

不同促摄食物质对哲罗鲑生长、体成分、消化酶 和血液生化指标的影响

王常安, 徐奇友*, 畅雅萍, 许红, 尹家胜
(中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 哈尔滨 150070)

摘要: 研究二甲基- β -丙酸噻亭(DMPT)、氧化三甲胺(TMAO)、甜菜碱和肌苷酸钠(IMP)对初重 9.39 ± 0.26 g 哲罗鲑(*Hucho taimen*)摄食、生长、体成分、消化酶和血清生化指标的影响。哲罗鲑在室内玻璃钢水族箱中流水饲养, 试验设 1 个对照组, 4 个处理组, 每处理组 3 个重复, 每重复 50 尾, 养殖周期 56 d。试验期间水温 $9.3 \sim 14.2$ °C, 溶氧 > 8.0 mg·L⁻¹。试验结果表明, 在低鱼粉饲料中添加 0.2% DMPT、0.2% TMAO 和 0.2% 甜菜碱后, 哲罗鲑增重率和特定增长率显著提高 ($P < 0.05$), 而添加 0.05% IMP 后哲罗鲑增重率和特定增长率未呈显著变化 ($P > 0.05$); 添加 0.2% DMPT 后哲罗鲑鱼体粗蛋白水平升高 ($P < 0.05$); 添加 0.2% TMAO 和 0.2% 甜菜碱后, 鱼体粗脂肪水平降低 ($P < 0.05$), 添加 0.05% IMP 对鱼体成分无显著影响 ($P > 0.05$); 添加 0.2% DMPT 和 0.2% TMAO 后消化道消化酶活性提高 ($P < 0.05$); 添加 0.2% 甜菜碱后, 消化道脂肪酶活性显著升高 ($P < 0.05$); 添加 0.2% DMPT 后血清总蛋白、白蛋白和球蛋白水平显著升高 ($P < 0.05$); 添加 0.2% TMAO 和 0.2% 甜菜碱后, 高密度脂蛋白含量显著升高 ($P < 0.05$), 胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白含量显著下降 ($P < 0.05$); 添加 0.05% IMP 后, 血清补体 C₃ 和 C₄ 水平显著提高 ($P < 0.05$)。结论是饲料中添加 0.2% DMPT、0.2% TMAO 和 0.2% 甜菜碱对哲罗鲑具有促摄食和生长效果, 有利于改善体成分和提高机体消化能力; 饲料添加 0.05% IMP 对哲罗鲑促摄食和生长效果不明显, 但有益于改善鱼体免疫状况。

关键词: 哲罗鲑; 促摄食物质; 生长; 生理

中图分类号: S965.232.373

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2011)01-0065-07

Effects of feeding attractants on growth and body composition, digestive enzyme and serum indices of *Hucho taimen*

WANG Chang-an, XU Qi-you, CHANG Ya-ping, XU Hong, YIN Jia-sheng
(Heilongjiang River Fishery Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070)

Abstract: The taimen with initial body weight of 9.39 ± 0.26 g were used to conducted a 56 days growth experiment for studying the effects of four feeding attractants (dimethyl- β -propiothetin, trimethylamine oxide, betaine and sodium-5'-inosinate) on feed intake, growth performance, body composition, digestive enzyme activities and serum indices. Fishes were raised in water flow system. There were 5 diets, and each diet was randomly assigned to triplicate groups of 50 fishes. During the experiment, the water temperature fluctuated from 9.3 °C to 14.2 °C and the dissolved oxygen was above 8.0 mg·L⁻¹. The results showed that the weight gain rate and specific growth rate of the taimen increased significantly by adding 0.2% dimethyl- β -propiothetin, 0.2% trimethylamine oxide, and 0.2% betaine, but there were no changes by supplementing 0.05% sodium-5'-inosinate ($P > 0.05$). The body crude protein increased significantly by supplementing 0.2% dimethyl- β -propiothetin ($P < 0.05$), and body crude lipid decreased significantly by adding 0.2% trimethylamine oxide and 0.2% betaine ($P < 0.05$), but body composition had no changes by supplementing 0.05% sodium-5'-inosinate ($P > 0.05$). The digestive tract enzyme activities increased significantly by adding 0.2% dimethyl- β -propiothetin and 0.2%

收稿日期: 2009-12-18

基金项目: 冷水性鱼类养殖产业化研究与示范(201003055)和黑龙江水产研究所基本科研专项(2008HSYZX-YZ-02)共同资助。

作者简介: 王常安, 男, 助理研究员。E-mail: gordoncase@126.com

* 通讯作者: 徐奇友, 男, 研究员。E-mail: xuqiyou@sina.com

trimethylamine oxide ($P<0.05$), and the digestive tract lipase increased significantly by supplementing 0.2% betaine ($P<0.05$), but digestive enzyme activities had no changes supplemented 0.05% sodium-5'-inosinate ($P>0.05$). The plasma total protein, albumin and globulin increased significantly when added 0.2% dimethyl- β -propiothetin ($P<0.05$), and the high density lipoprotein content increased, but cholesterol, triglyceride, low density lipoprotein decreased significantly when added 0.2% trimethylamine oxide and 0.2% betaine ($P<0.05$), and plasma complement 3 and complement 4 increased significantly supplemented 0.05% sodium-5'-inosinate ($P<0.05$). In conclusion, the food intake, growth performances, body composition and digestive ability of taimen were improved by adding the basal diets with 0.2% dimethyl- β -propiothetin, 0.2% trimethylamine oxide and 0.2% betaine, respectively ($P<0.05$), but not 0.05% sodium-5'-inosinate. The immunity of body were improved supplementing 0.05% sodium-5'-inosinate.

Key words: *Hocho taimen*; feeding attractants; growth; physiological function

哲罗鲑又称哲罗鱼, 鲑形目, 鲑科, 哲罗鱼属, 肉食性凶猛鱼类, 目前该鱼已驯化养殖成功。哲罗鲑对鱼粉的需求量较高^[1-2]。随着水产养殖业的逐渐发展, 鱼粉的需求量增大及其资源的日益紧缺, 配合饲料中植物性蛋白源比例势必加大, 而如何提高其风味和适口性, 则成了众多营养学家关注的问题。水产动物诱食剂主要功能是改善饲料风味, 提高水产动物的摄食速度和摄食量, 促进生长, 同时能提高饲料转化率, 减少水质污染。此外, 可降低饲料成本, 解决蛋白质饲料紧缺问题, 为新饲料资源的开发利用提供广阔前景。本试验研究了在低鱼粉配合饲料中添加几种促摄食物质对哲罗鲑生长和生理机能的影响, 以期对哲罗鲑低鱼粉配合饲料研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

哲罗鲑 9.39 ± 0.26 g 由黑龙江水产研究所渤海冷水鱼试验站提供, DMPT (山东龙昌动物保健品有限公司; 纯度 $\geq 98\%$); TMAO (济南诚和生物科技有限公司; $\geq 98\%$); 甜菜碱 (浙江巨成化工有限公司; 纯度 $>98\%$); IMP (山东凯盛生物化工有限公司; 纯度 $>99\%$)。

1.2 生长试验

试验分 5 个处理, 每处理 3 个重复, 每重复 50 尾鱼。G1 为对照组, G2~G5 组饲料中分别添加 0.2% DMPT、0.2% TMAO、0.2%甜菜碱和 0.05% IMP。基础饲料配方及营养水平见表 1。原料粉碎后, 用鼓型混合机混合, 制粒 (颗粒直径为 1.5 mm), 置于 -20°C 冰箱中保存待用。

试验鱼放入玻璃钢水族箱(直径 90 cm, 水深 45 cm)中, 流水饲养, 以商用饲料驯食 7 d 后试验, 生长试验周期为 56 d。日投喂 2 次, 投饲率为体重的 2%~3%, 每 14 d 调整投喂量。水温 $9.3\sim 14.2^{\circ}\text{C}$, 溶氧 $>8.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, pH 值 $7.5\sim 7.8$ 。试验开始和结束时,

鱼空腹 24 h 后测其体长、体重, 采集样品。

1.3 体成分测定

每处理组随机取 12 尾全鱼用于体成分分析。饲料水分的测定用 105°C 烘箱干燥恒重法; 鱼体初水分以 70°C 烘箱干燥恒重法; 粗蛋白的测定为凯氏定氮法 (总氮 $\times 6.25$); 粗脂肪的测定为索氏乙醚抽提法; 粗灰分的测定为茂福炉灼烧法(550°C)。

1.4 消化酶测定

每处理组随机取 12 尾鱼用于消化酶分析。于冰盘上分别取胃、肠、幽门盲囊和肝脏, 剔除内含物和脂肪, 冰浴生理盐水洗净, 滤纸吸干, 称重。按 1:9 重量体积比(W/V)加入预冷生理盐水, 以 FJ-200CL 高速组织匀浆机匀浆($15\ 000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$, 3 min)稀释, 4°C 条件下 $4\ 000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 10 min, 取上清液放入 1.5 mL 离心管中, -80°C 冷冻保存待测。试验测定胃、前肠+幽门盲囊、后肠和肝脏蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性。蛋白酶测定为福林-酚法, 脂肪酶测定用聚乙烯醇橄榄油乳化液水解法, 淀粉酶测定以淀粉-碘比色法。蛋白酶活性定义: 在 37°C 下, 每分钟水解酪素产生 $1\ \mu\text{g}$ 酪氨酸定为 1 个酶活性单位。脂肪酶活性定义: 在 37°C 下, 脂肪酶水解脂肪每分钟产生 $1\ \mu\text{g}$ 分子脂肪酸的酶量为 1 个国际单位。淀粉酶活性定义: 在 37°C 下, 在 30 min 内, 100 mL 酶液中淀粉酶能完全水解淀粉 10 mg 时称为 1 个活性单位。

1.5 生化指标测定

每处理组随机取 12 尾鱼, 每尾为独立样品, 静脉采血, 4°C 下, $3\ 000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 10 min, 分离血清, 置于 1.5 mL 离心管中, -80°C 冷冻保存。总蛋白(total protein, TP), 白蛋白(albumin, ALB), 谷丙转氨酶(alanine transaminase, ALT), 谷草转氨酶(aspartate aminotransferase, AST), 碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, ALP), 甘油三酯(triglyceride, TG), 胆固醇(cholesterol, CHOL), 高密度脂蛋白(high density lipoprotein, HDL), 低密度脂蛋白(low

density lipoprotein, LDL), 血糖 (blood glucose, GLU)、补体 C₃ 和 C₄ 用贝克曼试剂盒以全自动生化分析仪(贝克曼 ProCX4, 美国)测定, 其中 TP 和 ALB 采用化学法, 球蛋白(globulin, GLB)、A/G 和 AST/ALT 为计算值, ALT、AST 和 ALP 用速率法, CHOL、TG 和 GLU 用酶法, HDL 和 LDL 为直接法, 补体 C₃ 和 C₄ 用免疫比色法。

1.6 统计分析方法

数据用平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示。

生物学指标计算方法如下:

摄食率(%) (Feeding rate) = $100 \times F / W_0^{[3]}$

特定生长率(%·d⁻¹) (Specific growth rate) = $100 \times$

$(\ln W_t - \ln W_0) / t$;

增重率(%) (Weight growth rate) = $100 \times (W_t - W_0) / W_0$ 。

成活率(%) (Survival rate) = $100 \times N_f / N_i$

饵料系数(Feed conversion ratio) = $F / (W_t - W_0)$;

其中: W_0 为鱼体初重(g); W_t 为鱼体终重(g); N_f 为终末尾数; N_i 为初始尾数; F 为饲料摄入量(g); t 为饲养时间(d)。

试验结果用 SPSS for Windows 13.0 过程进行单因素方差分析和 Duncan's 多重比较, 显著性水平 P 值为 0.05。

表 1 基础饲料配方及营养组成(风干基础)

Table 1 Formula and nutrients of the basal diets (air-dry basis)

成分 Ingredients	组别 Groups					%
	G1	G2	G3	G4	G5	
鱼粉 Fish meal	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
豆粕 Soybean meal	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
次粉 Wheat middlings	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
大豆分离蛋白 Soybean protein isolated	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
鱼油 Fish oil	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
磷脂 Soy lecithin	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
二甲基-β-丙酸噻亭 DMPT	—	0.20	—	—	—	—
氧化三甲胺 TMAO	—	—	0.20	—	—	—
甜菜碱 Betaine	—	—	—	0.20	—	—
肌苷酸钠 Sodium inosinate	—	—	—	—	—	0.05
纤维素 Cellulose	1.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.95
沸石 Zeolite	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
预混剂 Premix	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92
合计 Total	100	100	100	100	100	100
总能 DE/MJ·kg ⁻¹	18.09	18.06	18.08	18.08	18.08	18.07
粗蛋白 Crude protein	48.32	48.26	48.31	48.30	48.28	48.28
粗脂肪 Crude lipid	8.89	8.85	8.86	8.88	8.86	8.86

注: 饲料中预混剂的质量分数为 1.92%, 包括: 胆碱 0.2%; 防霉剂 0.02%; 氧化镁 0.2%; 磷酸二氢钙 1.0%; 复合维生素 0.3%; 复合微量元素 0.2%。维生素包括: V_C 1 000 mg·kg⁻¹; V_E 60 mg·kg⁻¹; V_K 5 mg·kg⁻¹; V_A 15 000 IU·kg⁻¹; V_{D₃} 3 000 IU·kg⁻¹; V_{B₁} 15 mg·kg⁻¹; V_{B₂} 30 mg·kg⁻¹; V_{B₆} 15 mg·kg⁻¹; V_{B₁₂} 0.5 mg·kg⁻¹; 烟酸 175 mg·kg⁻¹; 叶酸 5 mg·kg⁻¹; 肌醇 1 000 mg·kg⁻¹; 生物素 2.5 mg·kg⁻¹; 泛酸钙 50 mg·kg⁻¹; 微量元素包括: 铁 25 mg·kg⁻¹; 铜 3 mg·kg⁻¹; 锰 15 mg·kg⁻¹; 碘 0.6 mg·kg⁻¹。

Note: Premix 1.92%, include: Choline 0.2%; Antimildew 0.02%; Magnesia 0.2%; Calcium dihydrogen phosphate 1.0%; Vitamin premix 0.3%; Mineral premix 0.2%. In which, vitamin premix included: V_C 1 000 mg·kg⁻¹; V_E 60 mg·kg⁻¹; V_K 5 mg·kg⁻¹; V_A 15 000 IU·kg⁻¹; V_{D₃} 3 000 IU·kg⁻¹; V_{B₁} 15 mg·kg⁻¹; V_{B₂} 30 mg·kg⁻¹; V_{B₆} 15 mg·kg⁻¹; V_{B₁₂} 0.5 mg·kg⁻¹; Nicotinic acid 175 mg·kg⁻¹; Folic acid 5 mg·kg⁻¹; Inositol 1 000 mg·kg⁻¹; Biotin 2.5 mg·kg⁻¹; Pantothenic acid 50 mg·kg⁻¹ and mineral premix included: Fe 25 mg·kg⁻¹; Cu 3 mg·kg⁻¹; Mn 15 mg·kg⁻¹; I 0.6 mg·kg⁻¹。

2 结果与分析

2.1 哲罗鲑生长性能的影响

试验结果见表 2。与对照组相比, 饲料中添加

0.2% DMPT、0.2% TMAO 和 0.2% 甜菜碱后, 哲罗鲑 WGR 和 SGR 显著提高($P < 0.05$), 而添加 0.05% IMP 后其 WGR 和 SGR 未呈显著变化($P > 0.05$); 以 WGR 和 SGR 统计, 0.2% DMPT 组 $> 0.2\%$ TMAO

组>0.2%甜菜碱组>IMP组;添加0.2%DMPT、0.2%TMAO和0.2%甜菜碱后,摄食率显著增加($P<0.05$),而添加0.05%IMP后其摄食率未呈显著变化($P>0.05$)。可见,0.2%DMPT、0.2%TMAO和0.2%甜菜碱的添加,有利改善哲罗鲑生长性能。

2.2 哲罗鲑体成分的影响

试验结果见表3。与对照组相比,添加0.2%DMPT后哲罗鲑鱼体粗蛋白水平升高($P<0.05$),添加0.2%TMAO和0.2%甜菜碱后,鱼体粗脂肪水平降低($P<0.05$),添加0.05%IMP对鱼体成分无显著影响($P>0.05$)。

表2 促食物质对哲罗鲑生长性能的影响

Table 2 Effects of feeding attractants on growth performance of *Hucho taimen*

组别 Groups	初重/g Initial weight	终重/g Final weight	摄食率/% FR	增重率/% WGR	特定生长率 /‰·d ⁻¹ SGR	成活率/% SR	饵料系数 FCR
G1	9.19±0.03	16.49±0.15 ^a	1.32±0.07 ^a	79.45±1.87 ^a	1.04±0.02 ^a	95.33±1.15	1.74±0.07
G2	9.24±0.11	18.08±0.17 ^b	1.59±0.06 ^b	95.67±1.09 ^c	1.20±0.01 ^c	95.33±4.16	1.67±0.05
G3	9.63±0.31	18.28±0.58 ^b	1.49±0.06 ^b	89.80±4.70 ^{bc}	1.14±0.05 ^{bc}	92.67±4.16	1.67±0.03
G4	9.39±0.20	17.73±0.29 ^b	1.55±0.13 ^b	88.82±3.58 ^b	1.13±0.04 ^b	95.33±4.16	1.69±0.02
G5	9.49±0.38	16.66±0.28 ^a	1.32±0.03 ^a	75.72±3.97 ^a	1.01±0.04 ^a	94.67±6.11	1.70±0.06

注:同列中标有不同小写字母者表示组间差异显著($P<0.05$);标有相同字母者表示组间差异不显著($P>0.05$)。下同。

Note: Means with different letter superscripts within a column are significantly different ($P<0.05$), and the means with the same letter superscripts are not significant ($P>0.05$). The same below.

表3 促食物质对哲罗鲑体成分的影响

Table 3 Effects of feeding attractants on body composition of *Hucho taimen*

组别 Groups	初水分 Moisture	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	粗灰分 Crude ash
G1	76.65±0.03	17.53±0.09 ^a	3.08±0.06 ^b	2.11±0.18
G2	76.73±0.14	17.85±0.11 ^b	3.13±0.06 ^b	2.12±0.10
G3	76.64±0.17	17.66±0.23 ^{ab}	3.00±0.10 ^a	2.22±0.07
G4	76.59±0.13	17.63±0.11 ^{ab}	3.03±0.04 ^a	2.11±0.19
G5	76.82±0.23	17.56±0.05 ^{ab}	3.18±0.09 ^b	2.12±0.18

表4 促食物质对哲罗鲑消化酶的影响

Table 4 Effects of feeding attractants on digestive enzyme activities of *Hucho taimen*

组织 Tissues	指标 Indices	组别 Groups					U·g ⁻¹
		G1	G2	G3	G4	G5	
胃 Stomach	蛋白酶 Protease	76.09±21.62 ^a	130.66±17.40 ^b	111.60±5.11 ^b	83.79±10.69 ^a	69.62±7.25 ^a	
前肠+幽门盲囊 Foregut + Pyloric caeca	蛋白酶 Protease	104.53±4.23 ^a	121.07±5.41 ^b	120.89±3.37 ^b	109.33±2.67 ^a	107.29±1.01 ^a	
	脂肪酶 Lipase	53.42±0.41 ^a	90.13±2.77 ^c	88.98±2.48 ^c	74.22±6.40 ^b	53.33±4.17 ^a	
	淀粉酶 Amylase	208.04±2.63 ^a	247.70±4.34 ^c	235.63±6.53 ^b	207.47±2.63 ^a	206.32±4.98 ^a	
后肠 Hindgut	蛋白酶 Protease	48.95±3.97 ^a	68.95±6.88 ^b	69.30±4.41 ^b	55.26±9.52 ^a	51.05±2.41 ^a	
	脂肪酶 Lipase	19.29±3.35 ^a	26.93±0.27 ^b	24.18±1.71 ^b	24.98±0.67 ^b	16.44±1.47 ^a	
	淀粉酶 Amylase	189.08±5.27 ^a	236.78±5.27 ^b	235.06±3.59 ^b	190.80±9.95 ^a	177.01±16.75 ^a	
肝脏 Liver	蛋白酶 Protease	32.11±7.46	30.00±0.91	33.47±2.15	29.47±5.47	33.68±2.41	
	脂肪酶 Lipase	15.02±1.37	16.44±3.07	15.02±1.37	17.69±1.08	16.62±1.01	
	淀粉酶 Amylase	33.62±5.07	30.15±1.00	33.04±4.60	30.73±8.75	37.68±5.59	

注:同行中标有不同小写字母者表示组间差异显著($P<0.05$);标有相同字母者表示组间差异不显著($P>0.05$)。下同。

Note: Means with different letter superscripts within a row are significantly different ($P<0.05$), and the means with the same letter superscripts are not significant ($P>0.05$). The same below.

2.3 哲罗鲑消化酶的影响

试验结果见表4。与对照组相比,添加0.2%

DMPT和0.2%TMAO后哲罗鲑胃蛋白酶、前肠+幽门盲囊和后肠蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性均显著

提高($P<0.05$), 添加0.2%甜菜碱后, 其前肠+幽门盲囊和后肠脂肪酶活性均显著升高($P<0.05$), 添加0.05% IMP后, 其胃蛋白酶、前肠+幽门盲囊和后肠蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶和肝脏蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性均无明显变化($P>0.05$)。0.2% DMPT, 0.2% TMAO, 0.2%甜菜碱的添加使消化能力加强。

2.4 哲罗鲑血液生化指标的影响

试验结果见表 5。添加 0.2% DMPT 后血清总蛋白、白蛋白和球蛋白水平显著升高($P<0.05$), 添加 0.2% TMAO 和 0.2%甜菜碱后, 高密度脂蛋白含量显著升高($P<0.05$), 胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白含量显著下降($P<0.05$), 添加 0.05% IMP 后, 血清补体 C_3 和 C_4 水平显著提高($P<0.05$)。

表 5 促食物物质对哲罗鲑血液生化指标的影响
Table 5 Effects of feeding attractants on serum indexes of *Hucho taimen*

指标 Indices	组别 Groups				
	G1	G2	G3	G4	G5
总蛋白/g·L ⁻¹ TP	41.27±4.27 ^a	54.77±1.18 ^b	50.17±7.12 ^{ab}	40.70±4.82 ^a	47.40±7.37 ^{ab}
白蛋白/g·L ⁻¹ ALB	18.53±1.70 ^a	23.03±0.31 ^b	21.53±2.65 ^{ab}	19.17±2.03 ^{ab}	19.73±2.51 ^{ab}
球蛋白/g·L ⁻¹ GLB	22.73±2.58 ^{ab}	31.73±0.91 ^c	28.63±4.55 ^{bc}	21.53±2.97 ^a	27.67±4.86 ^{abc}
白球比例 A/G	0.82±0.02 ^{bc}	0.73±0.02 ^a	0.76±0.04 ^{ab}	0.89±0.07 ^c	0.72±0.04 ^a
谷丙转氨酶/IU·L ⁻¹ ALT	36.33±3.05	38.33±2.08	40.00±2.00	35.33±2.08	36.33±3.06
谷草转氨酶/IU·L ⁻¹ AST	320.00±34.64	280.00±10.00	296.67±23.10	296.67±47.26	273.33±32.14
谷草/谷丙转氨酶比 AST/ALT	8.84±1.04	7.33±0.67	7.45±0.90	8.47±1.86	7.54±0.86
胆固醇/mmol·L ⁻¹ CHOL	4.62±0.37 ^b	4.23±0.38 ^{ab}	3.70±0.82 ^a	3.47±0.16 ^a	3.84±0.09 ^{ab}
甘油三酯/mmol·L ⁻¹ TG	7.37±1.39 ^c	6.64±1.40 ^{bc}	4.66±0.30 ^{ab}	3.53±1.10 ^a	5.54±1.37 ^{abc}
高密度脂蛋白/mmol·L ⁻¹ HDL	1.92±0.10 ^a	2.10±0.03 ^a	2.44±0.17 ^b	2.48±0.13 ^b	2.04±0.09 ^a
低密度脂蛋白/mmol·L ⁻¹ LDL	0.24±0.46 ^c	0.20±0.40 ^{abc}	0.15±0.03 ^{ab}	0.15±0.03 ^a	0.22±0.02 ^{bc}
血糖/mmol·L ⁻¹ GLU	2.85±0.06	2.75±0.23	2.82±0.25	3.15±0.92	3.72±0.50
碱性磷酸酶/IU·L ⁻¹ ALP	40.33±4.04	42.33±11.02	52.67±10.50	40.67±10.26	41.67±7.02
补体 3/mg·dL ⁻¹ C ₃	37.18±5.80 ^a	45.34±4.51 ^{ab}	43.28±14.84 ^{ab}	38.96±8.65 ^{ab}	55.16±6.97 ^b
补体 4/mg·dL ⁻¹ C ₄	5.47±0.92 ^a	6.09±0.66 ^a	6.14±0.87 ^a	6.50±1.09 ^a	8.16±0.66 ^b

3 讨论

3.1 DMPT 的添加效果

DMPT 对鱼虾类生长、摄食和抗逆性有不同程度的促进作用, 并能改善养殖产品肉质, 使淡水品种呈现海产风味, 从而提高淡水品种经济价值^[4]。饲料中添加 5 mmol·L⁻¹ DMPT 使真鲷(*Pagrosomus major*)和牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)的增重率分别比对照组提高 2.5 倍和 1.3 倍^[5]。饲料中添加 DMPT 能显著提高中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)^[6]和凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)的生长性能^[7], 降低饲料系数。本试验研究表明, 饲料中添加 0.2%DMPT 可显著提高哲罗鲑摄食率和生长性能($P<0.05$)。另外, 哲罗鲑鱼体粗蛋白水平显著升高($P<0.05$), 而粗脂肪和粗灰分与对照组无明显差异($P>0.05$)。DMPT 是水产动物味觉受体的有效配体, 对神经有强烈刺激作用, 提高水产动物在应激状态下的采食量^[8]。DMPT 的促生长机理可能由于其在动物的营养生化过程中提供甲基^[9]。饲料中添

加 0.2% DMPT 后, 哲罗鲑消化道蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶活性显著提高($P<0.05$), 这与异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)的研究类似^[10]。这可能由于哲罗鲑味觉和嗅觉神经受到 DMPT 刺激后, 摄食欲望增强, 而且消化道分泌蛋白酶以及脂肪酶、淀粉酶能力加强。

3.2 氧化三甲胺的添加效果

TMAO 具有特殊鲜味, 对水产动物有引诱作用。对鲫(*Carassius auratus*)进行了摄食反应试验, 结果发现, 添加 TMAO 试验组比对照组咬饵频次平均高出 86%^[11]。TMAO 对罗非鱼(*Tilapia mosambica*)有较强诱食效果, 最佳剂量为 0.2%^[12]。本试验结果显示, 饲料中添加 0.2% TMAO 后哲罗鲑摄食率和生长性能提高($P<0.05$), 其促生长的原因可能是摄食量提高的缘故。TMAO 可促进哲罗鲑脂肪代谢, 使营养物质在体内重新分配。从试验数据看, 添加 0.2%TMAO 后, 鱼体的脂肪含量显著下降($P<0.05$), 这与虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的研究相似^[10]。另外, 高密度脂蛋白含量显著升高

($P<0.05$), 胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白含量显著下降 ($P<0.05$)。TMAO 能提高生物体细胞抗高温、高盐和高渗透环境的耐受力, 保持生物体消化道内环境平衡, 促进消化道内源性消化酶分泌, 并提高消化酶活性^[13]。本研究发现, 添加 0.2%TMAO 后, 哲罗鲑消化道蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性显著提高 ($P<0.05$), 这可能由于 TMAO 的添加缓解了哲罗鲑的应激状态, 从而使机体分泌消化酶能力增强。

3.3 甜菜碱的添加效果

甜菜碱是一种较为有效的甲基供体, 作为水生动物诱食剂其效果显著, 这在尼罗罗非鱼 (*Tilapia nilotica*)^[14]、泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*)^[15] 等研究中得到验证。试验结果表明, 饲料中添加 0.2%甜菜碱对哲罗鲑有显著的诱食和促生长效果 ($P<0.05$)。有研究者认为, 甜菜碱在促动物生长的同时还具有改善肌肉品质作用。饲料中添加 0.2%甜菜碱后哲罗鲑鱼体脂肪水平较对照组低 ($P<0.05$), 与短盖巨脂鲤 (*Colossoma brachypomum*)^[16] 研究结果类似, 且消化道脂肪酶水平较对照组高 ($P<0.05$)。另外, 本试验中发现, 甜菜碱使哲罗鲑血清胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白含量显著下降 ($P<0.05$), 高密度脂蛋白含量显著增加 ($P<0.05$), 说明甜菜碱具有促进哲罗鲑机体脂肪代谢作用。此外, 王锐等研究也表明, 日粮中添加质量分数为 0.3%甜菜碱可显著降低鲫肝、胰脏脂肪含量, 比对照组降低 36.1%^[17]。可见, 甜菜碱可调节鱼体脂肪代谢, 预防脂肪肝发生, 有利于改善鱼体健康状况。

3.4 核苷酸的添加效果

核苷酸对水产动物味觉、嗅觉及化学感受器有特定作用, 可作为水产动物诱食剂主要有效成分^[18]。饲养试验研究表明 IMP 是大菱鲂 (*Scophthalmus maximus*)^[19]、大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*)^[20] 日本竹荚鱼 (*Trachurus japonicus*)^[21] 等有效诱食剂。但不同种类的水生动物对外源性核苷酸的能动性有较大不同^[22]。IMP 对斑节对虾 (*Penaeus monodon*) 无诱食活性。不同核苷酸对红鳍东方鲀 (*Takifugu rubripes*)^[23] 诱食性的研究表明, 二磷酸腺苷 (ADP) 对红鳍东方鲀非但没有诱食效果, 反而对其采食有抑制作用, ADP 与丙氨酸和甘氨酸混合物及 IMP 对红鳍东方鲀诱食效果不明显, 但 ADP 与丙氨酸混合物对红鳍东方鲀却有极显著诱食效果^[24]。本试验结果表明, 饲料中添加 0.05%IMP 并没有提高哲罗鲑摄食率, 其促摄食效果与对照组相比不明显。这可能由于饲料中鱼粉已含有高浓度的核苷酸, 添加

IMP 后其诱食效果未显现。鱼粉或植物性原料为基础饲料中添加丙氨酸、丝氨酸、肌苷酸和甜菜碱后, 可显著促进条纹鲈 (*Morone saxatilis*) 摄食率和饲料转化率^[25]。饲料中添加氨基酸与尿苷酸 (UMP) 的混合物能显著增强鳗鱼消化酶活性, 提高饲料效率和蛋白质效率^[26], 而饲料中添加 IMP 并没有提高哲罗鲑消化道和肝脏消化酶的活性。荻野珍吉等认为, 所有饵料提取物的诱食活性都是由两种以上的化合物协同结果^[27], 因此, IMP 和氨基酸、甜菜碱等复合添加可能对哲罗鲑具有诱食作用。外源核苷酸对提高动物对细菌、真菌感染的抵抗力, 增加抗体产生, 增强细胞免疫能力, 刺激淋巴细胞增生等都有重要作用^[28]。本试验结果表明, 基础饲料中添加 IMP 后血清的补体 C₃、C₄ 有所提高, 这与鲤 (*Cyprinus carpio*)^[29]、虹鳟^[30] 等研究结果类似, 可能是外源核苷酸进入体内核苷酸池供白细胞利用, 从而提高机体免疫力^[31]。

参考文献:

- [1] 徐奇友, 王常安, 许红, 等. 大豆分离蛋白替代鱼粉对哲罗鱼稚鱼生长、体成分和血液生化指标的影响[J]. 水生生物学报, 2008, 32(6): 941-946.
- [2] 徐奇友, 王炳谦, 徐连伟, 等. 哲罗鱼稚鱼蛋白质和脂肪需要量研究[J]. 中国水产科学, 2007, 14(3): 498-503.
- [3] 郭学武, 唐启升. 鱼类摄食量的研究方法[J]. 海洋水产研究, 2004, 25(1): 68-75.
- [4] 王群初, 刘万涵, 李爱琴. DMPT-一种高效的水产诱食促长剂[J]. 中国饲料, 2003(5): 24-25.
- [5] Kenji N, Aritsune U, Yuzaburo I. Effect of a feeding attractant, dimethyl-β-propiethetin, on growth of marine fish[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1990, 56(7): 1151-1154.
- [6] Liang M Q, Chang Q, Anders A. Identification of feeding stimulants for shrimp[J]. Marine Fisheries Research, 2001, 22(4): 71-74.
- [7] 赵红霞, 曹俊明, 周萌, 等. 二甲基-β-丙酸噻亭对凡纳滨对虾幼虾生长、蜕壳和渗透调节的影响[J]. 水产学报, 2006, 30(3): 404-408.
- [8] 宫向红, 林洪, 张利民, 等. 水产诱食剂溴化 DMPT 对慈鲷的诱食及促生长作用[J]. 渔业现代化, 2008, 35(4): 55-57.
- [9] 马江耀. 二甲基-β-丙酸噻亭等四种诱食剂对湘云鲫摄食和生长的影响[J]. 水产养殖, 2008(3): 22-24.
- [10] 薛飞, 陈魏, 周维仁, 等. 饲料中添加二甲基-β-丙酸噻亭 (DMPT) 后异育银鲫肠消化酶的活性变化[J]. 江苏农业学报, 2007, 23(2): 114-118.
- [11] Rovik K A. Urea and trimethylamine oxide in diets for seawater farmed rainbow trout: effect on fat belching, skin vesivle, winter ulcer and quality grading[J]. Aquaculture Nutrition, 2000, 6(4): 247-254.

- [12] 孙海香, 夏枚生, 胡彩虹. 氧化三甲胺对罗非鱼生长和鱼体营养成分组成的影响[J]. 淡水渔业, 2005, 35(3): 17-19.
- [13] Yancey P H, Clark M E, Hand S C, et al. Living with water stress evolution of osmolyte systems[J]. Science, 1982, 217: 1214-1222.
- [14] 阎希柱, 邱岭泉. 饲料中添加甜菜碱时尼罗罗非鱼蛋白酶、淀粉酶活性的影响[J]. 淡水渔业, 1996, 26(增刊): 259-262.
- [15] 周向红, 臧玉波, 易乐飞. 低温条件下诱食剂对泥鳅诱食作用的研究[J]. 水产科技情报, 2005, 32(5): 214-216.
- [16] 陆清儿, 李忠全, 李行先. 盐酸甜菜碱对短盖巨脂鲤脂肪代谢的影响[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(3): 306-402.
- [17] 王锐, 侯永清. 胆碱和甜菜碱对鲫鱼肝、胰脏脂质积累的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2004(4): 43-44.
- [18] 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, 16(4): 13-17.
- [19] Mackie A M, Adrona J W. Identification of inosine and inosine 5-monophosphate as the gustatory feeding stimulants for the turbot, *Scophthal musmaximus*[J]. Comp Biochem Physiol, 1978, 60(6): 79-83.
- [20] Kubitz F, Lovshin L L, Lovell R T. Identification of feed enhancers for juvenile large mouth bass *Micropterus salmoides*[J]. Aquaculture, 1997, 148: 191-200.
- [21] Ikeda L, Hosokawa H, Shimeno S, et al. Identification of feeding stimulants for jack mackerel in its muscle extract[J]. Bull Jon Soc Sci Fish, 1988, 54: 229-233.
- [22] 张继泽, 吴天星, 王进波. 水产饲料中核苷酸作为诱食剂的研究进展[J]. 饲料研究, 2007(6): 52-54.
- [23] Coman G J, Sarac H Z, Fielder D, et al. Evaluation of crystalline amino acids. Betaine and AMP as food attractants of the giant tiger prawn *Penaeus monadon*[J]. Comp Biochem Physiol, 1996, 113(3): 247-253.
- [24] 常青, 于宏, 梁萌青. 几种摄饵促进物质对红鳍东方鲀诱食活性研究[J]. 大连水产学院学报, 2001, 16(1): 8-11.
- [25] Papatryphon E, Edoseph H, Soares J R. Identification of feeding stimulants for striped bass, *Morone saxatilis*[J]. Aquaculture, 2000, 185: 339-352.
- [26] 竹田正彦, 潼井健三. 向鳗鱼饲料中添加摄饵促进物质的效果[J]. 养殖, 1987, 24(3): 108-112.
- [27] 荻野珍吉. 鱼类的营养和饲料[M]. 北京: 海洋出版社, 1987: 17-33.
- [28] Kulkami A D, Rudolph F B, Van Buren C T. The role of dietary sources of nucleotides in immune function: A view[J]. Journal of Nutrition, 1994(124): 593-599.
- [29] Sakai M, Taniguchi K, Mamoto K, et al. Immuno stimulant effects of nucleotide isolated from yeast RNA on carp *Cyprinus carpio* L.[J]. J Fish Dis, 2001, 24: 433-438.
- [30] Burrells C, Williams P D, Sonthgate P J, et al. Dietary nucleotides: an ovel supplement in fish feeds II: Effects on vaccination, salt water transfer, growth rates and physiology of Atlantic salmon[J]. Aquaculture, 2001, 199: 171- 184.
- [31] 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): 96-99.