

文章编号: 1674-5566(2024)05-1144-11

DOI: 10.12024/jsou.20230904313

饲料中胰酶添加水平对大口黑鲈幼鱼生长性能、生化指标和肝肠组织结构的影响

张 娇^{1,2}, 刘崇万^{1,3}, 朱晓华^{1,3}, 杨志强¹, 李潇轩¹, 杨洪生^{1,3}, 李昊泽³

(1. 江苏省淡水水产研究所, 江苏 南京 210017; 2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 3. 江苏省水产质量检测中心, 江苏 南京 210017)

摘要: 为研究饲料中添加胰酶对大口黑鲈幼鱼生长性能、生化指标与肝肠组织结构的影响, 选用初始体质量为(8.00±0.50)g的大口黑鲈630尾, 随机分为6组, 每组3个重复, 每个重复35尾。对照组只投喂基础饲料, 5个实验组添加不同浓度的胰酶(P250组、P500组、P750组、P1000组、P1250组), 配制成5种等氮等脂的试验饲料, 实验周期为70d。结果显示: 随着胰酶添加量的增加, 鱼体生长性能先升高后下降, 其中P750组的终末均质量、增重率及特定生长率最高, 饲料系数最低, 且与对照组均存在显著差异; 与对照组相比, 血清总蛋白与白蛋白含量均有所上升, 分别在P500组和P750组最高; P500组和P750组的血清甘油三酯与总胆固醇含量显著降低; 谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性随胰酶添加量的增加先下降后上升, P750组谷草转氨酶活性最低, 碱性磷酸酶活性最高。与对照组相比, P500组和P750组肝脂空泡化面积显著降低、绒毛宽度显著上升; P500组绒毛数量显著提高。综上, 饲料中添加胰酶对大口黑鲈生长性能、生化指标、肝脏抗氧化与肝肠组织结构均有显著的改善作用, 且胰酶呈现剂量效应。综合分析及以增重率为指标, 建议大口黑鲈饲料中胰酶适宜添加量为679 mg/kg。

关键词: 大口黑鲈; 胰酶; 生长性能; 肝肠组织结构

中图分类号: S 963.1; S 965.21 **文献标志码:** A

大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)作为典型的肉食性鱼类, 一方面, 大口黑鲈利用淀粉提供能量的能力有限^[1], 饲料中淀粉水平超过一定水平时易对其肝组织的肝糖原含量和组织结构产生营养胁迫^[2], 但淀粉又是饲料生产中必不可少的黏结及膨化成分。另一方面, 大口黑鲈自身对蛋白需求量较高, 但因其消化道较短, 饲料中的蛋白无法被充分吸收利用, 导致蛋白吸收率较低^[3]。因此, 如何提高淀粉利用率、蛋白质吸收效率成为促进大口黑鲈产业健康发展亟待解决的问题。

上述问题可以通过在饲料中加入酶制剂来改善。在幼鱼阶段, 鱼类的消化系统尚未发育完全, 消化腺分泌的消化酶尚不充足, 在此阶段添加外源酶可以补充内源酶的不足^[4]。胰酶(Pancreatin)作为一种多酶产物, 通常从动物胰腺

中提取, 其天然酶学性质能够重建消化要素, 在生产中被用于调节胰腺的生理功能, 从而促进营养物质的消化和吸收^[5]。胰酶主要由胰蛋白酶、胰脂肪酶和胰淀粉酶组成, 其中胰蛋白酶可将蛋白分解为蛋白胨; 胰脂肪酶可将脂肪分解为甘油与脂肪酸; 胰淀粉酶可将淀粉分解为糊精与糖, 胰酶在肠液中将蛋白质、脂肪和淀粉分解为小分子物质后, 可以促进鱼类的消化并增进食欲。目前消化酶补充剂在畜禽中使用较多^[6], 可缓解肉鸡肠道炎症, 提高肠道消化酶活性及生长性能^[7]。在水产动物饲料的研究中, 蛋白酶、纤维素酶等酶制剂可提高虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)胃、肠蛋白酶活性, 改善肠道组织结构及鱼体生长性能^[8], 有效地促进大口黑鲈对营养物质的消化和吸收, 进而改善饲料利用率, 提高大口黑鲈的生长性

收稿日期: 2023-09-17 修回日期: 2024-01-30

基金项目: 江苏现代农业(大宗鱼类)产业技术体系建设项目(JATS[2022]371, JATS[2023]334)

作者简介: 张 娇(1998—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: zurini0206@163.com

通信作者: 刘崇万, E-mail: liuchongwanujs@126.com

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

能^[9],减少大口黑鲈肝脏和鱼体脂质积累,提高基础能量代谢水平^[10]。但目前研究显示胰酶在水产饲料应用较少,尤其是尚未有关大口黑鲈饲料中适宜胰酶添加量的研究。

基于上述现状,本试验以大口黑鲈幼鱼为研究对象,研究在饲料中添加不同浓度水平的胰酶对大口黑鲈生长性能、生化指标与肝脏、肠道组织结构的改善作用,以确定胰酶在大口黑鲈饲料中的适宜用量,为胰酶在大口黑鲈配合饲料中的应用提供一些理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

配制 6 组等氮试验饲料,各组分别添加 0、250、500、750、1 000 和 1 250 mg/kg 胰酶,配制成 6 种等氮等脂实验饲料(P0、P250、P500、P750、P1000、P1250)。胰酶由上海欧耐施生物技术有限公司提供(有效成分标示值为胰蛋白酶 500 U/g、胰淀粉酶 500 U/g、胰脂肪酶 1 000 U/g,主要从猪胰腺组织中提取)。原料经 YX3-132M-4 粉碎机粉碎后,过 60 目筛,预混后将全部原料集中投入混合机搅拌混合均匀,后加入鱼油和大豆磷脂油进行捏合,油脂混匀后过 60 目筛,搅拌机集中加入 20% 水搅拌混合,再用 DSP60-C 型膨化机制成粒径为 2 mm 的膨化饲料,自然风干后放入密封袋中,置于 -20 °C 冰箱中保存备用。胰酶添加方法参照林少珍等^[4],试验组于每日投喂前一晚,按胰酶添加量用 PBS(无 Ca、Mg 离子)溶解后,置于 4 °C 冰箱一夜,投喂时均匀喷于颗粒表面。试验基础饲料组成及营养水平、添加剂有效成分见表 1。

1.2 试验鱼与饲养管理

试验用鱼苗购自江苏省镇江市欣润农业发展有限公司,鱼苗于江苏省淡水水产研究所禄口基地水泥养殖池暂养 14 d。将 630 尾初始体质量为(8.00±0.50)g 的大口黑鲈,随机分成 6 组,每组 3 个重复,每个重复 35 尾,随机分配到规格为 2 m×3 m×1 m 的 18 个室外水泥养殖池中,养殖池配备增氧阀和循环系统,用水经过曝气处理。试验历时 70 d,初始投喂饲料量为初始体质量的 3%,每天 6:30、18:30 进行投喂,投喂量依据鱼体生长情况而定。每周对试验鱼进行称重,根据鱼体生长情况调整投喂饲料规格。养殖实验期间光照为室外自然光,水温 22~31 °C,氨氮浓度 <

0.20 mg/L,溶解氧浓度 >5.0 mg/L,pH 7.5~8.3。

1.3 样品采集与检测

养殖试验结束后禁食 24 h。从每个养殖池中随机选取 3 尾鱼,用 80 mg/L 三氯叔丁醇麻醉后,逐一称量体长、体质量以及内脏团、肝脏的质量,用于计算生长与形体指标;用氟化钠草酸钾抗凝剂润洗过的注射器从麻醉鱼的尾静脉抽取血液,静置 30 min 后在 4 °C、4 000 r/min 条件下离心 10 min,取上清液备用,液氮速冻后,置于 -80 °C 冻存;取 0.1~0.2 g 肝脏,液氮速冻后,-80 °C 冻存,用于测定肝脏生化指标与抗氧化指标;随机取 3 尾鱼的肝脏前叶、肠道中肠,4% 多聚甲醛固定后,用于肝脏、肠道组织切片观察。

1.4 指标测定

1.4.1 常规营养成分

采用直接干燥法、凯氏定氮法(GB 5009.5—2016)、酸水解粗脂肪法(GB/T 6433—2006)、550 °C 灼烧法(GB/T 6438—2007)测定饲料的水分、粗蛋白、粗脂肪、粗灰分含量。胰蛋白酶、胰淀粉酶、胰脂肪酶活性使用 ELISA 检测试剂盒测定。

1.4.2 生长指标与形体指标

生长及形体指标为大口黑鲈的终末均质量(Final body weight, FBW)、增重率(Weight gain rate, WGR)、饲料系数(Feed conversion ratio, FCR)、特定生长率(Specific growth rate, SGR)、存活率(Survival rate, SR)、摄食率(Feed intake, FI)、肥满度(Condition factor, CF)、脏体指数(Visceral index, VSI)、肝体指数(Hepatosomatic index, HSI),计算公式:

$$W_{CR}=(W_f-W_i)/W_i\times 100\% \quad (1)$$

$$F_{CR}=I_t/(W_i-W_0) \quad (2)$$

$$S_{GR}=(\ln W_f-\ln W_i)/t\times 100\% \quad (3)$$

$$S_R=N_f/N_0\times 100\% \quad (4)$$

$$F_i=C/[(W_0+W_f)/2\times t]\times 100\% \quad (5)$$

$$C_F=W_f/L^3\times 100\% \quad (6)$$

$$V_{SI}=W_v/W_f\times 100\% \quad (7)$$

$$H_{SI}=W_h/W_f\times 100\% \quad (8)$$

式中: W_f 为终末均质量, g; W_i 为初体质量, g; I_t 为总摄食饲料干质量, g; t 为实验天数, d; W_0 为实验初鱼总质量, g; W_f 为实验终末鱼总质量, g; N_0 为实验初始鱼尾数; N_f 为实验终末鱼尾数; C 为总摄食量, g; L 为鱼体体长, cm; W_v 为鱼体内脏质量, g; W_h 为鱼体肝脏质量, g。

表1 实验饲料配方及营养组成(风干基础)
Tab. 1 Ingredients and proximate nutrient compositions of experimental diets (air-dry basis)

项目 Items	含量 Content					
	P0	P250	P500	P750	P1000	P1250
原料 Ingredients						
鱼粉 Fish meal	45%	45%	45%	45%	45%	45%
虾粉 Shrimp meal	5%	5%	5%	5%	5%	5%
豆粕 Soybean meal	15%	15%	15%	15%	15%	15%
菜粕 Rapeseed meal	13%	13%	13%	13%	13%	13%
大豆浓缩蛋白 Soybean protein concentrate	4%	4%	4%	4%	4%	4%
面粉 Weat flour	9%	9%	9%	9%	9%	9%
大豆磷脂油 Soybean lecithin	2%	2%	2%	2%	2%	2%
鱼油 Fish oil	2%	2%	2%	2%	2%	2%
胆碱 Choline	1%	1%	1%	1%	1%	1%
维生素和矿物元素预混料 Premix ¹⁾	2%	2%	2%	2%	2%	2%
蛋氨酸 Methionine	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
胆汁酸 Bile acid	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.87%	1.87%	1.87%	1.87%	1.87%	1.87%
合计 Total	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
胰酶 Pancreatin/(mg/kg)	0	250	500	750	1 000	1 250
营养组成 Proximate nutrient composition ²⁾						
粗蛋白 Crude protein/%	50.74	49.66	50.67	49.88	50.79	49.28
粗脂肪 Crude lipid/%	9.86	9.97	10.02	9.81	9.93	9.87
粗灰分 Crude ash/%	15.59	15.38	15.64	15.70	15.50	15.72
水分 Moisture/%	8.62	8.55	8.74	8.66	8.72	8.44
胰蛋白酶活性 Trypsin activity/(U/kg)	0	316.87	633.74	950.61	1 267.48	1 584.35
胰脂肪酶活性 Pancrelipase activity/(U/kg)	0	950.34	1 900.68	2 851.02	3 801.36	4 751.70
胰淀粉酶活性 Amylopsin activity/(U/kg)	0	480.95	961.90	1 442.85	1 923.8	2 404.75

注:1)预混料为每千克饲料提供:V_A 20 mg、V_{B12}(1%) 8 mg、V_D 10 mg、V_E 15 mg、V_K 15 mg、V_C 15 mg、核黄素 40 mg、肌醇 320 mg、烟酰胺 80 mg、叶酸 5 mg、生物素 2 mg、Na 30 mg、K 50 mg、Mg 100 mg、Mn 14 mg、I 1.6 mg、Se 0.2 mg、Co 0.8 mg、FeSO₄ 25 mg、ZnSO₄ 35 mg、CuSO₄ 3 mg; 2)营养水平为测定值。

Notes: 1) Premix provides per kilogram of feed: V_A 20 mg, V_{B12}(1%) 8 mg, V_D 10 mg, V_E 15 mg, V_K 15 mg, V_C 15 mg, riboflavin 40 mg, inositol 320 mg, niacinamide 80 mg, folate 5 mg, biotin 2 mg, Na 30 mg, K 50 mg, Mg 100 mg, Mn 14 mg, I 1.6 mg, Se 0.2 mg, Co 0.8 mg, FeSO₄ 25 mg, ZnSO₄ 35 mg, CuSO₄ 3 mg; 2) Nutrient levels were measured values.

1.4.3 生理生化指标

血清中总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、葡萄糖(Glu)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白(LDL-C)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)含量以及谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)、碱性磷酸酶(AKP)活性,肝脏中总蛋白(TP)、葡萄糖(Glu)与甘油三酯(TG)含量均使用日本东芝全自动生化分析仪进行测定;肝脏超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)、总抗氧化能力(T-AOC)、谷胱甘肽-S转移酶(GSH-ST)均按对应试剂盒说明书进行测定(试剂盒购自南京建成生物工程研究所)。

1.4.4 肠道组织形态观察

肝脏、肠道标本用4%多聚甲醛固定后,参照张冬梅等^[11]的方法采集肝脏、肠道切片图,使用Image-pro plus 6.0软件对肠道绒毛高度、宽度、数量及肌层厚度等进行测定,计算肝脂空泡面积。

1.5 计算和统计分析

采用Excel 2016及SPSS 26.0进行试验数据处理与分析。统计分析采用One-way ANOVA进行方差齐性检验,LSD检验多重比较。 $P < 0.05$ 表示差异显著。若检测到显著差异($P < 0.05$),则进行Duncan's法后期检验以确定处理之间的显著差异。所有数据均以均值±标准误(Mean±SE)表示。

2 结果

2.1 饲料中添加胰酶对大口黑鲈幼鱼生长性能的影响

经过 70 d 的养殖实验,基础饲料中添加不同浓度的胰酶对大口黑鲈幼鱼生长性能的影响见表 2。表 2 表明,随着饲料中胰酶添加量的增加,

鱼体生长性能呈现先升高后下降的趋势,其中添加 750 mg/kg 胰酶组的 FBW、WGR 及 SGR 最高,FCR 最低,且和对照组均存在显著差异($P < 0.05$),而添加 1 250 mg/kg 胰酶组的上述指标与对照组无显著差异($P > 0.05$)。P250、P750 和 P1250 组的 SR 显著高于对照组($P < 0.05$),而 FI 在各组间无显著差异($P > 0.05$)。

表 2 饲料中添加胰酶对大口黑鲈幼鱼生长性能的影响
Tab. 2 Effects of pancreatin supplementation on growth performance of juvenile largemouth bass

项目 Items	组别 Groups					
	P0	P250	P500	P750	P1000	P1250
终末均质量 FBW/g	47.73±1.39 ^b	49.88±2.44 ^{ab}	52.50±2.02 ^{ab}	54.85±1.84 ^a	50.10±0.99 ^{ab}	48.16±1.33 ^b
增重率 WGR/%	496.56±17.32 ^b	523.48±30.49 ^{ab}	556.24±25.31 ^{ab}	585.68±23.05 ^a	526.23±12.33 ^{ab}	501.94±16.62 ^b
特定增长率 SGR/(%/d)	3.84±0.03 ^b	3.87±0.04 ^{ab}	3.92±0.04 ^{ab}	3.97±0.03 ^a	3.88±0.02 ^{ab}	3.83±0.03 ^b
饲料系数 FCR	0.96±0.03 ^a	0.93±0.04 ^{ab}	0.92±0.04 ^{ab}	0.83±0.03 ^b	0.97±0.02 ^a	0.96±0.03 ^a
摄食率 FI/%	1.94±0.18	1.89±0.26	1.98±0.20	1.76±0.25	2.01±0.17	1.94±0.22
存活率 SR/%	96.19±0.95 ^b	100.00±0 ^a	96.19±1.90 ^b	100.00±0 ^a	99.05±0.95 ^{ab}	100.00±0 ^a

注:同行数据肩标无字母或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($P < 0.05$)。

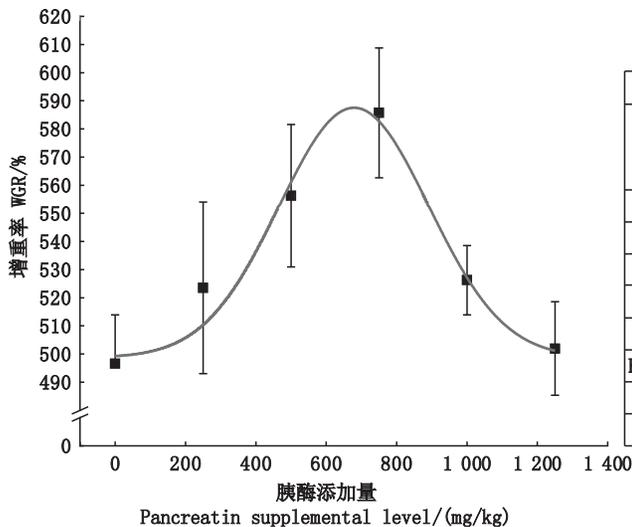
Notes: In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$).

2.2 大口黑鲈幼鱼饲料中适宜添加剂水平

用 Gauss 回归模型分析大口黑鲈 WGR 与添加剂水平之间的关系,得到不同浓度水平胰酶添加量(X)与大口黑鲈增重率(Y)的 Gauss 回归方程(图 1):

$$Y = 498.742 + \frac{47\ 324.018}{425.358 \sqrt{\frac{\pi}{2}}} e^{-2 \frac{(X - 678.894)^2}{425.358^2}}$$

$R^2=0.979$,经计算,饲料中胰酶适宜添加量为 678.894 mg/kg≈679 mg/kg。



模型	Gauss
方程	$Y=498.742 + \frac{47\ 324.018}{425.358 \sqrt{\frac{\pi}{2}}} e^{-2 \frac{(X-678.894)^2}{425.358^2}}$
绘图	增重率
Y_0	498.741 73±5.192 63
X_c	678.894 18±22.090 31
w	425.358 17±51.912 98
A	47 324.017 69±6 978.428 14
Reduced Chi-Sqr	0.135 37
R^2_{adj}	0.979 31
调整后 R^2	0.948 27

图 1 饲料中添加剂水平与大口黑鲈幼鱼增重率 WGR 的回归关系

Fig. 1 Regression relationship between dietary additive level and WGR of juvenile largemouth bass

2.3 饲料中添加胰酶对大口黑鲈幼鱼脏器指数和形体指标的影响

由表 3 可知,饲料中添加不同浓度水平的胰酶对大口黑鲈幼鱼脏器指数与形体指标无显著

影响($P > 0.05$),但 P500、P750 组相较于 P0 组,HSI、VSI 都有不同程度的降低,添加胰酶后,CF 也有所提高($P > 0.05$)。

表3 饲料中添加胰酶对大口黑鲈幼鱼形体指标和脏器指数的影响

Tab. 3 Effects of pancreatin supplementation on physical indices and organ indices of juvenile largemouth bass

项目 Items	组别 Groups					
	P0	P250	P500	P750	P1000	P1250
脏器指数 VSI/%	9.35±0.34	8.86±0.24	9.05±0.22	8.99±0.12	8.73±0.36	9.20±0.22
肝体指数 HSI/%	2.21±0.17	2.00±0.09	1.88±0.15	1.84±0.10	2.11±0.09	2.22±0.12
肥满度 CF/(g/cm ³)	1.28±0.03	1.36±0.05	1.32±0.04	1.36±0.02	1.45±0.04	1.37±0.04

2.4 饲料中添加胰酶对大口黑鲈幼鱼血清生化组成及酶活性的影响

如表4所示,饲料中添加胰酶后,与对照组相比,TP与ALB含量均有所上升,分别在P500组和

P750组最高;P500组和P750组的TG与TC含量显著降低($P < 0.05$);AST和ALB活性随胰酶添加量的增加,先下降后上升,P750组AST活性最低、AKP活性最高。

表4 饲料中添加胰酶对大口黑鲈幼鱼血清生化组成及酶活性的影响

Tab. 4 Effects of pancreatin supplementation on serum biochemical composition and enzyme activity of juvenile largemouth bass

项目 Items	组别 Groups					
	P0	P250	P500	P750	P1000	P1250
总蛋白 TP/(g/L)	27.77±1.23 ^c	29.65±0.82 ^{bc}	33.98±1.63 ^a	29.23±1.13 ^{bc}	32.47±1.25 ^{ab}	32.25±1.68 ^{ab}
白蛋白 ALB/(g/L)	12.77±0.55 ^{bc}	13.28±0.35 ^{bc}	14.23±0.57 ^{ab}	15.18±0.60 ^a	13.82±0.61 ^{abc}	12.42±0.51 ^c
葡萄糖 Glu/(mmol/L)	6.94±0.90 ^{ab}	7.71±0.87 ^{ab}	6.68±0.65 ^{ab}	6.49±0.62 ^{ab}	8.15±0.45 ^a	5.64±0.28 ^b
甘油三酯 TG/(mmol/L)	9.82±0.91 ^a	8.29±0.77 ^a	5.59±0.39 ^b	3.68±0.47 ^b	9.75±0.65 ^a	9.29±1.01 ^a
总胆固醇 TC/(mmol/L)	8.17±0.11 ^{bc}	8.78±0.27 ^{ab}	7.01±0.38 ^d	7.87±0.25 ^c	8.13±0.34 ^{bc}	9.46±0.22 ^a
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C/(mmol/L)	2.44±0.19 ^b	2.73±0.22 ^b	3.23±0.17 ^a	2.64±0.11 ^b	2.28±0.10 ^b	2.38±0.17 ^b
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C/(mmol/L)	2.68±0.17 ^c	3.48±0.18 ^b	4.27±0.10 ^{ab}	3.59±0.13 ^b	4.48±0.46 ^a	3.90±0.29 ^{ab}
谷草转氨酶 AST/(U/L)	193.83±50.02 ^a	61.00±15.37 ^b	63.33±7.21 ^b	47.33±7.51 ^b	82.00±13.14 ^b	51.17±14.20 ^b
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	5.67±0.62	4.67±0.84	4.00±1.34	4.17±1.05	5.50±0.92	7.00±0.68
碱性磷酸酶 AKP/(U/L)	5.17±4.96 ^b	10.00±5.06 ^{ab}	15.67±3.44 ^{ab}	24.17±19.82 ^a	20.83±21.46 ^{ab}	13.67±5.65 ^{ab}

注:同行数据肩标无字母或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($P < 0.05$)。

Notes: In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$).

2.5 饲料中添加胰酶对大口黑鲈幼鱼肝脏生化指标的影响

由表5可知,大口黑鲈肝脏Glu与TG含量各组之间无显著差异($P > 0.05$)。在大口黑鲈饲料中添

加胰酶对SOD活性无显著影响($P > 0.05$);GSH-ST和T-AOC活性随胰酶添加水平的升高呈现先上升后下降的趋势($P < 0.05$);MDA活性随胰酶添加水平的升高呈现先下降后上升的趋势($P < 0.05$)。

表5 饲料中添加胰酶对大口黑鲈幼鱼肝脏生化指标的影响

Tab. 5 Effects of pancreatin supplementation on liver biochemical indices of juvenile largemouth bass

项目 Items	组别 Groups					
	P0	P250	P500	P750	P1000	P1250
葡萄糖 Glu/(mmol/g)	20.46±2.93	25.31±3.60	24.44±2.37	20.18±0.91	21.43±1.60	22.51±1.12
甘油三酯 TG/(mmol/g)	1.36±0.11	1.52±0.22	1.38±0.14	1.27±0.06	1.69±0.25	1.35±0.18
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mg)	152.93±3.31	142.97±1.77	152.51±4.63	150.00±3.46	147.35±4.04	144.68±2.92
丙二醛 MDA/(nmol/mg)	7.93±0.16 ^a	7.64±0.17 ^{ab}	6.59±0.35 ^{cd}	6.73±0.33 ^{cd}	6.01±0.27 ^d	6.97±0.31 ^{bc}
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mg)	13.48±0.19 ^d	15.38±0.39 ^{ab}	15.48±0.46 ^a	14.82±0.32 ^{abc}	14.17±0.21 ^{cd}	14.41±0.35 ^{bcd}
谷胱甘肽-S转移酶 GSH-ST/(U/mg)	38.69±1.07 ^c	39.99±0.84 ^c	48.06±2.59 ^{ab}	52.74±1.64 ^a	47.48±2.61 ^{ab}	42.11±2.48 ^{bc}

注:同行数据肩标无字母或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($P < 0.05$)。

Notes: In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$).

2.6 饲料中添加胰酶对大口黑鲈幼鱼肝脏、肠道组织形态的影响

如表6所示,与对照组相比,P500组和P750组VS显著降低($P<0.05$)、VW显著上升($P<0.05$);P500组VN显著提高($P<0.05$)。饲料中添加胰酶对大口黑鲈肝脏、肠道组织结构的影响见图2和图3。

3 讨论

3.1 饲料中添加胰酶对大口黑鲈幼鱼的生长性能与形体指标的影响

本试验结果表明,P750组的FBW、WGR和

SGR相对较高,FCR及FI均最低,说明添加胰酶可以显著改善大口黑鲈的生长性能及形体指标,可能是因为饲料中添加胰酶后,胰酶把蛋白质等营养物质分解成小分子,再通过循环系统输送到组织细胞,促进营养物质的吸收,获得了更好的生长效果。另有研究也得到类似结论,如通过在饲料中添加外源蛋白酶、胰酶、淀粉酶等酶制剂,可改善孔雀鲈鱼(*Cichla intermedia*)的WGR和SGR^[12],增加金头鲷仔鱼(*Sparus aurata*)对饲料的吸收,使其干重增加了48%^[13],提高了尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)的FBW和SGR^[14]。

表6 饲料中添加胰酶对大口黑鲈幼鱼肝肠组织形态的影响

Tab. 6 Effects of pancreatin supplementation on hepato-intestinal morphology of juvenile largemouth bass

项目 Items	组别 Groups					
	P0	P250	P500	P750	P1000	P1250
肝脂空泡化面积 VS/ μm^2	261.77 \pm 53.33 ^a	184.65 \pm 17.57 ^{ab}	143.34 \pm 3.28 ^b	105.74 \pm 20.48 ^b	163.01 \pm 23.59 ^{ab}	144.93 \pm 42.09 ^b
绒毛高度 VH/ μm	895.89 \pm 127.55	720.42 \pm 80.61	881.89 \pm 92.79	673.52 \pm 101.17	738.04 \pm 90.24	596.41 \pm 71.22
绒毛宽度 VW/ μm	131.50 \pm 11.17 ^b	144.67 \pm 13.43 ^b	184.26 \pm 13.58 ^a	189.41 \pm 7.68 ^a	167.57 \pm 12.11 ^{ab}	167.56 \pm 11.66 ^{ab}
绒毛数量 VN/(个/ μm^2)	20.33 \pm 0.92 ^b	20.50 \pm 0.85 ^{ab}	22.67 \pm 2.26 ^a	18.83 \pm 1.80 ^{ab}	23.00 \pm 1.15 ^a	17.33 \pm 1.36 ^b
肌层厚度 WT/ μm	167.02 \pm 19.57 ^{bc}	214.21 \pm 1.53 ^{ab}	217.77 \pm 6.37 ^{ab}	203.85 \pm 8.73 ^{ab}	108.10 \pm 14.67 ^c	257.09 \pm 55.07 ^a

注:同行数据肩标无字母或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($P<0.05$)。

Notes: In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$).

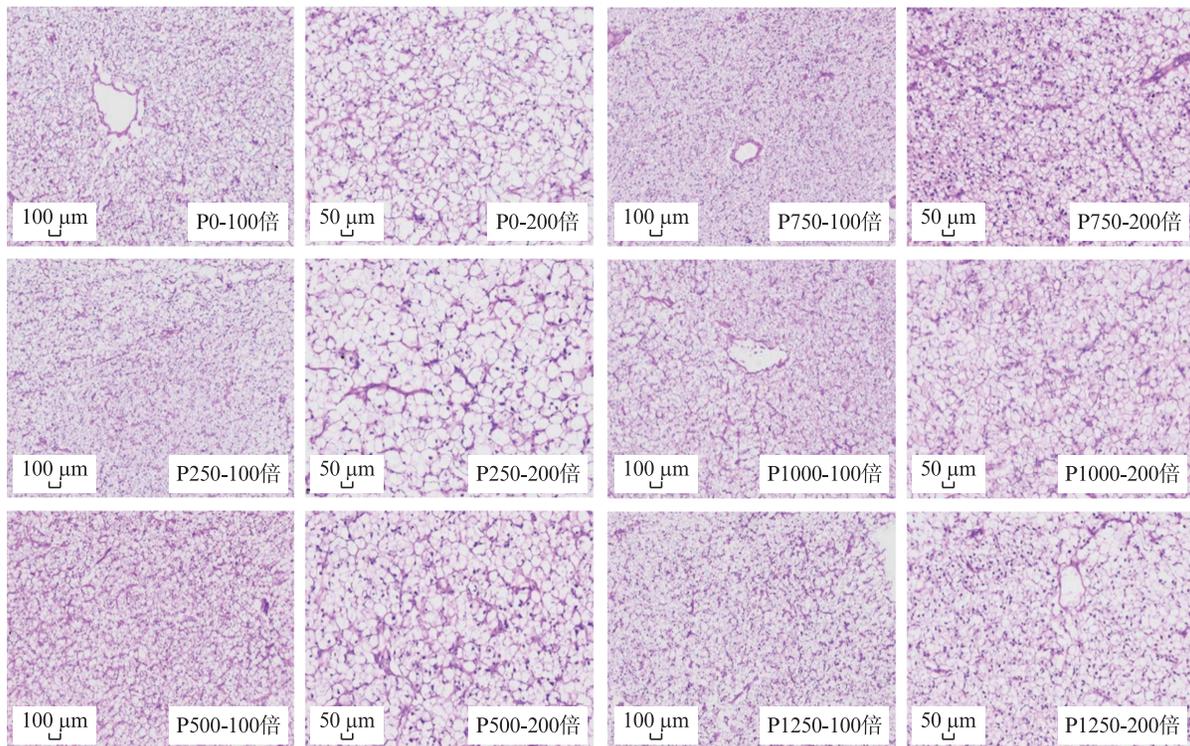


图2 饲料中添加胰酶对大口黑鲈幼鱼肝脏组织形态的影响

Fig. 2 Effects of pancreatin supplementation on liver morphology of juvenile largemouth bass

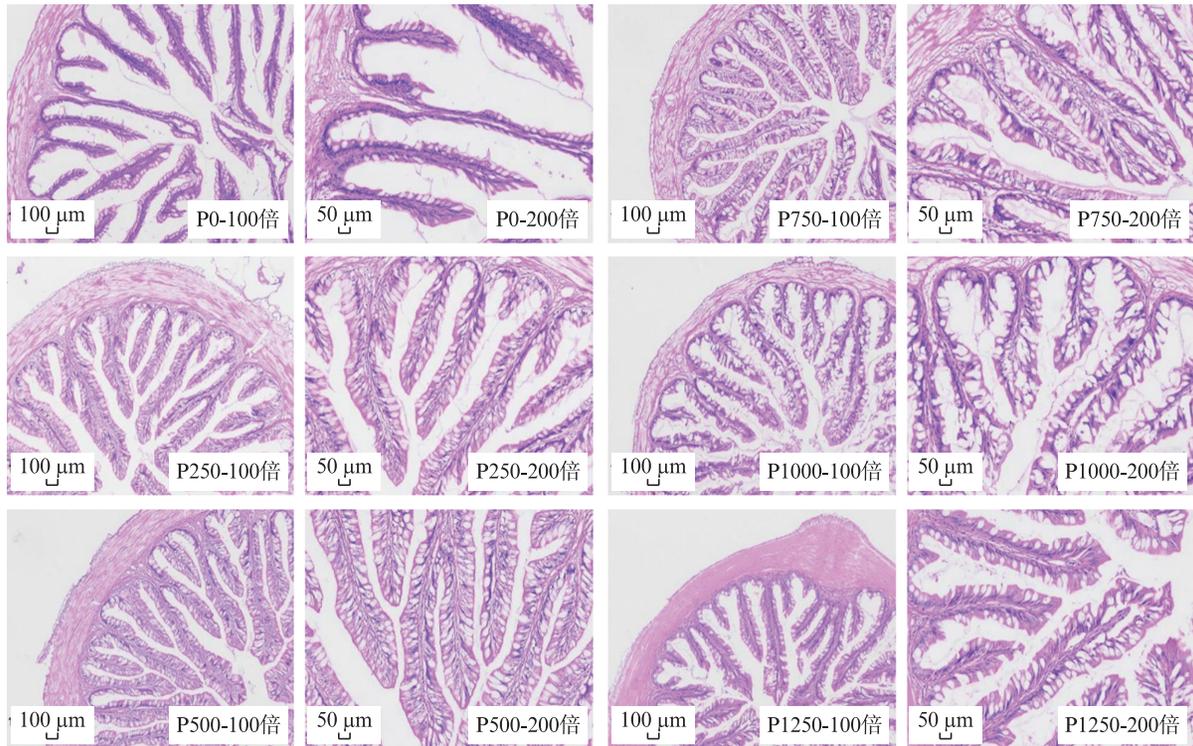


图3 饲料中添加胰酶对大口黑鲈幼鱼肠道组织形态的影响

Fig. 3 Effects of pancreatin supplementation on intestinal morphology of juvenile largemouth bass

本试验中,以豆粕、菜粕为主的植物性蛋白含量占比28%,高植物蛋白饲料会有氨基酸不平衡的现象并存在胰蛋白酶抑制剂等多种抗营养因子,使得大口黑鲈对饲料蛋白的吸收率较低。随着胰酶添加量的增大,大口黑鲈的生长性能也逐渐提高,呈现剂量效应,可能是因为添加胰酶后,不仅蛋白酶和淀粉酶的数量增加,且在外源蛋白酶的作用下,植物蛋白中的抗胰蛋白酶活性被弱化,消减了其对消化的负面影响,提高了饲料蛋白的利用率,配合饲料的适口性也得到改善,最终表现为大口黑鲈生长速率的提高、饲料系数的降低与饲料的节省^[15]。但需注意,当胰酶浓度过高时,可能会对其自身的胰酶分泌产生不利影响。

3.2 饲料中添加胰酶对大口黑鲈幼鱼生化指标及酶活性的影响

血清生化指标可以在一定程度上反映动物的健康状况^[16-17]。本试验中,处理组血清TP与ALB含量都有所升高,说明胰酶可在一定程度上促进机体生理代谢并参与部分能量供给。HDL-C与LDL-C含量的高低可评价肝脏损伤程度;TG主要参与体内能量的产生与储存,是重要的能源物质^[18];在正常代谢过程中,细胞坏死程度与血清转氨酶活性的高低联系性紧密^[19-21];AST和

ALT是反映动物肝脏运作状态的重要代谢酶^[22-24]。本试验条件下,处理组HDL-C与LDL-C含量显著增高,对照组的AST显著大于其他各处理组,而P500、P750组中TG含量显著低于其他各组,P1000、P1250组中,TG含量显著高于其他各组,说明饲料中添加胰酶可显著缓解大口黑鲈胆固醇堆积问题,对肝功能有一定的保护作用,且可提高大口黑鲈对脂肪代谢的能力,同时,1000及1250 mg/kg浓度水平可促进脂肪乳化解。AKP是能够去磷酸化相应底物的酶是水生动物不可缺少的酶类^[25],其参与机体代谢和蛋白质的合成^[26],在动物体营养物质的吸收上起到关键作用,本研究发现添加胰酶可显著提高大口黑鲈AKP的活性,而AKP活性高的组大口黑鲈的生长性能更好,印证了上述结论。

本研究中,饲料中添加胰酶,肝脏总蛋白(TP)、葡萄糖(Glu)与甘油三酯(TG)含量各组之间无显著差异($P>0.05$),这与建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian)^[27]黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)^[28]的研究结果一致。

3.3 饲料中添加胰酶对大口黑鲈幼鱼肝脏抗氧化能力的影响

大口黑鲈控制血糖稳态的能力较差,易高血

糖^[29-31],容易引起氧化应激。饲料中添加胰酶后,可能促进产生了大量的超氧阴离子($O_2^{\cdot-}$),进而使大口黑鲈肝脏SOD、MDA、T-AOC与GSH-ST的活性受到影响,其中,MDA含量可以间接反映机体细胞损伤程度^[32],一般脂质过氧化产物MDA的含量被认为是氧化应激的典型标志物^[33]。本研究中,肝脏MDA活性随胰酶添加水平的升高呈现先下降后上升的趋势($P < 0.05$),表明胰酶可以降低大口黑鲈的氧化应激;T-AOC含量与细胞抗氧化能力呈正相关关系,与机体脂质过氧化呈负相关关系^[34],GSH-ST可降低活性氧对机体的破坏作用,本研究中,肝脏T-AOC、GSH-ST活性随胰酶添加水平的升高呈现先上升后下降的趋势($P < 0.05$),且P750组肝脏GSH-ST活性最高,显著高于对照组($P < 0.05$),表明750 mg/kg浓度水平下抗氧化效果最为显著。综上所述,饲料中添加胰酶后可减轻因饲料淀粉含量过高对大口黑鲈抗氧化系统造成的损害。

3.4 饲料中添加胰酶对大口黑鲈幼鱼肝肠组织形态的影响

肝脏健康与鱼类的生长和健康密切相关。本研究中,处理组的血清ALT和AST活性均下降,表明胰酶可缓解肝脏损伤,H.E染色结果进一步证实了胰酶可改善肝脏完整性差(严重的细胞质空泡化,细胞核偏心或消失)的状况。肠道是鱼类消化和吸收营养物质的场所,关系到机体的各项功能和健康^[35-36]。本研究中,处理组肠道绒毛高度不受胰酶水平的影响($P > 0.05$),但肠道绒毛宽度、数量和肌层厚度均高于对照组,表明其肠道完整性和稳固性更强。研究^[37]发现,大口黑鲈前肠皱襞密集、细长,中性黏液细胞多,肌肉层厚度变厚会影响前肠蠕动的能力,对消化功能产生积极影响;绒毛面积扩大,从而使得吸收能力提高,弥补了物理消化能力不强的缺陷,这也是添加500及750 mg/kg浓度水平下大口黑鲈生长性能优于对照组的重要原因。本试验中发现的胰酶对肠道绒毛宽度、数量和肌层厚度的促进作用,可能由于在外源酶以及内源酶的协同作用下,底物效应诱导肠表面积增加,可以容纳更多的刷状缘膜酶和转运载体,使得肠段中营养物质的消化更加彻底。

4 结论

研究表明,在一定浓度下胰酶可以促进大口黑鲈的生长。饲料中添加胰酶对大口黑鲈的生长性能、生化指标、抗氧化能力和肝肠组织形态均有显著的改善作用,并且胰酶呈现剂量效应。以大口黑鲈的增重率为指标,建议在其饲料中胰酶添加水平为679 mg/kg。

参考文献:

- [1] National Research Council. Nutrient requirements of fish and shrimp [M]. Washington: The National Academies Press, 2011: 163-164.
- [2] 高彬. 饲料中 α -淀粉水平对大口黑鲈生长、抗氧化能力、糖代谢及代谢组的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.
GAO B. Effects of dietary α -starch level on growth, antioxidant capacity, glycometabolism and metabolism of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2022.
- [3] 李永娟, 霍雅文, 杜瑜, 等. 大口黑鲈营养生物学及配合饲料研究进展[J]. 饲料研究, 2016(23): 39-44.
LI Y J, HUO Y W, DU Y, et al. Largemouth bass biology and nutrition research progress [J]. Feed Research, 2016 (23): 39-44.
- [4] 林少珍, 刘伟成, 单乐州. 酶制剂在水产养殖饲料中的应用[J]. 水产科学, 2009, 28(12): 798-800.
LIN S Z, LIU W C, SHAN L Z. Application of enzyme mixtures in aquaculture feed [J]. Fisheries Science, 2009, 28(12): 798-800.
- [5] ASARE E, YANG Z, YANG H M, et al. Evaluation of dietary Pancreatin as an exogenous enzyme on growth performance, gene expression, immunological responses, serum immunoglobins, and intestinal morphology in cockerels [J]. Journal of Applied Animal Research, 2022, 50(1): 61-68.
- [6] BEDFORD M R. Exogenous enzymes in monogastric nutrition - their current value and future benefits [J]. Animal Feed Science and Technology, 2000, 86(1/2): 1-13.
- [7] 孙宪法, 周东, 孙宪秋, 等. 植物精油和胰酶对肉鸡生长性能、消化酶活性及肠道健康的影响[J]. 饲料工业, 2022, 43(7): 22-27.
SUN X F, ZHOU D, SUN X Q, et al. Effects of essential oil and pancreation on growth performance, digestive enzyme activity and intestinal health of broiler chickens [J]. Feed Industry, 2022, 43(7): 22-27.
- [8] 张娟娟, 李小勤, 冷向军, 等. 外源蛋白酶对虹鳟生长和肠道组织结构的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2012,

- 27(6): 534-538.
- ZHANG J J, LI X Q, LENG X J, et al. Effects of supplemental protease on growth and intestinal tissue structure in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2012, 27(6): 534-538.
- [9] 裘泓杰, 何向中, 陈乃松, 等. 低鱼粉饲料中添加外源酶制剂对大口黑鲈生长性能、体组成以及饲料利用率的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2023, 32(4): 730-740.
- QIU H J, HE X Z, CHEN N S, et al. Effects of dietary exogenous enzymes on improving growth performance, body composition and feed utilization of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) fed low fishmeal-based diet [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2023, 32(4): 730-740.
- [10] 关莹, 薛继鹏, 薛敏, 等. 饲料中添加蛋白酶对大口黑鲈生长性能和糖、脂代谢的影响[J]. 动物营养学报, 2021, 33(10): 5974-5988.
- GUAN Y, XUE J P, XUE M, et al. Effects of dietary protease on growth performance, glucose and lipid metabolism of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(10): 5974-5988.
- [11] 张冬梅, 颜浩骁, 罗茂林, 等. 饲料中添加枯草芽孢杆菌对大口黑鲈幼鱼生长、肠道组织结构、抗氧化能力、免疫能力和肠炎的影响[J]. 动物营养学报, 2022, 34(1): 575-588.
- ZHANG D M, YAN H X, LUO M L, et al. Effects of dietary *Bacillus subtilis* on growth, intestinal tissue structure, antioxidant capacity, immunity and enteritis of juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2022, 34(1): 575-588.
- [12] SOARES E C, FILHO M P, ROUBACH R, et al. Exogenous protease in diets for tucunaré paca (*Cichla sp.*) juvenile [J]. Revista Brasileira de Zootecnia, 2008, 37(6): 971-976.
- [13] KOLKOVSKI S, TANDLER A, KISSIL G W, et al. The effect of dietary exogenous digestive enzymes on ingestion, assimilation, growth and survival of gilthead seabream (*Sparus aurata*, Sparidae, Linnaeus) larvae [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 1993, 12(3): 203-209.
- [14] GODA A M A, MABROUK H A H H, WAF A M A E H, et al. Effect of using Baker's yeast and exogenous digestive enzymes as growth promoters on growth, feed utilization and hematological indices of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* fingerlings [J]. Journal of Agricultural Science and Technology B, 2012, 2(1B): 15-28.
- [15] 赵觅美, 齐遵利, 张秀文. 饲料中添加中性蛋白酶对吉富罗非鱼生长和消化功能的影响[J]. 河北渔业, 2018(1): 17-21.
- ZHAO M M, QI Z L, ZHANG X W. Effects of neutral protease on the growth and digestive Function of Gifu Tilapia[J]. Hebei Fisheries, 2018(1): 17-21.
- [16] PENG K, SHIRLEY D C, XU Z J, et al. Effect of purple prairie clover (*Dalea purpurea* Vent.) hay and its condensed tannins on growth performance, wool growth, nutrient digestibility, blood metabolites and ruminal fermentation in lambs fed total mixed rations [J]. Animal Feed Science and Technology, 2016, 222: 100-110.
- [17] DJANGMAH J S. The effects of feeding and starvation on copper in the blood and hepatopancreas, and on blood proteins of *Crangon vulgaris* (Fabricius) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1970, 32(4): 709-731, IN5-IN8.
- [18] 方揽月, 邓志刚, 王洋, 等. 稀土、胆汁酸及其复合物对大口黑鲈生长性能和肠肝结构功能的影响[J]. 中国饲料, 2023(3): 89-94.
- FANG L Y, DENG Z G, WANG Y, et al. Effects of rare earth elements, bile acids and their complexes on growth performance and enterohepatic structure and function of largemouth bass [J]. China Feed, 2023(3): 89-94.
- [19] MICHAEL M I, HILMY A M, EL-DOMIATY N A, et al. Serum transaminases activity and histopathological changes in *Clarias lazera* chronically exposed to nitrite [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology, 1987, 86(2): 255-262.
- [20] 林伟华, 陈华英. ALT、AST、GGT、CHE在肝病中的诊断价值[J]. 现代临床医学生物工程学杂志, 2005, 11(3): 232-233.
- LIN W H, CHEN H Y. The diagnostic value of ALT, AST, GGT and CHE in liver diseases [J]. Journal of Modern Clinical Medical Bioengineering, 2005, 11(3): 232-233.
- [21] LEMAIRE P, DRAI P, MATHIEU A, et al. Changes with different diets in plasma enzymes (GOT, GPT, LDH, ALP) and plasma lipids (cholesterol, triglycerides) of sea-bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquaculture, 1991, 93(1): 63-75.
- [22] KUMAR V, MAKKAR H P S, DEVAPPA R K, et al. Isolation of phytate from *Jatropha curcas* kernel meal and effects of isolated phytate on growth, digestive physiology and metabolic changes in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) [J]. Food and Chemical Toxicology, 2011, 49(9): 2144-2156.
- [23] NYBLOM H, BERGGREN U, BALDIN J, et al. High Ast/Alt ratio may indicate advanced alcoholic liver disease rather than heavy drinking [J]. Alcohol and Alcoholism, 2004, 39(4): 336-339.
- [24] ZHONG Y F, SHI C M, ZHOU Y L, et al. Optimum dietary fiber level could improve growth, plasma biochemical indexes and liver function of largemouth bass, *Micropterus salmoides* [J]. Aquaculture, 2020, 518:

- 734661.
- [25] MOSS A K, HAMARNEH S R, MOHAMED M M R, et al. Intestinal alkaline phosphatase inhibits the proinflammatory nucleotide uridine diphosphate [J]. American Journal of Physiology Gastrointestinal and Liver Physiology, 2013, 304(6): G597-G604.
- [26] 卢彤岩, 郭德文, 赵吉伟, 等. 哲罗鱼不同组织SOD、CAT、ACP和AKP活力的比较研究[J]. 水产学杂志, 2010, 23(4): 10-13.
- LU T Y, GUO D W, ZHAO J W, et al. Activity comparison of SOD, CAT, ACP and AKP in the Tissues of *Hucho taimen* [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2010, 23(4): 10-13.
- [27] 张晓清, 李小勤, 陈佳楠, 等. 无鱼粉低磷饲料中添加中性蛋白酶和植酸酶对建鲤生长及营养物质利用的影响[J]. 水生生物学报, 2017, 41(6): 1291-1300.
- ZHANG X Q, LI X Q, CHEN J N, et al. Effects of supplementation of neutral protease and neutral phytase in fish meal free diet with low phosphorus level on growth, nutrients digestibility and deposition of Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2017, 41(6): 1291-1300.
- [28] 张若然. 蛋白酶、脂肪酶、非淀粉多糖酶在黄颡鱼饲料中的应用研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2018.
- ZHANG R R. Application of protease, lipase and non-starch polysaccharide enzyme in diets of Yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2018.
- [29] RAINS J L, JAIN S K. Oxidative stress, insulin signaling, and diabetes [J]. Free Radical Biology and Medicine, 2011, 50(5): 567-575.
- [30] ROBERT L, NARCY A, RAYSSIGUIER Y, et al. Lipid metabolism and antioxidant status in Sucrose vs. potato-fed rats [J]. Journal of the American College of Nutrition, 2008, 27(1): 109-116.
- [31] ENES P, SANCHEZ-GURMACHES J, NAVARRO I, et al. Role of insulin and IGF-I on the regulation of glucose metabolism in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed with different dietary carbohydrate levels [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2010, 157(4): 346-353.
- [32] 翟晓虎, 杨海锋, 陈慧英, 等. 丙二醛的毒性作用及检测技术研究进展[J]. 上海农业学报, 2018, 34(1): 144-148.
- ZHAI X H, YANG H F, CHEN H Y, et al. Research progress in the toxicity and determination technology of malondialdehyde [J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2018, 34(1): 144-148.
- [33] LIVINGSTONE D R. Oxidative stress in aquatic organisms in relation to pollution and aquaculture [J]. Revue de Médecine Vétérinaire, 2003, 154(6): 427-430.
- [34] 沈云辉, 陈长勋. 抗氧化应激研究进展[J]. 中成药, 2019, 41(11): 2715-2719.
- SHEN Y H, CHEN C X. Research progress of anti-oxidative stress [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2019, 41(11): 2715-2719.
- [35] CHAUHAN A, SINGH R. Probiotics in aquaculture: a promising emerging alternative approach [J]. Symbiosis, 2019, 77(2): 99-113
- [36] REFSTIE S, KORSØEN Ø, STOREBAKKEN T, et al. Differing nutritional responses to dietary soybean meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Aquaculture, 2000, 190(1/2): 49-63.
- [37] 赵柳兰, 陈侨兰, 杨淞, 等. 大口黑鲈消化道组织结构及黏液细胞的类型和分布[J]. 四川农业大学学报, 2018, 36(4): 549-554.
- ZHAO L L, CHEN Q L, YANG S, et al. Analysis of the histological structure, the types and distribution of mucous cells of digestive tract in largemouth bass (*Micropterus samoides*) [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2018, 36(4): 549-554.

Effects of dietary pancreatin level on growth performance, biochemical indices and enterohepatic structure of juvenile largemouth bass

ZHANG Jiao^{1,2}, LIU Chongwan^{1,3}, ZHU Xiaohua^{1,3}, YANG Zhiqiang¹, LI Xiaoxuan¹, YANG Hongsheng^{1,3}, LI Haoze³

(1. Jiangsu Provincial Freshwater Fisheries Research Institute, Nanjing 210017, Jiangsu, China; 2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Jiangsu Aquatic Product Quality Testing Center, Nanjing 210017, Jiangsu, China)

Abstract: To evaluate the effects of dietary pancreatin on growth performance, biochemical indexes, and enterohepatic structure of juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*), specimens with of the initial body quality of (8.00±0.50) g, 630 were randomly divided into 6 groups, each group of three repetition, 35 fishes each repetition. The control group was fed with a basic diet, and 5 experimental groups were fed with pancreatin-added diet of different concentrations of pancreatin (P250, P500, P750, P1000, P1250). The experimental period was 70 days. The results show that: The growth performance of fish first increased and then decreased with the increase of pancreatin dosage. The final average weight, weight gain rate and specific growth rate of fish in P750 group were the highest, and the feed ratio was the lowest, which were significantly different from the control group. Compared with the control group, the contents of serum total protein and albumin increased, which were the highest in P500 group and P750 group, respectively. The contents of serum triglyceride and total cholesterol in the P500 and P750 groups decreased significantly. The activities of aspartate aminotransferase (AST) and alanine aminotransferase (ALT) first decreased and then increased with the increasing amount of trypsin added. In the P750 group, the activity of AST was the lowest, and the activity of alkaline phosphatase was the highest. Compared with the control group, the P500 and P750 groups had a significant reduction in lipid vacuolization area and a significant increase in villus width; Fluff number increased significantly in the P500 group. In conclusion, dietary pancreatin could significantly improve the growth performance, biochemical indexes, liver antioxidant and enterohepatic structure of largemouth bass, and there was a dose effect of pancreatin. Based on the comprehensive analysis and the index of weight gain rate, it is suggested that the appropriate amount of pancreatin in the diet of largemouth bass is 679 mg/kg.

Key words: largemouth bass; pancreatin; performance of growth; enterohepatic structure