

文章编号: 1674 - 5566(2014)05 - 0726 - 07

低聚壳聚糖对福瑞鲤生长、非特异性免疫及抗氧化指标的影响

张严伟^{1,2}, 陈跃平¹, 李嫔¹, 李向飞^{1,3}, 刘文斌^{1,3}, 周岩民¹

(1. 南京农业大学 动物科技学院, 江苏 南京 210095; 2. 江苏省农垦集团有限公司, 江苏 南京 210008; 3. 江苏省水产动物营养重点实验室, 江苏 南京 210095)

摘要:以初始体重(33.90 ± 0.11) g 的福瑞鲤(FFRC Strain Common Carp, *Cyprinus carpio*)为研究对象,在基础日粮中分别添加 0(对照组)、25、50 和 100 mg/kg 低聚壳聚糖,于室内可控循环水养殖系统中进行 35 d 的实验,研究了低聚壳聚糖对福瑞鲤生长、非特异性免疫及抗氧化指标的影响。结果表明,与对照组相比,低聚壳聚糖对福瑞鲤生长性能、肌肉成分无显著影响($P > 0.05$);各实验组血浆碱性磷酸酶活力显著提高($P < 0.01$);各实验组血浆总铁结合力水平、补体 C3 和 C4 含量有一定升高($P > 0.05$);25 mg/kg 实验组脾脏 NO 水平极显著提高($P < 0.01$);50 ($P < 0.05$) 和 100 mg/kg ($P < 0.01$) 实验组脾脏髓过氧化物酶活力均有显著提高;50 mg/kg 实验组血浆超氧化物歧化酶活力显著升高且丙二醛水平显著降低($P < 0.05$)。研究表明,饲料中添加适量的低聚壳聚糖对福瑞鲤的非特异性免疫和抗氧化功能有明显的增强作用。实验条件下,低聚壳聚糖添加量为 50 mg/kg 较适宜。

研究亮点:目前以壳聚糖为饲料添加剂的文章较少提及其平均分子量和脱乙酰度等,本文明确指出低聚壳聚糖的平均分子量且该平均分子量的壳聚糖在国内研究较少。此外,福瑞鲤是一种水产新品种,尚未发现国内外水产动物营养与饲料方向有关以福瑞鲤为实验对象的研究。

关键词:低聚壳聚糖;福瑞鲤;生长性能;非特异性免疫;抗氧化指标

中图分类号:S 963.7

文献标志码:A

近年来,水产养殖业在迅猛发展的同时,由于养殖密度过高、养殖周期缩短等问题,养殖鱼类病害增加,造成了巨大的经济损失^[1]。免疫增强剂因其能提高免疫力且不存在耐药性等特点逐渐成为解决病害的重要途径之一。壳聚糖具有增强免疫、提高抗病力等生理功能^[2],已被证明是一种安全有效的免疫增强剂。壳聚糖生物学活性因其分子量的改变会呈现出一定的差异^[3]。目前,壳聚糖在鱼类上的研究主要集中在对生长及免疫调节等方面的影响。蒋锦坤等研究显示,饲料中添加 0.5% 壳聚糖能促进虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)幼鱼生长及增强非特异性免疫^[4];任国锐研究表明,添加低分子量壳聚糖能促进鲤鱼(*Cyprinus carpio*)生长和增强免疫力,其最佳添加量为 0.75%^[5];LIN 等发现,饲料

中添加 0.2% 壳聚糖能提高锦鲤(*Cyprinus carpio koi*)特定生长率,降低饵料系数,提高血清 SOD 及溶菌酶活力^[6];GOPALAKANNAN 和 ARUL 研究表明,饲料中添加 1% 壳聚糖能促进鲤鱼生长并提高血清白细胞总数和溶菌酶活力^[7];童春等在淡水白鲟(*Colossoma brachypomum*)饲料中添加 0.6% ~ 0.8% 壳聚糖,发现其特定生长率、饲料效率、溶菌酶以及 SOD 活力有显著提高^[8]。因已报道的不同研究中所用的壳聚糖分子量、来源等差别较大,最适添加量亦不同^[4-8],结果可比性较差。

壳聚糖经降解获得聚合度较低的低聚壳聚糖具有良好的生物学活性。福瑞鲤(FFRC Strain Common Carp, *Cyprinus carpio*)是以建鲤和野生黄河鲤为基础群体选育后获得的新品种。目前关

收稿日期: 2014-03-21 修回日期: 2014-05-21

基金项目: 现代农业产业技术体系(nycytx-49-21)

作者简介: 张严伟(1985—),男,硕士研究生,研究方向为动物营养与饲料。E-mail: zyzyw424@126.com

通信作者: 周岩民, E-mail: zhouym6308@163.com

于低聚壳聚糖对鱼类生长、非特异性免疫及抗氧化指标的影响以及福瑞鲤的有关研究相对缺乏。为此,本实验通过研究低聚壳聚糖对福瑞鲤生长、非特异性免疫及抗氧化指标的影响,评价其在福瑞鲤上的应用效果,为其在水产饲料中的合理应用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

本实验所用的低聚壳聚糖由浙江嘉兴科瑞生物科技有限公司提供,其平均分子量为 25 ku,脱乙酰度 >85%,粒径 <25 μm。

1.2 实验分组与处理

选取初始体重为(33.90 ± 0.11)g 的福瑞鲤 300 尾,随机分成 4 组,每组 5 个重复,每个重复 15 尾,分别投喂含有 0、25、50 和 100 mg/kg 低聚壳聚糖的饲料。实验用饲料由江苏苏南饲料有限公司生产,各种饲料原料经粉碎后过 60 目筛,将不同比例的壳聚糖与微量成分预混合,再采取逐级扩大法将各组充分混匀后,制成粒径 2 mm 沉性颗粒饲料。基础饲料配方及营养水平见表 1 (风干基础)。

表 1 基础饲料配方及营养水平

Tab. 1 Contents and nutrient levels of the basal diet %

成分	含量	营养水平 ²	含量
鱼粉	8.00	总能(MJ/kg)	17.90
菜粕	14.00	粗蛋白	30.97
豆粕	23.00	总磷	1.32
棉粕	14.00	有效磷	0.81
米糠	13.00	赖氨酸	1.56
小麦	16.00	蛋氨酸+半胱氨酸	1.03
次粉	5.00		
豆油	3.00		
磷酸二氢钙	2.50		
食盐	0.50		
预混料 ¹	1.00		
合计	100.00		

注:1. 预混料可为每千克全价料提供——维生素 A 9000 IU,维生素 D₃ 2000 IU,维生素 E 100 mg,维生素 K₃ 2.2 mg,维生素 B₁ 3.2 mg,维生素 B₂ 10.9 mg,维生素 B₃ 10 mg,维生素 B₅ 20 mg,维生素 B₆ 5 mg,维生素 B₁₂ 16 μg,维生素 C 100 mg,叶酸 3 mg,胆碱 600 mg,生物素 15 mg,肌醇 200 mg,铜 4 mg,铁 44 mg,锌 80 mg,镁 100 mg,硒 0.25 mg,碘 0.6 mg,钴 0.07 mg,锰 20 mg; 2. 总能和粗蛋白为实测值,其余均为计算值。

1.3 饲养管理

养殖实验在江苏金康达公司水产营养研究中心进行,室内采用可控温循环水养殖系统,共

使用 20 个水族箱,每个水族箱(容积为 155 L)为 1 个重复。实验期为 42 d,其中驯化期 7 d,正式期 35 d。日投喂 3 次(08:30、12:00、16:30),日投喂量为鱼体质量的 2%~4%,并根据摄食情况进行调整,以每次投喂后无残饵为宜;定期测定水质,饲养过程中水温控制在(25 ± 2) °C,水体 pH 为 7.0~7.5,溶解氧 >5.0 mg/L,氨氮 <0.4 mg/L,亚硝酸盐氮 <0.064 mg/L;其他均按照常规进行管理。

1.4 样品采集及处理

养殖实验结束后,将鱼饥饿 24 h。每箱随机取福瑞鲤 3 尾,尾静脉采血,肝素钠抗凝,血液样品在 4 °C 下 3 500 r/min 离心 10 min,收集上层血浆于 -20 °C 保存,用于测定血浆免疫指标和抗氧化指标;打开腹腔分离出脾脏于 -20 °C 保存,用于测定脾脏免疫指标;取背鳍下方侧线以上的背肌,去皮去骨后,65 °C 烘干后粉碎,测定肌肉成分。

1.5 测定指标及方法

生长性能:分别于正式实验开始和结束时对鱼体称重,记录每天的投喂量,收集残饵并烘干称重。按下列公式计算增重率(weight gain, WG)、特定生长率(specific growth rate, SGR)、饵料系数(feed conversion ratio, FCR)和成活率(survival rate, SR):

$$W_G = 100 \times (W_t - W_0) / W_0 \quad (1)$$

$$S_{GR} = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t \quad (2)$$

$$F_{CR} = F_t / (W_t - W_0) \quad (3)$$

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

式中:W_G 为增重率;S_{GR} 为特定生长率;F_{CR} 为饵料系数;S_R 为成活率;W₀ 为鱼初均体重;W_t 为鱼末均体重;t 为饲喂天数;F_t 为每尾鱼平均摄食饲料重(风干样重);N_t 为收获尾数;N₀ 为放养尾数。

肌肉成分:背部肌肉中常规营养成分水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量的测定分别参照 GB/T 6435—2006、GB/T 6432—94、GB/T 6433—2006 和 GB/T 6438—2007 进行。

血浆指标:碱性磷酸酶(AKP)、总铁结合力(TIBC)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、丙二醛(MDA)和总抗氧化能力(T-AOC)均采用试剂盒(南京建成生物工程研究所,编号分别为 A059-1、A040、A001-1、A007、A003-1 和 A015)进行测定。血浆补体 C3 和 C4 含量采

用速率散射比浊法测定,所用试剂盒购于浙江伊利康有限公司(编号分别为 Y10025 和 Y10026)。

脾脏指标:将脾脏从冰箱中取出后,称重并按 1:9 的质量体积比(m/V)加 4 ℃生理盐水,冰浴匀浆。匀浆液于 4 ℃下 3 500 r/min 离心 15 min 取上清液待测。一氧化氮(NO)、髓过氧化物酶(MPO)和 AKP 均采用试剂盒(南京建成生物工程研究所,编号分别为 A012、A044 和 A059 - 1)进行测定。

1.6 数据统计

实验数据用 Excel 2003 进行初步处理,采用 SPSS 16.0 软件进行统计,采用单因素方差分析(One-way ANOVA 和 Duncan 氏)进行差异显著性

检验和多重比较,结果以“平均值±标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 低聚壳聚糖对福瑞鲤肌肉成分的影响

由表 2 可知,与对照组相比,各实验组肌肉水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量均无明显变化($P > 0.05$)。

2.2 低聚壳聚糖对福瑞鲤生长性能的影响

由表 3 可知,与对照组相比,除 25 mg/kg 实验组外,50 和 100 mg/kg 实验组福瑞鲤的增重率、特定生长率均略有下降、饵料系数略有增加,但差异均不显著($P > 0.05$)。

表 2 低聚壳聚糖对福瑞鲤肌肉成分的影响

Tab.2 Effects of dietary chitosan-oligosaccharide on muscle composition of FFRC Strain Common Carp %

项目	低聚壳聚糖/(mg/kg)			
	0	25	50	100
水分	77.78 ± 0.39	77.71 ± 0.36	77.45 ± 0.16	77.31 ± 0.27
粗蛋白	18.90 ± 0.14	18.85 ± 0.13	19.15 ± 0.03	19.10 ± 0.16
粗脂肪	1.84 ± 0.06	1.75 ± 0.11	1.65 ± 0.20	1.66 ± 0.07
粗灰分	1.10 ± 0.15	1.18 ± 0.04	1.35 ± 0.14	1.24 ± 0.07

表 3 低聚壳聚糖对福瑞鲤生长性能的影响

Tab.3 Effects of dietary chitosan-oligosaccharide on growth performance of FFRC Strain Common Carp

项目	低聚壳聚糖/(mg/kg)			
	0	25	50	100
初始体重/g	33.84 ± 0.26	33.92 ± 0.27	33.83 ± 0.25	34.00 ± 0.24
终末体重/g	69.79 ± 1.09	70.77 ± 0.88	68.33 ± 0.94	69.41 ± 1.52
增重率/%	106.28 ± 4.79	108.65 ± 1.84	103.42 ± 3.16	104.06 ± 3.29
特定生长率/(%/d)	2.07 ± 0.07	2.10 ± 0.02	2.00 ± 0.04	2.04 ± 0.05
饵料系数	1.79 ± 0.06	1.75 ± 0.03	1.81 ± 0.05	1.82 ± 0.06
成活率/%	98.67 ± 1.33	100 ± 0.00	100 ± 0.00	98.67 ± 1.33

2.3 低聚壳聚糖对福瑞鲤血浆非特异性免疫的影响

由表 4 可知,与对照组相比,各实验组 AKP 活力都有不同程度的升高,且差异极显著($P < 0.01$);不同水平低聚壳聚糖对血浆 TIBC 水平、补体 C3、C4 以及 C3/C4 均无显著影响($P > 0.05$)。

2.4 低聚壳聚糖对福瑞鲤脾脏免疫指标的影响

由表 5 可知,25 mg/kg 组的脾脏 NO 含量最高并显著高于其他实验组($P < 0.05$),且极显著高于对照组($P < 0.01$)。与对照组相比,各实验组的 MPO 活力分别提高了 17.44% ($P > 0.05$)、

38.22% ($P < 0.05$) 和 50.65% ($P < 0.01$)。此外,低聚壳聚糖可以在一定程度上提高福瑞鲤脾脏中的 AKP 活力,但差异不显著($P > 0.05$)。

2.5 低聚壳聚糖对福瑞鲤血浆抗氧化指标的影响

由表 6 可知,与对照组相比,除 100 mg/kg 实验组 T-AOC 水平略有降低外,各实验组血浆 SOD 活力、CAT 活力、T-AOC 水平均有不同程度的提高,其中 50 mg/kg 实验组 SOD 活力显著提高($P < 0.05$);各实验组 MDA 水平有不同程度的降低,其中 50 mg/kg 实验组 MDA 水平显著降低($P < 0.05$)。

表 4 低聚壳聚糖对福瑞鲤血浆非特异性免疫指标的影响

Tab. 4 Effects of dietary chitosan-oligosaccharide on plasma nonspecific immune parameters of FFRC Strain Common Carp

项目	低聚壳聚糖/(mg/kg)				%
	0	25	50	100	
碱性磷酸酶/(U/L)	47.89 ± 1.84 ^{Bb}	64.58 ± 1.95 ^{Aa}	66.77 ± 4.41 ^{Aa}	71.48 ± 2.61 ^{Aa}	
总铁结合力/(mg/L)	6.96 ± 0.40	7.00 ± 0.24	7.95 ± 0.12	7.38 ± 0.27	
补体 C3/(mg/L)	160.87 ± 8.20	163.62 ± 4.78	177.40 ± 9.50	169.93 ± 24.44	
补体 C4/(mg/L)	33.96 ± 6.01	35.92 ± 4.40	38.14 ± 11.17	37.67 ± 4.70	
C3/C4	6.10 ± 1.52	5.54 ± 0.46	6.86 ± 1.85	4.35 ± 0.84	

注:同行肩标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)。表 5、6 同。

表 5 低聚壳聚糖对福瑞鲤脾脏免疫指标的影响

Tab. 5 Effects of dietary chitosan-oligosaccharide levels on spleen immune parameters of FFRC Strain Common Carp

项目	低聚壳聚糖/(mg/kg)				%
	0	25	50	100	
一氧化氮/($\mu\text{mol/g}$)	4.18 ± 0.18 ^{Bb}	6.09 ± 0.39 ^{Aa}	4.76 ± 0.49 ^{ABb}	4.44 ± 0.49 ^{ABb}	
髓过氧化物酶/(U/g)	5.39 ± 0.47 ^{Bb}	6.33 ± 0.10 ^{ABab}	7.45 ± 0.56 ^{ABa}	8.12 ± 0.85 ^{Aa}	
碱性磷酸酶/(U/g)	8.96 ± 1.80	12.48 ± 1.95	10.10 ± 1.27	9.50 ± 1.69	

表 6 低聚壳聚糖对福瑞鲤血浆抗氧化指标的影响

Tab. 6 Effects of dietary chitosan-oligosaccharide levels on plasma antioxidant parameters of FFRC Strain Common Carp

项目	低聚壳聚糖/(mg/kg)				%
	0	25	50	100	
超氧化物歧化酶/(U/mL)	77.08 ± 4.20 ^b	82.66 ± 1.25 ^{ab}	89.83 ± 3.49 ^a	81.32 ± 2.20 ^{ab}	
丙二醛/(nmol/L)	13.81 ± 1.66 ^a	10.66 ± 1.73 ^{ab}	8.01 ± 0.65 ^b	10.90 ± 1.01 ^{ab}	
过氧化氢酶/(U/mL)	10.28 ± 0.26	11.27 ± 0.32	11.14 ± 0.78	11.52 ± 0.31	
总抗氧化能力/(U/mL)	3.31 ± 0.15	3.38 ± 0.20	3.44 ± 0.14	3.27 ± 0.16	

3 讨论

3.1 低聚壳聚糖对福瑞鲤生长性能的影响

目前,关于壳聚糖对鱼类生长性能的影响已有部分报道,日粮中添加 20、40 和 60 mg/kg 壳聚糖不影响虹鳟的生长性能^[9]。日粮中添加 0.5% ~ 1% 壳聚糖可显著提高异育银鲫 (*Carassius auratus gibelio*) 的特定生长率和蛋白质效率,但添加量较低时效果并不显著^[10]。此外,添加 0.2% 壳聚糖可显著提高暗纹东方鲀 (*Takifugu obscurus*) 生长性能,但添加 0.5% 和 1% 壳聚糖却在一定程度上导致其生长性能的降低^[11]。由以上研究可知,目前关于壳聚糖对鱼类生长性能影响的报道结果并不一致,这可能与研究中所用的壳聚糖来源、脱乙酰度、分子量和实验动物等的不同有关。但总体来说,壳聚糖在适当添加范围内能促进鱼类的生长,而添加过量则

可能对其生长产生负面影响。本实验表明,除了 25 mg/kg 实验组福瑞鲤生长性能略有改善,其他实验组福瑞鲤生长性能无显著变化,这与上述的一些研究结果^[9-10]相似。

本实验中,低聚壳聚糖有提高福瑞鲤背肌粗蛋白含量和降低粗脂肪含量的趋势,与王红权等在草鱼上的研究结果^[12]相似。没有达到显著水平,可能是由于本实验添加低聚壳聚糖水平远低于之前研究报道的水平,不足以起到显著促进鱼体蛋白质合成和改善肌肉粗脂肪含量的效果。此外,本实验环境条件较为洁净,未能体现出抗逆优势,也可能是低聚壳聚糖没有表现出促生长效果的原因之一。关于低聚壳聚糖对动物生长影响的具体机制尚需进一步研究。

3.2 低聚壳聚糖对福瑞鲤血浆非特异性免疫的影响

AKP^[13]、转铁蛋白 (Transferrin, Tf) 以及补体

C3、C4 皆能在鱼体免疫机能中发挥重要作用。由于 Tf 有很高的铁结合力,常用 TIBC 来反映 Tf 的含量。许多研究发现,浸浴低分子量壳聚糖能提高长江华溪蟹 (*Sinopotamon yangtsekiense*) 血清 AKP 活力^[14];饲料中分别添加 5 g/kg 和 10 g/kg 壳聚糖能显著提高黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*) 血液补体 C3 和 C4 含量^[15]。本实验中,在饲料中添加不同水平的低聚壳聚糖使福瑞鲤血浆 AKP 活力、SOD 活力、TIBC 含量、补体 C3 和 C4 含量都有不同程度的提高,其中在添加量为 50 mg/kg 时达到最大值。大量研究表明,壳聚糖为阳性趋化剂,是一类带有氨基和羟基活性基团的聚合物。经过降解的低聚壳聚糖,分子量较低,其分子链上存在大量的游离氨基,能够吸附 H⁺ 形成 -NH₃⁺,通过吸附并激活表面带负电荷的巨噬细胞和淋巴细胞的途径来促进巨噬细胞的吞噬能力,增强淋巴细胞的免疫应答,同时刺激补体经典和旁路激活途径而产生补体 C3、C4,进而提高其非特异性免疫机能^[16]。这也在一定程度上解释了本实验中实验组 C3 和 C4 含量升高的结果。蒋锦坤等在虹鳟饲料中添加 0.5% 壳聚糖^[4]、LIN 等在锦鲤饲料中添加 0.2% 壳聚糖^[6]、GOPALAKANNAN 和 ARUL 在鲤鱼饲料中添加 1% 壳聚糖^[7]、童春等在淡水白鲢饲料中添加 0.6% ~ 0.8% 壳聚糖^[8] 的研究结果都证实了适量的壳聚糖能增强实验鱼的免疫能力,本实验使用的低聚壳聚糖分子量较低,生物学活性更高,且粒度较小,分散更充分,致使较低添加量即可达到提高免疫状态的效果。但添加水平在 100 mg/kg 时这种促进作用有减缓的趋势,这说明低聚壳聚糖超出一定剂量可能造成鱼类免疫疲劳状况。

3.3 低聚壳聚糖对福瑞鲤脾脏免疫指标的影响

NO 是由一氧化氮合酶催化 L-精氨酸与氧分子经多步氧化还原反应而生成,是生物体内一种重要的气体信号分子和效应分子,广泛存在于动物组织细胞中,在机体的免疫应答系统中发挥重要作用^[17]。MPO 是一种血红素蛋白,存在于中性粒细胞和单核细胞,能与 O²⁻ 反应,产生次氯酸,具有很强的杀菌作用。吞噬细胞可以通过 MPO 杀灭和清除病原体,对增强机体免疫功能和抵抗病原微生物入侵有重要作用。对免疫抑制状态的异育银鲫和草鱼的研究发现,壳聚糖能促

进鱼体 NO 的产生^[18-19]。本实验中,添加 25 mg/kg 低聚壳聚糖能显著提高脾脏 NO 含量,其可能的机制是低聚壳聚糖通过促进诱导型一氧化氮合酶(iNOS)的基因表达,使 iNOS 合成增加,进而促进了 NO 的合成与分泌^[20]。随着低聚壳聚糖添加量的增加,脾脏 NO 含量没有增加反而有所下降,这可能是由于 NO 的产生除了与 iNOS 合成有关,还受底物精氨酸浓度等多种因素影响^[17]。实验结果还显示 50 mg/kg 和 100 mg/kg 低聚壳聚糖能显著增强脾脏 MPO 活力,这与 CHA 等的研究结果类似^[21]。本实验用的低聚壳聚糖分子链上的氨基能被机体免疫系统所识别,能有效刺激巨噬细胞的活化,促进白细胞 O²⁻ 的生成,增强 MPO 活力,与 O²⁻ 反应产生次氯酸进而提高福瑞鲤的杀菌能力^[22]。而 25 mg/kg 实验组脾脏 MPO 没有显著增强的原因可能是低聚壳聚糖添加量较少,未能起到刺激和活化机体免疫细胞的效果。

3.4 低聚壳聚糖对福瑞鲤血浆抗氧化指标的影响

SOD、CAT 是鱼体的抗氧化系统中重要的抗氧化酶。MDA 是脂质过氧化的主要分解产物,其含量的高低可间接反映细胞的损伤程度。T-AOC 活力能间接体现机体清除氧自由基的总体能力。壳聚糖的抗氧化性能已有研究,在体外实验中,KIM 和 THOMAS^[23]、SUN 等^[24] 证明了低分子量的壳聚糖拥有更强的抗氧化能力。PARK 等发现脱乙酰度为 90% 的壳聚糖清除 DPPH 自由基、·OH 和 O²⁻· 能力最强,而脱乙酰度为 50% 的壳聚糖清除能力最弱^[25]。在动物实验中,LIN 等发现饲料中添加 500 mg/kg 壳聚糖能显著提高锦鲤血液 SOD 活力^[26]。本实验结果表明,饲料中添加 50 mg/kg 低聚壳聚糖能够提高福瑞鲤血浆 SOD 活力,并能降低 MDA 水平,从而提高机体清除自由基的能力。这与 LIN 等^[26] 研究结果一致。这说明低聚壳聚糖能够提高福瑞鲤的抗氧化性能,其可能原因是壳聚糖分子存在活性羟基和氨基,可以与自由基反应,从而起到清除自由基的作用。与前人研究相比,本实验所用低聚壳聚糖分子量较小,脱乙酰度较高,由于分子主链的缩短,分子内氢键弱,具有更多的自由羟基和氨基基团,因而具有更好的抗氧化性能。

综上所述,在饲料中添加适量的低聚壳聚糖

可以显著改善福瑞鲤非特异性免疫和抗氧化能力。在本实验条件下,建议低聚壳聚糖添加量为 50 mg/kg 较适宜。

参考文献:

- [1] 戈贤平, 缪凌鸿. 我国大宗淡水鱼产业发展现状与体系研究进展[J]. 中国渔业质量与标准, 2011, 1(3): 22-31.
- [2] XIA W S, LIU P, ZHANG J L, et al. Biological activities of chitosan and chitooligosaccharides [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(2): 170-179.
- [3] ZHENG L Y, ZHU J F. Study on antimicrobial activity of chitosan with different molecular weights [J]. Carbohydrate Polymers, 2003, 54(4): 527-530.
- [4] 蒋锦坤, 王际英, 张利民, 等. 壳聚糖对虹鳟幼鱼生长性能、体组成及非特异性免疫的影响[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(4): 729-734.
- [5] 任国锐. 低分子量壳聚糖对鲤鱼生长代谢和免疫的研究[D]. 太原: 山西大学, 2012.
- [6] LIN S M, MAO S H, GUAN Y, et al. Effects of dietary chitosan oligosaccharides and *Bacillus coagulans* on the growth, innate immunity and resistance of koi (*Cyprinus carpio koi*) [J]. Aquaculture, 2012, 342/343: 36-41.
- [7] GOPALAKANNAN A, ARUL V. 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 [J]. Aquaculture, 2006, 255: 179-187.
- [8] 童春, 曹振杰, 杨玲, 等. 壳聚糖对淡水白鲢生长和非特异性免疫功能的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(2): 219-225.
- [9] LUO L, CAI X, HE C, et al. Immune response, stress resistance and bacterial challenge in juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* fed diets containing chitosan-oligosaccharides [J]. Current Zoology, 2009, 55(6): 416-422.
- [10] 陈勇, 周洪琪, 冷向军, 等. 壳聚糖对异育银鲫生长和消化酶的影响[J]. 中国水产科学, 2006, 13(3): 440-445.
- [11] 华雪铭, 周洪琪, 张宇峰, 等. 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活性的影响[J]. 水生生物学报, 2005, 29(3): 299-305.
- [12] 王红权, 赵玉蓉, 余建波, 等. 壳聚糖对草鱼生长及肌肉营养成分的影响[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2008, 34(5): 576-578.
- [13] 明建华, 谢骏, 徐跑, 等. 大黄素、维生素 C 及其配伍对团头鲂抗拥挤胁迫的影响[J]. 水生生物学报, 2011, 35(3): 400-413.
- [14] 王兰, 王茜, 吉晋芳, 等. 低分子量壳聚糖对长江华溪蟹免疫功能的影响[J]. 山西大学学报: 自然科学版, 2009, 32(4): 627-633.
- [15] 史春路. 壳聚糖对黄颡鱼非特异性免疫机能和生长的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- [16] ANDERSON D P. Adjuvants and immunostimulants for enhancing vaccine potency in fish [J]. Developments in Biological Standardization, 1997, 90: 257-265.
- [17] 郑萍, 田刚, 毛湘冰, 等. 一氧化氮及其对营养物质代谢的调节[J]. 动物营养学报, 2011, 23(6): 893-900.
- [18] 陈勇, 华雪铭, 张冬青, 等. 壳聚糖和益生菌对免疫抑制性异育银鲫正向调节作用的研究[J]. 现代免疫学, 2011, 31(5): 389-394.
- [19] 华雪铭, 闫大伟, 周洪琪. 壳聚糖通过甲状腺激素对草鱼免疫功能的调节[J]. 中国水产科学, 2008, 15(4): 630-636.
- [20] 史彬林. 壳聚糖对动物免疫调节作用的研究进展[J]. 畜牧与兽医, 2007, 39(4): 57-59.
- [21] CHA S H, LEE J S, SONG C B, et al. Effects of chitosan-coated diet on improving water quality and innate immunity in the olive flounder, *Paralichthys olivaceus* [J]. Aquaculture, 2008, 278(1/4): 110-118.
- [22] 肖伟伟, 冯琳, 刘扬, 等. 壳聚糖对水生动物免疫能力的影响及其可能的调节机制[J]. 动物营养学报, 2010, 22(3): 544-550.
- [23] KIM K W, THOMAS R L. Antioxidative activity of chitosans with varying molecular weights [J]. Food Chemistry, 2007, 101(1): 308-313.
- [24] SUN T, ZHOU D X, XIE J L, et al. Preparation of chitosan oligomers and their antioxidant activity [J]. European Food Research and Technology, 2007, 225(3/4): 451-456.
- [25] PARK P J, JE J Y, KIM S K. Free radical scavenging activities of differently deacetylated chitosans using an ESR spectrometer [J]. Carbohydrate Polymers, 2004, 55(1): 17-22.
- [26] LIN S, PAN Y, LUO L, et al. Effects of dietary β -1,3-glucan, chitosan or raffinose on the growth, innate immunity and resistance of koi (*Cyprinus carpio koi*) [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2011, 31(6): 788-794.

Effects of dietary chitosan-oligosaccharide on the growth performance, nonspecific immunity and antioxidant parameters of FFRC Strain Common Carp

ZHANG Yan-wei^{1,2}, CHEN Yue-ping¹, LI Pin¹, LI Xiang-fei^{1,3}, LIU Wen-bin^{1,3}, ZHOU Yan-min¹

(1. College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China; 2. Jiangsu State Farms Group Co. Ltd., Nanjing 210008, Jiangsu, China; 3. Key Laboratory of Aquatic Nutrition of Jiangsu Province, Nanjing 210095, Jiangsu, China)

Abstract: This study was conducted to investigate the effects of chitosan-oligosaccharides on the growth performance, nonspecific immunity and antioxidant parameters of FFRC Strain Common Carp (*Cyprinus carpio*). The fish (mean initial weight : 33.90 ± 0.11 g) were randomly divided into 4 groups with 5 replicates per group and 15 fish per replicate. The fish were fed with either basal diet (control group) or basal diet supplemented 25, 50 and 100 mg/kg chitosan-oligosaccharides for 35 d, respectively. The results showed that dietary supplementation of chitosan-oligosaccharides did not significantly affect the growth performance and muscle composition of fish compared with the control group ($P > 0.05$). As expected, dietary chitosan-oligosaccharide supplementation significantly enhanced the activities of plasma alkaline phosphatase (AKP). The similar effects were also observed on the concentrations of plasma complement 3 (C3) and complement 4 (C4) as well as the content of total iron binding capacity (TIBC) in plasma ($P > 0.05$). In addition, dietary chitosan-oligosaccharide supplementation at 25 mg/kg also significantly enhanced the content of nitric oxide (NO) in spleen. The activity of myeloperoxidase (MPO) in spleen was promoted in fish fed chitosan-oligosaccharide at 50 ($P < 0.05$) and 100 mg/kg ($P < 0.01$). Dietary 50 mg/kg chitosan-oligosaccharide supplementation significantly increased superoxide dismutase (SOD) level and decreased the maleic dialdehyde (MDA) content in plasma ($P < 0.05$). Based on the results above, it was indicated that chitosan-oligosaccharides could effectively improve nonspecific immunity and antioxidant parameters of FFRC Strain Common Carp (*Cyprinus carpio*) and the optimum level of 50 mg/kg exerted the best effects on FFRC Strain Common Carp in the present study.

Key words: chitosan-oligosaccharide; FFRC Strain Common Carp; growth performance; nonspecific immunity; antioxidant parameters