

壳聚糖对虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)幼鱼生长性能、体组成及非特异性免疫的影响*

蒋锦坤^{1,2} 王际英² 张利民² 柳旭东² 冯德智^{1,2}
姜柯君^{1,2} 张德瑞^{1,2}

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 2. 山东省海洋水产研究所 烟台 264006)

摘要 用壳聚糖添加量为 0.00% (D0)、0.25% (D1)、0.50% (D2)、1.00% (D3)和 2.00% (D4)的实验饲料投喂虹鳟幼鱼 50d, 研究其对虹鳟幼鱼生长性能、体组成及非特异性免疫的影响。结果显示, 各实验组增重率(WGR)、特定生长率(SGR)显著高于对照组($P < 0.05$), 饲料系数(FCR)、脏体比(VSI)呈显著降低趋势($P < 0.05$), 而肝体比(HSI)、脾体比(SSI)、肥满度(CF)及存活率(SR)无明显差异($P > 0.05$)。全鱼、肌肉及肝脏粗脂肪含量显著降低($P < 0.05$)。D3 组和 D4 组碱性磷酸酶(ALP)活性显著低于其它各组($P < 0.05$); 酸性磷酸酶(ACP)活性显著降低($P < 0.05$), 溶菌酶(LZM)活性则显著升高($P < 0.05$); D4 组总抗氧化能力(T-AOC)显著高于对照组及 D1 组($P < 0.05$); 超氧化物歧化酶(SOD)活力差异不显著($P > 0.05$)。在本实验条件下, 饲料中添加壳聚糖可显著提高虹鳟幼鱼生长性能、增强非特异性免疫力, 以增重率及非特异性免疫为综合评价指标, 虹鳟饲料中壳聚糖的适宜添加量为 0.50%。

关键词 壳聚糖, 虹鳟, 生长性能, 体组成, 非特异性免疫

中图分类号 S963

甲壳素(Chitin)广泛存在于甲壳动物、昆虫外骨骼及真菌细胞壁中, 是自然界中含量仅次于纤维素的一种粘多糖。因其具有良好的生物适应性、无毒且可被微生物降解等特性而备受关注(Majeti *et al.*, 2000), 但也因溶解性较差、化学性质不活泼而限制了其广泛应用。壳聚糖(Chitosan)作为甲壳素脱乙酰化产物, 是迄今为止所发现的唯一一种碱性多糖, 因其溶解性优于甲壳素而广泛应用于食品、医药、化妆品及水环境治理等诸多领域。目前关于壳聚糖在水产饲料中的应用研究主要集中在草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)(王红权等, 2010)、罗非鱼(*Tilapia*)(Shiau *et al.*, 1999)、异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)(陈勇等, 2006)、鲤鱼(*Cyprinus carpio*)(Ayyaru *et al.*, 2006)等水产动物, 结果表明其具有调节营养物质代谢、促生长

及增强免疫等效果, 因此可用于替代传统化学药物及抗生素的使用, 从而推动水产养殖业的可持续发展。

虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)属鲱形目(Clupeiformes)、鲑科(Salmonidae), 肉质细嫩, 不饱和脂肪酸含量高于其它鱼类, 是世界上养殖范围最广的名贵品种。虹鳟多采用高密度集约化养殖方式, 常见因鱼体相互碰撞导致体表损伤, 继而引发感染、溃烂现象, 严重影响其健康生长与商品价值, 因此如何提高虹鳟免疫力显得尤为重要, 传统方法多采用化学药物或抗生素防治, 但存在药物残留及抗药性等问题。目前有关免疫刺激剂在虹鳟饲料中的应用研究已有所报道, 如葡聚糖、肽聚糖等, 但关于壳聚糖最适添加量的研究尚未见报道。本文以虹鳟幼鱼为研究对象, 通过在饲料中添加不同水平的壳聚糖, 研究其对虹

* 国家科技部农转资金项目, 03EFN213700155 号; 山东省科技发展计划项目, 2010—2013; 山东省水生动物营养与饲料泰山学者岗位(HYK201004)经费资助。蒋锦坤, E-mail: jiangjinkun218105@163.com

通讯作者: 王际英, 研究员, E-mail: ytwjy@126.com

收稿日期: 2011-10-23, 收修改稿日期: 2011-12-26

鳟幼鱼生长性能、体组成及非特异性免疫的影响,以提高鱼体自身免疫力,旨在为壳聚糖在虹鳟饲料中的应用提供科学参考和理论依据。

1 材料与方 法

1.1 实验设计及饲料制作

以基础饲料为对照组(D0),用壳聚糖(食品级,脱乙酰度 85%,购自山东潍坊科海甲壳素有限公司)等比例替代基础饲料中 0.25% (D1)、0.50% (D2)、1.00% (D3)和 2.00% (D4)的羧甲基纤维素,配制五种等氮等能的实验饲料。饲料原料粉碎过 80 目筛,按比例称重、混匀,加入鱼油及适量水再次混匀,加工成直径 4mm 的颗粒饲料,烘干,备用。饲料配方和营养组成见表 1。

表 1 实验饲料配方及营养组成(%)

Tab.1 Formulation and nutrient composition of the experimental diets (%)

| 原料 | 组别 | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 |
| 鱼粉 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| 酪蛋白 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 鱼油 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| α -淀粉 | 13.44 | 13.44 | 13.44 | 13.44 | 13.44 |
| 羧甲基纤维素 | 4 | 3.75 | 3.5 | 3 | 2 |
| 矿物质预混料 ^a | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 维生素预混料 ^b | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 磷酸二氢钙 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 壳聚糖 | 0 | 0.25 | 0.5 | 1 | 2 |
| 粘合剂 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 氯化胆碱(50%) | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 抗氧化剂 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| 合计 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 营养组成(% ,干物质) | | | | | |
| 粗蛋白 | 50.46 | 50.43 | 50.77 | 51.17 | 51.25 |
| 粗脂肪 | 12.99 | 13.15 | 13.42 | 13.13 | 13.17 |
| 灰分 | 10.07 | 10.07 | 10.20 | 9.82 | 9.86 |
| 总能 | 20.23 | 20.41 | 20.45 | 20.41 | 20.37 |
| 蛋能比(mg/kJ) | 24.94 | 24.71 | 24.83 | 25.07 | 25.16 |

注: a. 矿物质预混料(mg/kg 饲料): $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 3000; $NaHCO_3$, 2000; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 600; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, 350; $MnSO_4 \cdot 7H_2O$, 180; KI, 10; Na_2SeO_3 , 10; $CoCl_2 \cdot 6H_2O$, 50; $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 10。 b. 维生素预混料(mg/kg 饲料): 硫胺素, 15; 核黄素, 15; 烟酸, 100; 吡哆醇, 20; 氰钴胺, 4; 泛酸, 50; 生物素, 1; 肌醇, 200; 叶酸, 5; 氯化胆碱, 1000; 抗坏血酸, 240; 维生素 A, 20; 维生素 D, 8; 维生素 E, 150; 维生素 K, 10

1.2 饲养管理

养殖实验在山东省海洋水产研究所淡水循环系统内进行。虹鳟幼鱼[(98.26±0.25)g]在养殖系统中驯养 2 周后随机分至 15 个圆形养殖桶(80cm×70cm)中,每桶 20 尾鱼,水位控制在 50cm 左右,进行为期 50d 的养殖实验。水质条件:水温(14.0±0.5)℃,溶氧>7.0mg/L,氨氮浓度<0.5mg/L。实验期间每天投喂两次(08:00, 16:00),日投喂量占鱼体重 1.5%左右,并根据摄食情况作适当调整。投喂 30min 后从排水口将残饵排出,记录残饵数量。

1.3 样品采集

采样前禁食 24h,称每桶鱼总重。每桶随机取 12 尾鱼,其中 3 尾用作全鱼。剩余 9 尾经 MS-222 麻醉后,称体重、量体长,尾静脉处取血,室温静置 4h 后分离血清(-4℃, 4000r/min, 10min)。取血后分离内脏、肝胰脏、脾脏并称重,取背部肌肉。采样结束后将样品保存于-70℃,用于后续指标测定。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 生长性能

$$\text{增重率}(WGR, \%) = (W_t - W_o) / W_o \times 100;$$

$$\text{特定生长率}(SGR, \%/d) = (\ln W_t - \ln W_o) / d \times 100;$$

$$\text{饲料系数}(FCR) = F / (W_t - W_o);$$

$$\text{脏体比}(VSI, \%) = W_v / W_t \times 100;$$

$$\text{肝体比}(HSI, \%) = W_h / W_t \times 100;$$

$$\text{脾体比}(SSI, \%) = W_s / W_t \times 100;$$

$$\text{肥满度}(CF, \%) = W_f / \text{体长}^3 \times 100;$$

$$\text{存活率}(SR, \%) = \text{实验开始尾数} / \text{实验结束尾数} \times 100$$

式中, W_o 为实验开始时鱼体重量(g), W_t 为实验结束时鱼体重量(g), W_v 为内脏重量(g), W_h 为肝脏重量(g), W_s 为脾脏重量(g), F 为摄食量(g), d 为养殖周期(d)。

1.4.2 常规成分 水分采用 105℃ 烘干恒重法;粗蛋白采用 FOSS 半自动凯式定氮仪(Kjeltec™2100);粗脂肪采用索氏抽提器;灰分采用 550℃ 灼烧恒重法;能量采用氧弹仪(PARR 6100)。

1.4.3 免疫指标 碱性磷酸酶(ALP)采用生化分析仪(7020 型, Hitachi)测定,试剂购于北京利德曼生化股份有限公司;酸性磷酸酶(ACP)、溶菌酶(LZM)、总抗氧化能力(T-AOC)和超氧化物歧化酶(SOD)均采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定。

1.5 数据统计分析

采用 SPSS11.5 软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),差异显著($P < 0.05$)时用 Duncan's 检验进行多重比较分析。统计数据以平均值 ± 标准差

(Means±SD)的形式表示。

2 结果

2.1 壳聚糖对虹鳟幼鱼生长性能的影响

壳聚糖对虹鳟幼鱼生长性能的影响见表 2。各实验组 WGR 及 SGR 均显著高于对照组($P<0.05$), FCR 均显著低于对照组($P<0.05$), 各实验组间差异不显著($P>0.05$); VSI 随着饲料壳聚糖水平的升高而不断降低, 但仅 D3 和 D4 组显著低于对照组($P<0.05$), D4 组显著低于 D1 和 D2 组($P<0.05$), 其它组间差异不显著($P>0.05$); 饲料中添加壳聚糖对虹鳟幼鱼 HIS、SSI、CF 及 SR 没有显著性影响($P>0.05$)。

2.2 壳聚糖对虹鳟幼鱼体组成的影响

从表 3 可以看出, 饲料中添加壳聚糖显著影响虹

鳟幼鱼全鱼、肌肉及肝脏的脂肪含量, 各实验组脂肪含量均显著低于对照组($P<0.05$), D4 组全鱼脂肪含量显著低于 D1 和 D2 组($P<0.05$), D4 组肌肉和肝脏脂肪含量显著低于 D1 组($P<0.05$), 其余各组间差异不显著($P>0.05$); 各实验组肌肉灰分含量均高于对照组, 仅有 D1 组显著高于对照组($P<0.05$), 全鱼灰分含量不受饲料壳聚糖水平的影响($P>0.05$); 饲料壳聚糖水平对虹鳟幼鱼全鱼、肌肉及肝脏水分和粗蛋白含量没有显著性影响($P>0.05$)。

2.3 壳聚糖对虹鳟幼鱼非特异性免疫能力的影响

由表 4 可知, D3 组和 D4 组 ALP 活性显著低于其它各组($P<0.05$), 而且 D4 组显著低于 D0 组($P<0.05$), 其它各组之间无显著差异($P>0.05$)。ACP 活性随饲料中壳聚糖水平的升高而显著降低($P<0.05$), LZM 活性

表 2 壳聚糖对虹鳟幼鱼生长性能和饲料利用效率的影响

Tab.2 Effects of dietary chitosan on growth performance and feed utilization of juvenile rainbow trout

| 生长性能 | 组别 | | | | |
|-----------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 |
| WGR (%) | 87.94±6.78 ^a | 100.98±7.69 ^b | 107.22±3.20 ^b | 107.16±5.72 ^b | 110.40±8.17 ^b |
| SGR (%/d) | 1.29±0.08 ^a | 1.42±0.08 ^b | 1.49±0.03 ^b | 1.49±0.06 ^b | 1.52±0.08 ^b |
| FCR | 1.09±0.05 ^b | 0.99±0.07 ^a | 0.94±0.03 ^a | 0.94±0.05 ^a | 0.91±0.07 ^a |
| VSI (%) | 12.30±1.43 ^c | 11.65±1.77 ^{bc} | 11.61±1.02 ^{bc} | 11.11±1.24 ^{ab} | 10.57±0.94 ^a |
| HIS (%) | 1.25±0.17 | 1.25±0.18 | 1.13±0.15 | 1.13±0.15 | 1.18±0.22 |
| SSI (%) | 0.11±0.03 | 0.12±0.03 | 0.10±0.03 | 0.11±0.03 | 0.12±0.04 |
| CF (%) | 1.93±0.20 | 1.89±0.20 | 1.89±0.10 | 1.85±0.12 | 1.94±0.42 |
| SR (%) | 98.33±2.89 | 96.67±2.89 | 98.33±2.89 | 100 | 98.33±2.89 |

注: 表中数据以平均值±标准差表示($n=3$), 同行数值后不同上标英文字母表示差异显著($P<0.05$)

表 3 壳聚糖对虹鳟幼鱼常规成分的影响(%)

Tab.3 Effects of dietary chitosan on proximate composition of juvenile rainbow trout (%)

| 常规成分 | 组别 | | | | |
|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 |
| 全鱼 | | | | | |
| 水分 | 66.79±1.59 | 68.85±1.36 | 67.48±0.48 | 66.91±1.16 | 68.31±0.76 |
| 粗蛋白 | 17.74±0.29 | 17.65±0.12 | 17.55±0.53 | 18.11±0.64 | 17.72±0.14 |
| 粗脂肪 | 14.47±1.21 ^c | 12.81±0.07 ^b | 12.33±0.17 ^b | 11.90±0.26 ^{ab} | 10.95±1.03 ^a |
| 灰分 | 2.18±0.11 | 2.21±0.11 | 2.33±0.06 | 2.23±0.11 | 2.21±0.13 |
| 肌肉 | | | | | |
| 水分 | 72.83±1.50 | 73.47±0.39 | 73.75±0.39 | 73.56±0.97 | 74.34±0.61 |
| 粗蛋白 | 20.84±0.24 | 20.83±0.29 | 20.89±0.23 | 20.66±0.17 | 20.58±0.35 |
| 粗脂肪 | 5.93±0.46 ^c | 4.98±0.06 ^b | 4.83±0.02 ^{ab} | 4.70±0.02 ^{ab} | 4.39±0.25 ^a |
| 灰分 | 1.36±0.09 ^a | 1.59±0.07 ^b | 1.45±0.11 ^{ab} | 1.46±0.01 ^{ab} | 1.50±0.04 ^{ab} |
| 肝脏 | | | | | |
| 水分 | 72.63±0.56 | 73.00±0.35 | 72.48±0.93 | 73.15±0.88 | 72.81±1.01 |
| 粗蛋白 | 16.22±0.15 | 16.72±0.13 | 16.90±0.59 | 16.64±0.12 | 16.79±1.12 |
| 粗脂肪 | 4.54±0.11 ^c | 3.57±0.85 ^b | 3.09±0.42 ^{ab} | 2.81±0.27 ^{ab} | 2.28±0.17 ^a |

表 4 壳聚糖对虹鳟幼鱼非特异性免疫的影响
Tab.4 Effects of dietary chitosan on non-specific immunity of juvenile rainbow trout

| 免疫指标 | 组别 | | | | |
|---------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 |
| ALP (U/L) | 343.10±6.93 ^c | 313.75±29.20 ^{bc} | 355.30±15.41 ^c | 281.80±15.41 ^b | 232.80±11.88 ^a |
| ACP (U/100ml) | 8.04±0.10 ^c | 7.67±0.81 ^{bc} | 7.32±0.35 ^{ab} | 6.90±0.31 ^a | 6.68±0.77 ^a |
| LZM (U/ml) | 221.05±48.51 ^a | 239.55±32.84 ^a | 296.33±28.50 ^b | 290.82±18.27 ^b | 344.07±20.05 ^c |
| T-AOC (U/ml) | 11.76±1.11 ^a | 11.88±0.50 ^a | 14.22±3.02 ^{ab} | 14.47±2.61 ^{ab} | 17.72±8.60 ^c |
| SOD (U/ml) | 82.12±4.28 | 80.06±9.38 | 84.70±5.12 | 81.22±1.88 | 84.96±3.07 |

则显著升高($P<0.05$)。T-AOC 随饲料壳聚糖水平的升高而升高, D4 组显著高于对照组及 D1 组($P<0.05$), 其它各组间差异不显著($P>0.05$)。饲料中添加壳聚糖对血清 SOD 影响不显著($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 壳聚糖对生长和饲料利用的影响

本实验研究结果表明, 在饲料中添加壳聚糖能够促进虹鳟幼鱼生长、降低饲料系数, 这与草鱼(徐介民等, 2008)、罗非鱼(刘兴国等, 2004a)、鲤鱼(Ayyaru *et al.*, 2006)和军曹鱼(Xu *et al.*, 2011)的研究结果相一致。目前关于壳聚糖对水产动物生长及饲料利用的报道结果不尽相同, Lin 等(2011)的研究结果表明饲料中添加 0.2% 的壳聚糖对锦鲤(*Cyprinus carpio koi*)生长及饲料系数没有显著影响, 而其他学者则发现饲料中添加 2%、5% 和 10% 的甲壳素和壳聚糖抑制罗非鱼(Shiau *et al.*, 1999)和斑节对虾(Shiau *et al.*, 1998)的生长, 表明高剂量的壳聚糖对水产动物的生长具有抑制作用。适量壳聚糖促生长作用的机理可能有两个方面: (1) 壳聚糖分子的空间结构及其所携带的正电荷对病原菌表面的鞭毛及套膜具有吸附、凝集作用(马小珍等, 2001), 从而抑制病原菌繁殖, 改善肠道菌群结构; (2) 壳聚糖可作为消化道双歧杆菌、乳酸菌的底物, 促进有益菌的繁殖, 防止有害菌感染并能合成鱼体生长所需的维生素(丁小岚等, 2005), 从而提高饲料利用率。

研究报道显示, 壳聚糖能够显著降低暗纹东方鲀(*Fugu obscurus*)(华雪铭等, 2005)、淡水白鲳(*Colossoma brachypomum*)(董春等, 2010)、尼罗罗非鱼(曹振杰等, 2010)的脏体比, 提高尼罗罗非鱼的脾体比, 但 50mg/kg 的壳聚糖复合物对三角鲂(*Megalobrama terminalis*)(陆清儿等, 2008)的脏体比及肝体比没有显著性影响。在本实验中, 饲料中添加壳聚糖仅显著降低虹鳟的脏体比, 原因可能在于壳

聚糖能够粘合胆汁酸, 并使其随粪便排出体外, 从而降低胆囊重量, 这与 Ausar 等(2003)提出的理论相一致。

3.2 壳聚糖对体组成的影响

饲料中添加壳聚糖能够显著降低水产动物的粗脂肪含量, 但对水分、灰分和粗蛋白的影响结果不同。在本实验中, 随着饲料壳聚糖水平的升高, 全鱼、肌肉及肝脏粗脂肪含量显著降低($P<0.05$); 对水分、粗蛋白及全鱼灰分没有显著性影响($P>0.05$), 这与 Shiau 等(1999)对罗非鱼全鱼常规成分的影响结果基本一致, 说明壳聚糖对虹鳟幼鱼脂肪沉积具有抑制作用。王红权等(2008)的研究结果表明饲料中添加 0.5% 的壳聚糖能够提高草鱼肌肉粗蛋白含量, 抑制草鱼脂肪沉积; 陆清儿等(2008)研究发现 50mg/kg 的壳聚糖复合物能够增加三角鲂肌肉粗蛋白含量; Fox(1993)和曹丹等(2004)研究发现甲壳素(16%)及壳聚糖(1.0%、1.5% 和 2.0%)分别对斑节对虾和异育银鲫白肌粗蛋白、脂肪含量没有显著性影响, 但显著影响斑节对虾灰分含量。壳聚糖对脂肪沉积的抑制作用可能有两个方面的原因: (1) 高剂量的壳聚糖抑制营养物质的消化吸收(Amit *et al.*, 2011); (2) 碱性的壳聚糖与胃酸结合形成的凝胶状物质具有吸附胆汁酸的作用(来水利等, 2008), 从而影响胆汁对脂肪的乳化作用, 进而降低脂肪的消化吸收。

3.3 壳聚糖对非特异性免疫的影响

鱼类主要依赖非特异性免疫系统抵御外界病原体或细菌的侵袭(Bergljót, 2006), 因此提高非特异性免疫能力对鱼体健康来说显得极其重要。溶菌酶是鱼类非特异性免疫的重要组成部分, 广泛存在于鱼类血液、头肾、鳃、皮肤、消化道及鱼卵中, 通过裂解细菌细胞壁肽聚糖上的糖苷键来消除病原菌对鱼类的影响(Callewaert *et al.*, 2010), 因此溶菌酶的活性直接关系到机体的免疫状态。在本实验中, 虹鳟幼鱼血清 LZM 活性随饲料壳聚糖水平的上升而显著升高, 说明饲料中添加壳聚糖可以提高虹鳟幼鱼的免疫状

态,这与 Ayyaru 等(2006)对鲤鱼的研究结果相一致。Cha 等(2008)和 Claire 等(2004)研究发现壳聚糖能够提高牙鲈(*Paralichthys olivaceus*)粘液及鲤鱼头肾 LZM 活性。提升溶菌酶活性的主要机理可能是壳聚糖能够增强巨噬细胞、粒细胞等免疫细胞分泌溶菌酶的能力,从而提高血清溶菌酶浓度。

血清总抗氧化能力(T-AOC)和超氧化物歧化酶(SOD)是反应机体抗氧化能力的重要指标,SOD 能消除生物体内新陈代谢过程中产生的氧自由基 O^{-2} ,是生物体内一种重要的抗氧化酶。刘兴国等(2004b)研究发现 0.25%低分子量壳聚糖能够显著提高罗非鱼肝脏 SOD 浓度;李云华等(2009)的研究结果表明饲料中添加 1.0%壳聚糖可显著提高克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)血清 SOD 活性;曹振杰等(2010)发现当壳聚糖添加量介于 0.0%和 1.0%之间时,罗非鱼血清 SOD 活性随饲料壳聚糖平的升高呈先上升后下降的趋势。在本实验中,壳聚糖能够提高血清 T-AOC,但对 SOD 活性没有显著性影响,这与王红权等(2010)对草鱼、曹志华等(2010)对异育银鲫 SOD 的研究结果相一致,说明壳聚糖能够提高虹鳟幼鱼总抗氧化能力。

碱性磷酸酶(ALP)及酸性磷酸酶(ACP)是生物体内的磷酸基团转移酶,正常情况下,ALP 和 ACP 活力很弱或没有活性,当机体出现炎症或发生病变时其活力都会升高。Lin 等(2011)的研究结果表明饲料中添加 0.2%的壳聚糖对锦鲤血清 ACP 活性没有显著影响;而曹振杰等(2010)则发现 0.4%、0.6%和 0.8%的壳聚糖可显著提高尼罗罗非鱼血清 ACP 活性,添加 0.6%组活性最高;童春等(2010)研究结果也表明饲料中添加 0.4%壳聚糖可显著提高淡水白鲢血清 ACP 活性;王兰等(2009)通过向水体中添加低分子量壳聚糖(LMWC)研究其对长江华溪蟹(*Sinopotamon yangtsekiense*)免疫的影响,结果表明当水体中 LMWC 浓度达 0.5mg/L 和 1mg/L 时,长江华溪蟹血清 ALP 活性显著升高,但浓度为 8mg/L 对其活性则没有显著影响。在本实验条件下,ACP 随饲料壳聚糖水平的升高而降低,但仅 2%组显著低于对照组,而 1%和 2%组 ALP 活性显著低于对照组,说明饲料中添加壳聚糖能够缓解炎症对虹鳟幼鱼的伤害。

从本实验研究结果来看,饲料中添加壳聚糖能够显著提高虹鳟幼鱼血清溶菌酶活性,改善机体抗氧化能力,从而提高虹鳟幼鱼的非特异性免疫能力。

4 结论

在本实验中,饲料中添加壳聚糖能够显著提高虹鳟幼鱼生长性能,增强非特异性免疫能力,以增重率及非特异性免疫为综合评定指标,虹鳟饲料中壳聚糖的适宜添加量为 0.50%。

参 考 文 献

- 丁小岚,闫素梅,塔娜,2005.壳聚糖对动物脂肪代谢及生长性能的影响.饲料工业,26(12):8—9
- 马小珍,冯玉兰,周 围,2001.新型饲料添加剂——甲壳素与壳聚糖.饲料博览,2:33—34
- 王 兰,王 茜,吉晋芳等,2009.低分子量壳聚糖对长江华溪蟹免疫功能的影响.山西大学学报(自然科学版),32(4):627—633
- 王红权,赵玉蓉,余建波等,2008.壳聚糖对草鱼生长及肌肉营养成分的影响.湖南农业大学学报,34(5):576—578
- 王红权,赵玉蓉,余建波,2010.壳聚糖对草鱼非特异性免疫功能的影响.湖南农业大学学报(自然科学版),36(2):215—217
- 华雪铭,周洪琪,张宇峰等,2005.饲料中添加壳聚糖和益生菌对暗纹东方鲀幼鱼生长及部分消化酶的影响.水生生物学报,29(3):299—305
- 刘兴国,周洪琪,宋理平,2004a.低分子量壳聚糖对罗非鱼的肝脂代谢和饲料利用效率的影响研究.海洋水产研究,25(5):42—46
- 刘兴国,宋理平,周洪琪,2004b.低分子量壳聚糖对罗非鱼肝组织抗氧化能力和肝脂含量影响的研究.海洋渔业,26(4):291—294
- 李云华,李太元,黄金凤等,2009.壳聚糖对克氏原螯虾几种免疫相关酶活性的影响.中国饲料,20:28—30
- 来水利,王克玲,2008.壳聚糖及其衍生物的降血脂作用机理.日用化学品科学,31(10):30—32
- 陆清儿,刘新轶,王宇希等,2008.壳聚糖及其复合物对三角鲂生长及鱼体成分的影响.淡水渔业,38(1):70—73
- 陈 勇,周洪琪,冷向军等,2006.壳聚糖对异育银鲫生长和消化酶的影响.中国水产科学,13(3):440—445
- 徐介民,赵玉蓉,王红权等,2008.不同浓度的壳聚糖对草鱼生长的影响.饲料研究,3:54—55
- 曹 丹,周洪琪,2004.壳聚糖对异育银鲫的生长、蛋白质合成及肌肉营养成分的影响.淡水渔业,34(1):6—9
- 曹志华,严书林,罗静波等,2010.壳聚糖对异育银鲫非特异性免疫功能的影响.长江大学学报(自然科学版),7(2):29—32
- 曹振杰,童 春,张婧一等,2010.壳聚糖对受免尼罗罗非鱼生长和免疫功能的影响.上海海洋大学学报,19(4):463—468
- 童 春,曹振杰,杨 玲等,2010.壳聚糖对淡水白鲢生长和非特异性免疫功能的影响.上海海洋大学学报,19(2):219—225
- Amit K, Kumar V, Harinder P S *et al*, 2011. Non-starch polysac-

- charides and their roles in fish nutrition—A review. *Food Chemistry*, 127(4): 1409—1426
- Ausar S F, Morcillo M, Leon A E *et al*, 2003. Improvement of HDL and LDL cholesterol levels in diabetic subjects by feeding bread containing chitosan. *J Med Food*, 6(4): 397—399
- Ayyaru G, Arul V, 2006. Immunomodulatory effects of dietary intake of chitin, chitosan and levamisole on the immune system of *Cyprinus carpio* and control of *Aeromonas hydrophila* infection in ponds. *Aquaculture*, 225: 179—187
- Bergljót M, 2006. Innate immunity of fish (overview). *Fish & Shellfish Immunology*, 20(2): 137—151
- Callewaert L, Michels C W, 2010. Lysozymes in the animal kingdom. *J Biosci*, 35(1): 127—160
- Cha S H, Lee J S, Song C B *et al*, 2008. Effects of chitosan-coated diet on improving water quality and innate immunity in the olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*, 278: 110—118
- Claire D, Severine P P, Stephane B *et al*, 2004. Modulation in hepatic and head kidney parameters of carp (*Cyprinus carpio* L.) induced by copper and chitosan. *Comparative Biochemistry and Physiology (Part C)*, 137: 325—333
- Lin S M, Yu P, Lin L *et al*, 2011. Effects of dietary -1,3-glucan, chitosan or raffinose on the growth, innate immunity and resistance of koi (*Cyprinus carpio koi*). *Fish & Shellfish Immunology*, 31(6): 788—794
- Majeti N V, Ravi K, 2000. A review of chitin and chitosan applications. *Reactive & Functional Polymers*, 46(1): 1—27
- Shiau S Y, Yu Y P, 1998. Chitin but not chitosan supplementation enhances growth of grass shrimp, *Penaeus monodon*. *The Journal of Nutrition*, 28: 908—912
- Shiau S Y, Yu Y P, 1999. Dietary supplementation of chitin and chitosan depresses growth in tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Aquaculture*, 179: 439—446
- Xu G, Dong X H, Tan B P *et al*, 2011. Effects of dietary chitosan and *Bacillus subtilis* on the growth performance, non-specific immunity and disease resistance of cobia, *Rachycentron canadum*. *Fish & Shellfish Immunology*, 31(3): 400—406

EFFECTS OF DIETARY CHITOSAN ON GROWTH PERFORMANCE, BODY COMPOSITION AND NON-SPECIFIC IMMUNITY OF JUVENILE *ONCORHYNCHUS MYKISS*

JIANG Jin-Kun^{1,2}, WANG Ji-Ying², ZHANG Li-Min², LIU Xu-Dong²,
FENG De-Zhi^{1,2}, JIANG Ke-Jun^{1,2}, ZHANG De-Rui^{1,2}

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai, 201306; 2. Marine Fisheries Research Institute of Shandong Province, Yantai, 264006)

Abstract Rainbow trout was cultured widespread all around the world, but the healthy of rainbow trout was generally inhibited by high-density culture. A 50-d feeding trial was carried out to investigate the effects of dietary chitosan on growth performance, body composition and non-specific immunity of juvenile *Oncorhynchus mykiss* [(98.26±0.25)g]. Five isonitrogenous and isoenergetic diets were formulated by adding 0% (D0, control group), 0.25% (D1), 0.50% (D2), 1.00% (D3) and 2.00% (D4) chitosan to the basal diet, in which casein and fish meal were used as the protein source and fish oil as the lipid source, respectively. Results showed that: weight gain rate (*WGR*) and specific growth rate (*SGR*) increased whereas feed conversion ratio (*FCR*) decreased significantly ($P<0.05$) with chitosan addition. No significant differences were found among chitosan-supplemented groups ($P>0.05$). Viscerosomatic index (*VSI*) decreased ($P<0.05$) with dietary chitosan supplementation ($P<0.05$). However, there were no statistical differences in hepatosomatic index (*HSI*), spleen-somatic index (*SSI*), condition factor (*CF*) or survival ratio (*SR*) ($P>0.05$). Lipid content in whole fish, muscle and liver were decreased obviously by dietary chitosan ($P<0.05$), while no change existed in moisture and protein contents ($P>0.05$). Alkaline phosphatase (*ALP*) activity in serum of D3 and D4 groups was decreased significantly ($P<0.05$) and there were no differences among other groups ($P>0.05$). Serum acid phosphatase (*ACP*) activity decreased as dietary chitosan supplementation level increased ($P<0.05$), while lysozyme (*LZM*) activity was increased ($P<0.05$). Total antioxidant capacity (*T-AOC*) of D4 group was significantly higher than that of the control and D1 group ($P<0.05$) and no differences were found among other groups ($P>0.05$). Superoxide dismutase (*SOD*) was not affected by dietary chitosan ($P>0.05$).

Key words Chitosan, *Oncorhynchus mykiss*, Growth performance, Body composition, Non-specific immunity