- [2] 郭玉娟, 张德锋, 樊海平, 等. 中国南方地区罗非鱼无乳链球菌的分子流行病学研究[J]. 水产学报, 2012, 36(3): 399-406.
- [3] 刘志刚, 可小丽, 卢迈新, 等. 温度对尼罗罗非鱼无乳链球菌毒力的影响[J]. 水产学报, 2013, 37(11): 1733-1741.
- [4] 陈爱平, 朱泽闻, 王立新. 2006 年中国水产养殖病害检测报告[J]. 科学养鱼, 2006, 9(11): 48.
- [5] NRC (National Research Council) (2011) Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington, DC, 114.
- [6] 徐磊, 刘波, 谢骏, 等. 酵母培养物对异育银鲫生长、血液生化以及免疫的影响[J]. 江苏农业科学, 2010(6): 371-374.
- [7] Burrells, C., Williams, P.D. and Forno, P.F. (2001) Dietary Nucleotides: A Novel Supplement in Fish Feeds 1. Effects on Resistance to Disease In salmonids. *Aquaculture*, **199**, 159-169. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00577-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00577-4)
- [8] 王锐, 庄建桥, 朱慧玲, 等. 外源核苷酸对异育银鲫幼鱼非特异性免疫的影响[J]. 水生态学杂志, 2009, 2(3): 96-98.
- [9] 张辽, 温安祥.  $\beta$ -葡聚糖对齐口裂腹鱼生长及免疫功能的影响[J]. 动物营养学报, 2009, 21(5): 688-689.
- [10] AOAC (1990) Official Methods of Analysis. 15th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, 67-78.
- [11] Halver, J.E. and Hardy, R.W. (2002) Fish Nutrition. 3rd Edition, Academic Press, London, 26-31.
- [12] Li, P. and Gatlin III, D.M. (2006) Nucleotide Nutrition in Fish: Current Knowledge and Future Applications. *Aquaculture*, **251**, 141-152. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.01.009>
- [13] 赵华, 王康宁. 外源核苷酸营养生理作用研究进展[J]. 动物营养学报, 2004, 15(4): 7-11.
- [14] Cook, M.T., Hayball, P.J., Hutchinson, W., Nowak, B.F. and Hayball, J.D. (2003) Administration of a Commercial Immunostimulant Preparation, EcoActiva™ as a Feed Supplement Enhances Macrophage Respiratory Burst and Growth Rate of Snapper (*Pagrus auratus*, Sparidae (Bloch and Schneider)) in Winter. *Fish & Shellfish Immunology*, **14**, 333-345. <https://doi.org/10.1006/fsim.2002.0441>
- [15] Misra, C.K., Das, B.K., Mukherjee, S.C. and Pattnaik, P. (2006) Effect of Long Term Administration of Dietary  $\beta$ -Glucan on Immunity, Growth and Survival of *Labeo rohita* Fingerlings. *Aquaculture*, **255**, 82-94. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.12.009>
- [16] Ai, Q.H., Mai, K.S., Zhang, L., Tan, B.P., Zhang, W.B., Xu, W. and Li, H.T. (2007) Effects of Dietary  $\beta$ -1,3 Glucan on Innate Immune Response of Large Yellow Croaker, *Pseudosciaena crocea*. *Fish Shellfish Immunology*, **22**, 394-402. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2006.06.011>
- [17] 周艳萍, 黄峰, 等.  $\beta$ -葡聚糖对异育银鲫生长性能和非特异性免疫的影响[J]. 中国饲料, 2008(13): 34-35.
- [18] 许国焕, 吴月端, 陶家发. 两种多聚糖对彭泽鲫生长影响及免疫促进作用的初步研究[J]. 水利渔业, 2002, 22(4): 49-51.



- [19] Hashish, K., Onodera, K. and Akiba, Y. (1999) Effect of Dietary Xylitolon Growth and Inflammatory Responses in Immunostimulated Chickens. *British Poultry Science*, **40**, 552-554. <https://doi.org/10.1080/00071669987359>
- [20] Tovar, D., Zambonino, J., Cahu, C., Gatesoupe, F.J., Vazquez-Juarez, R. and Lesel, R. (2002) Effect of Live Yeast Incorporation in Compound Diet on Digestive Enzyme Activity in Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) Larvae. *Aquaculture*, **204**, 113-123. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00650-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00650-0)
- [21] 朱志明. 酿酒酵母营养调控功能及其在水产饲料中的应用研究进展[J]. 动物营养学报, 2014, 26(12): 1-6.
- [22] 刘倩. 复合免疫增强剂对凡纳滨对虾生长、存活及非特异性免疫力的影响[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- [23] Edwards, J., Green, J.H. and Rees, T. (1988) Activity of Branching Enzyme as a Cardinal Feature of the Ra Locus in *Pisum sativum*. *Phytochemistry*, **27**, 1615-1620.
- [24] 方允中. 自由基与酶[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 156-160.
- [25] 苗新, 曹娟娟, 徐玮, 等. 核苷酸对大黄鱼生长性能、肠道形态和抗氧化能力的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(8): 1140-1148.
- [26] 刘立鹤, 郑石轩, 谭斌, 等. 不同饲料配方  $\beta$ -葡聚糖对凡纳滨对虾生长性能、非特异性免疫力的影响及成本分析[J]. 饲料工业, 2005, 26(8): 26-30.
- [27] 向泉. 酵母核苷酸对鲤生长性能、体组成及血清免疫指标的影响[J]. 动物营养学报, 2011, 23(1): 171-178.
- [28] 王广军, 朱旺明. 酵母核苷酸对凡纳滨对虾生长、免疫及抗应激影响的研究[J]. 饲料工业, 2006, 27(8): 29-31.
- [29] 许群, 王安利. 核苷酸对动物摄食、生长与免疫功能的影响[J]. 动物营养学报, 2004(4): 13-17.
- [30] 李万坤, 闫鸿斌, 才学鹏, 等.  $\beta$ -葡聚糖的免疫增强作用机理研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2007, 34(5): 151-153.
- [31] 肖克宇. 水产动物免疫与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 343-370.
- [32] Choudhury, D. (2005) Dietary Yeast RNA Supplementation Reduces Mortality by *Aeromonas hydrophila* in Rohu (*Labeo rohita* L.) Juveniles. *Fish & Shellfish Immunology*, No. 19, 281-291.
- [33] 吴春玉, 曹俊明, 黄燕华, 等. 饲料中添加  $\beta$ -葡聚糖对花鲈生长性能、体成分、血清生化指标和抗氨氮应激能力的影响[J]. 动物营养学报, 2013, 25(12): 3033-3040.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2373-1443, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ojfr@hanspub.org](mailto:ojfr@hanspub.org)