

壳聚糖及其复合物对三角鲂血清生化指标及免疫功能的影响

陆清儿, 刘新轶, 李行先, 杨仲景

(杭州市农业科学研究院, 浙江 杭州 310024)

摘要:以钱塘江三角鲂 (*Megalobrama terminalis*) 为实验对象, 研究并探讨了壳聚糖及其复合物 A 和 B 对三角鲂血清生化指标及免疫功能的影响及其作用机制。实验结果表明, 与对照组相比, 壳聚糖复合物 B 使血清总蛋白含量提高 21.88% ($P < 0.05$), 复合物 A 和 B 使血清碱性磷酸酶活性分别降低 13.10% ($P < 0.05$) 和 36.21% ($P < 0.01$), 复合物 B 使血清甘油三酯降低 27.22% ($P < 0.01$), 壳聚糖及其复合物 A 和 B 使尿素氮分别降低 31.17% ($P < 0.01$)、30.09% ($P < 0.01$) 和 29.63% ($P < 0.01$), 壳聚糖复合物 B 使高密度脂蛋白降低 35.33% ($P < 0.01$), 壳聚糖及其复合物 A 和 B 使低密度脂蛋白分别提高 61.06% ($P < 0.01$)、68.14% ($P < 0.01$) 和 60.18% ($P < 0.01$); 壳聚糖复合物 A 和 B 使免疫球蛋白 IgA 分别提高 42.86% ($P < 0.05$) 和 71.43% ($P < 0.01$), 使 IgG 分别提高 14.50% ($P < 0.01$) 和 25.13% ($P < 0.01$); 壳聚糖及其复合物 A 和 B 使血清 T-SOD 活性分别提高 20.64% ($P < 0.01$)、30.56% ($P < 0.01$) 和 28.45% ($P < 0.01$), 壳聚糖复合物 B 使血清 MnSOD 活性提高 67.93% ($P < 0.01$), 壳聚糖复合物 A 使肌肉中 SOD 活性提高 22.99% ($P < 0.05$), 壳聚糖复合物 A 和 B 使肝脏中 SOD 活性分别提高 78.06% ($P < 0.01$) 和 76.61% ($P < 0.01$)。结论为, 壳聚糖及其复合物能加强机体的蛋白质合成代谢, 提高血清免疫球蛋白含量和超氧化物歧化酶活性, 从而增强三角鲂的免疫功能。[中国水产科学, 2007, 14 (7): 72–77]

关键词:壳聚糖; 三角鲂; 血清生化指标; 免疫功能

中图分类号: S963.1

文献标识码: A

文章编号: 1005–8737–(2007)07–072–06

壳聚糖 (Chitoson) 又称脱乙酰甲壳素聚氨基葡萄糖, 是甲壳素脱乙酰后的产物。甲壳素 (Chitin) 是自然界中产量仅次于纤维素的天然产物, 广泛存在于虾、蟹等甲壳动物外壳中。甲壳素与壳聚糖为天然无毒高分子, 由 1 000~3 000 个 N-乙酰葡萄糖胺单体以 β -1,4 键构成直链状高分子糖类, 具有生物可分解性, 构造类似纤维素。壳聚糖在食品、化工、环保、医疗及生物医学工程等诸多领域有着广泛的用途^[1], 壳聚糖对畜禽动物生产性能、脂肪代谢及非特异性免疫功能等方面的影响曾有报道^[2–5], 壳聚糖作为饲料添加剂可促进水产动物生长, 对于其提高虾蟹抗病、免疫功能的作用也已引起国内外学者的重视^[6–18], 但迄今未见有关壳聚糖及其复合物对三角鲂 (*Megalobrama terminalis*) 血清生化指标及免疫功能影响的研究报道。

本实验研究了壳聚糖及其复合物对三角鲂血清生化指标和免疫功能的影响, 旨在为研制符合三角鲂健康养殖技术要求的绿色饲料添加剂在其饲料生

产中应用, 以帮助进一步推广钱塘江三角鲂良种。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 实验饲料 实验饲料配方及其营养成分实测值见表 1。

表 1 实验基础饲料配方及其营养成分

Tab.1 Nutrients and compositions of experimental diet

		%	
原料 Ingredients	配比 Contents	营养成分	实测值 Nutrients
白鱼粉 White fishmeal	36.0	水分 Moi	10.02
α -淀粉 α -starch	6.0	粗蛋白 CP	38.99
豆饼 Soybean cake	20.0	粗脂肪 EE	4.17
标准粉 Wheat flour	30.0	灰分 ASH	6.52
酵母 Yeast	5.0	钙 Ca	2.66
磷酸氢钙 CaHPO_4	1.0	磷 P	1.41
多维 Vitamins	1.0	其他 Others	36.23
多矿 Minerals	1.0		
胆碱 Choline	0.2		

收稿日期: 2007–02–07; 修订日期: 2007–06–19.

基金项目: 杭州市重点科研项目 (2003122B16).

作者简介: (1962–), 女, 硕士, 教授级高级工程师, 从事水产饲料和营养及水产品安全检测工作. Tel: 0571–87648801. E-mail: luqing@mail.hz.zj.cn

三角鲂基础饲料配方粗蛋白水平为 38.99%, 设一个对照组(基础饲料), 3 个实验组(分别在基础饲料中添加壳聚糖 50 mg/kg、壳聚糖复合剂 A 0.1%、壳聚糖复合剂 B 0.1%)。

1.1.2 实验鱼 实验鱼为本所自繁自育的三角鲂鱼种, 平均初体质量 (116.99 ± 15.57) g。

1.2 实验方法

1.2.1 养殖实验 实验于 2003 年 10 月 4 日~2003 年 12 月 3 日在室内循环流水过滤水族箱 ($100\text{ cm} \times 60\text{ cm} \times 50\text{ cm}$) 中进行, 每组设 3 个重复(即 3 个箱), 每箱放养三角鲂鱼种 10 尾, 计 120 尾。饲养管理方法如下:

水源为用硫代硫酸钠曝气除氯后的自来水, 在控温、循环滤水、充氧条件下养殖, 实验期间平均水温 $(25.1 \pm 1.0)^\circ\text{C}$ 、溶解氧 $5.7 \sim 7.8\text{ mg/L}$ 、pH 7.2 ± 0.1 、COD $9.42 \sim 13.52\text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ $0.021 \sim 0.323\text{ mg/L}$ 。养殖期间, 每周用 NaHCO_3 和 NaCl 合剂进行 1 次水体消毒, 每天早、晚 2 次吸污、换水, 换水量每次每箱 1/3。

适应性驯养为期两周, 放养前, 实验鱼和水体用 NaHCO_3 和 NaCl 合剂消毒。实验期间, 各组按鱼体质量的 3% 确定日投饲量(视水质、摄食情况而定, 尽量以吃完为度), 每天上午 9:00, 下午 4:00 分 2 次投喂, 投饲后 1 h 吸除剩饵, 烘干后称重, 每 10 天调整 1 次投饲量, 每天记录投饲量、剩饵量, 观察水质, 鱼活动状况。实验期为 60 天。

1.2.2 取样分析 饲养试验结束后, 停饲 24 h, 称

重, 测体长, 每组随机取 6 尾鱼采血取血清测血清指标, 计算摄食量、增重量和饲料系数。

血清生化指标分析 采用宁波市慈城生化试剂厂生产的试剂盒在 Analy Tech-738 半自动生化分析仪上测定。

活性指标分析 采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒按说明进行前处理后在 VARIAN CARY50 紫外可见分光光度仪上测定。

1.3 数据处理

数据统计与分析采用 SPSS 统计软件。结果以平均值 $\pm$ 标准差 ($\bar{X} \pm \text{SD}$) 表示。当 $P < 0.05$ 时认为差异显著。

2 结果与分析

2.1 血清指标

表 2 数据表明, 壳聚糖复合物 B 组的血清总蛋白较对照提高 21.88% ($P < 0.05$); 壳聚糖复合物 A 组和 B 组的碱性磷酸酶分别较对照降低 13.10% ($P < 0.05$) 和 36.21% ($P < 0.01$); 壳聚糖复合物 B 组的甘油三酯较对照组降低 27.22% ($P < 0.01$); 50 mg/kg 壳聚糖组、壳聚糖复合物 A 组和 B 组的尿素氮分别较对照组降低 31.17% ($P < 0.01$)、30.09% ($P < 0.01$) 和 29.63% ($P < 0.01$); 壳聚糖复合物 B 组的高密度脂蛋白较对照组降低 35.33% ($P < 0.01$); 50 mg/kg 壳聚糖组、壳聚糖复合物 A 组和 B 组的低密度脂蛋白分别较对照组提高 61.06% ($P < 0.01$)、68.14% ($P < 0.01$) 和 60.18% ($P < 0.01$)。

表 2 壳聚糖对三角鲂血清生化指标的影响

Tab.2 Effects of chitosan on serum biochemical indices of *Megalobrama terminalis* Richardson

指标 Parameter	对照组 Control	50 mg/kg 壳聚糖组 50 mg/kg chitosan	壳聚糖复合物 A 组 Chitosan complex A	壳聚糖复合物 B 组 Chitosan complex B
血清总蛋白 TP/(g·L ⁻¹)	28.33 ± 4.29	26.73 ± 5.05	25.00 ± 1.65	34.53 ± 3.93*
碱性磷酸酶 ALB/(g·L ⁻¹)	10.50 ± 1.10	11.28 ± 1.27	12.13 ± 1.66	12.35 ± 1.86
GPT/(IU·L ⁻¹)	8.25 ± 0.96	8.00 ± 1.15	9.00 ± 0.82	8.50 ± 1.00
GOT/(IU·L ⁻¹)	13.00 ± 1.41	13.25 ± 1.71	12.75 ± 0.96	13.00 ± 0.82
ALP/(IU·L ⁻¹)	116.0 ± 8.3	121.5 ± 15.2	100.8 ± 9.6*	74.0 ± 3.5**
CH/(mmol·L ⁻¹)	7.60 ± 0.32	7.60 ± 0.51	8.76 ± 0.58	8.95 ± 0.84
甘油三酯 TG/(mmol·L ⁻¹)	4.85 ± 0.48	4.80 ± 0.67	5.13 ± 0.43	3.53 ± 0.65**
尿素氮 BUN/(mmol·L ⁻¹)	6.48 ± 0.21	4.46 ± 0.1**	4.53 ± 0.27**	4.560.17**
高密度脂蛋白 HDL/(mmol·L ⁻¹)	8.35 ± 1.62	7.72 ± 1.10	6.93 ± 1.68	5.40 ± 1.32**
低密度脂蛋白 LDL/(mmol·L ⁻¹)	2.26 ± 0.15	3.64 ± 0.42**	3.80 ± 0.27**	3.62 ± 0.21**

注: 表中同行数据中标有 * 者表示与对照差异显著 ($P < 0.05$), ** 者表示与对照差异极显著 ($P < 0.01$)。

Note: * in the same row shows significant difference compared with control ($P < 0.05$), ** shows very significant difference compared with control ($P < 0.01$).

2.2 血清免疫指标

表 3 中,壳聚糖复合物 A 组和 B 组的免疫球蛋白 IgA 分别较对照组提高 42.86% ($P < 0.05$) 和

71.43% ($P < 0.01$),壳聚糖复合物 A 组和 B 组的

IgG 分别较对照组提高 14.50% ($P < 0.01$) 和 25.13% ($P < 0.01$)。

表 3 壳聚糖对三角鲂血清免疫指标的影响

Tab.3 Effects of chitosan on serum immune indices of *Megalobrama terminalis* Richardson

指标 Parameter	对照组 Control	50 mg/kg 壳聚糖组 50 mg/kg chitosan	壳聚糖复合物 A 组 Chitosan complex A	壳聚糖复合物 B 组 Chitosan complex B
IgA/(mmol·L ⁻¹)	0.28±0.05	0.33±0.05	0.40±0.12*	0.48±0.05**
IgG/(mmol·L ⁻¹)	13.65±0.74	14.05±0.17	15.63±1.62**	17.08±0.49**
IgM/(mmol·L ⁻¹)	0.95±0.06	0.98±0.05	1.03±0.05	1.05±0.06

注:表中同行数据中*表示与对照差异显著($P < 0.05$),**表示与对照差异极显著($P < 0.01$)。

Note: * in the same row shows significant difference compared with control ($P < 0.05$), ** shows very significant difference compared with control ($P < 0.01$).

2.3 抗氧化活性指标

2.3.1 超氧化物歧化酶(SOD) 由表 4 可见,血清 T-SOD 活性,50 mg/kg 壳聚糖组、壳聚糖复合物 A 组和 B 组分别较对照组提高 20.64% ($P < 0.01$)、30.56% ($P < 0.01$) 和 28.45% ($P < 0.01$);血清

MnSOD 活性,壳聚糖复合物 B 组较对照组提高 67.93% ($P < 0.01$);肌肉中 SOD 活性,壳聚糖复合物 A 组较对照组提高 22.99% ($P < 0.05$);肝脏中 SOD 活性,壳聚糖复合物 A 组和 B 组分别较对照组提高 78.06% ($P < 0.01$) 和 76.61% ($P < 0.01$)。

表 4 壳聚糖对血清、组织中超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

Tab.4 Effects of chitosan on SOD activities in serum and tissues of *Megalobrama terminalis* Richardson

组别 Group	血清中 T-SOD 活性/(U·mL ⁻¹)	血清中 MnSOD 活性/(U·mL ⁻¹)	肌肉中 SOD 活性/(U·mg ⁻¹ prot)	肝脏中 SOD 活性/(U·mg ⁻¹ prot)
对照组 Control	95.54±10.17	71.69±6.20	13.66±1.69	30.36±3.74
50 mg/kg 壳聚糖组 50 mg/kg chitosan	115.26±4.09**	70.11±9.49	14.77±3.10	43.16±5.35
壳聚糖复合物 A 组 Chitosan complex A	124.74±8.31**	71.65±9.68	16.80±2.69*	54.06±5.12**
壳聚糖复合物 B 组 Chitosan complex B	122.72±9.99**	120.39±8.33**	14.68±1.80	53.62±3.45**

注:表中同列数据中*表示与对照差异显著($P < 0.05$),**表示与对照差异极显著($P < 0.01$)。

Note: * in the same line shows significant difference compared with control ($P < 0.05$), ** shows significant difference compared with control ($P < 0.01$).

2.3.2 丙二醛(MDA)含量

表 5 数据表明,血清、肌肉和肝脏中 MDA 含量,各试验组与对照组间无

显著差异($P > 0.05$)。

表 5 壳聚糖对血清、肌肉和肝脏中丙二醛(MDA)含量的影响

Tab.5 Effects of chitosan on MDA contents in serum, muscle and liver of *Megalobrama terminalis* Richardson

组别 Group	血清中 MDA 含量 /(nmol·mL ⁻¹) Serum MDA	肌肉中 MDA 含量 /(nmol·mg ⁻¹ prot) MDA in muscle	肝脏中 MDA 含量 /(nmol·mg ⁻¹ prot) MDA in liver
对照组 Control	14.14±1.50	2.73±0.54	1.26±0.38
50 mg/kg 壳聚糖组 50 mg/kg chitosan	14.92±2.79	2.92±0.64	1.07±0.29
壳聚糖复合物 A 组 Chitosan complex A	16.21±0.94	2.30±0.85	1.24±0.37
壳聚糖复合物 B 组 Chitosan complex B	14.44±2.81	2.43±0.32	1.10±0.41

3 讨论

3.1 壳聚糖对三角鲂血脂和蛋白质代谢产物的影响

血清中胆固醇、甘油三酯是反映机体脂类代谢功能的两个重要指标。大量研究表明,壳聚糖能有效降低动物体内胆固醇和甘油三酯的含量,促进这些物质在体内的排出。吴加罗等^[4]发现实验大鼠摄入一定剂量的壳聚糖能有效抑制血清胆固醇升高,并使高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)升高。林友文等^[5]研究壳聚糖、羧甲基壳聚糖对患高血脂症的新西兰白兔具有降血脂及体内抗氧化作用,两者均可降低血清甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)水平,明显升高HDL-C水平。聂新志等^[19]发现肉鸡饲料中添加壳聚糖能显著降低血清中胆固醇含量。Razdan等^[3]报道,肉仔鸡日粮中添加壳聚糖,饲喂10天和18天后发现,TC、HDL-C含量下降,但TG含量无明显变化;Tang等^[20]报道,饲料中添加壳聚糖能提高断奶仔猪生产性能,降低血清尿氮(BUN)、TC、TG水平,提高血清总蛋白质含量;商常发等^[21]发现添加壳聚糖壳聚糖能降低泌乳奶牛血清胆固醇含量,但不影响奶牛血清总蛋白的含量。本实验中添加壳聚糖及其复合物对三角鲂血清胆固醇含量无显著影响,添加壳聚糖复合物B使血清中甘油三酯和高密度脂蛋白含量极显著下降,添加壳聚糖及其复合物使低密度脂蛋白含量极显著提高,与以前的研究结果类似。

血清中总蛋白、白蛋白、尿素氮浓度能准确反映机体蛋白质代谢、肝功能和肾功能是否正常。本实验添加壳聚糖复合物B使血清总蛋白显著提高,添加壳聚糖及其复合物使尿素氮极显著下降,说明壳聚糖及其复合物可加强三角鲂机体的蛋白质合成代谢。

3.2 壳聚糖对三角鲂免疫功能的影响

多糖类物质可明显提高中国对虾(*Penaeus chinensis*)血细胞、吞噬细胞的吞噬能力,提高血清SOD活性和酚氧化酶活性,对溶菌酶的活性也有提高作用^[22]。蒋煊等^[23]的体外抗氧化实验显示,壳聚糖对超氧阴离子有很好的抑制效果;Aderson等^[24-25]及Siwicki等^[26]的研究表明,注射、浸泡或口服壳聚糖后能增强其对杀鲑气单胞菌的抗感染能力;王树芹等^[13]报道添加壳聚糖可使异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)的溶菌酶活性和白细胞

吞噬作用显著提高;陈云波等^[14]发现添加壳聚糖极显著地提高异育银鲫的增重,同时使鱼对嗜水气单胞菌的抵抗能力显著提高;Sahoo等^[8]给鲢鱼(*Labeorohita*)注射壳聚糖7d后鲢鱼的非特异性免疫水平有显著提高;庄承纪等^[6]通过调节水体的壳聚糖浓度,可增强罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)、斑节对虾(*Panaeus monodon*)虾苗的抗病能力;常青等^[17]研究表明,添加壳聚糖能有效提高花鲈(*Lateolabrax japonicus*)的补体活性、溶菌酶活性和吞噬活性;聂新志等^[19]在肉鸡饲料中添加壳聚糖能显著提高血清中IgG和IgA含量、显著降低血清中胆固醇含量。本实验在三角鲂中也得到了类似的结果,添加壳聚糖及其复合物A和B使血清中免疫球蛋白IgA和IgG极显著提高。魏涛等^[27]发现壳聚糖具有增强小鼠巨噬细胞吞噬功能、细胞免疫功能、体液免疫功能及NK细胞活性的作用。壳聚糖分子由于具有大量氨基而带正电荷,而巨噬细胞和T淋巴细胞表面带有负电荷,推测是正负电荷间的相互作用激活了这些免疫细胞。当壳聚糖活化巨噬细胞和T细胞后,就会刺激B细胞产生免疫球蛋白,从而增强机体的细胞免疫应答和体液免疫应答。NK细胞的活性对pH值的变化非常敏感。当pH下降时,NK细胞活性下降,而壳聚糖能提高机体pH,因而能使NK细胞活性增强^[27]。

3.3 壳聚糖对超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

超氧化物歧化酶(SOD)的主要功能是去除动物体液或组织中的超氧基,从而减少或去除超氧基氧化破坏动物细胞膜或细胞内还原性活性成分的作用,并提高动物机体的免疫功能。丙二醛(MDA)是脂质过氧化作用的最终分解产物,其含量可间接反映机体的活性氧自由基和脂质的过氧化水平,从而间接反映出细胞受损伤的程度。因此,检测血清SOD和MDA可间接反映机体内氧自由基的水平^[28]。沈锦玉等^[7]通过体腔注射和口服壳聚糖,可显著提高中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)血清中溶菌酶、SOD酶活力;刘兴国等^[16]在尼罗罗非鱼(*Tilapia nilotica*)饲料中添加壳聚糖能显著提高罗非鱼肝组织抗超氧阴离子自由基和SOD浓度。本实验测定了三角鲂血清、肝脏和肌肉中的SOD酶活力及MDA含量,发现添加壳聚糖及其复合物使血清T-SOD活性极显著提高,壳聚糖复合物B使血清MnSOD活性极显著提高,壳聚糖复合物A使肌肉中SOD活性显著提高,壳聚糖复合物A和B使

肝脏中 SOD 活性极显著提高,而血清、肝脏及肌肉中的 MDA 含量无显著差异。超氧化物歧化酶的活性与动物的生长性能呈明显正相关,作者的另一项实验结果证实了这一点¹⁾。作者认为,超氧化物歧化酶活性的升高使动物免疫机能提高,从一方面解释了动物生长性能的提高,同时,血清蛋白代谢产物的改变、免疫球蛋白提高从另一方面证实了壳聚糖促进生长和增强免疫活性作用。

参考文献:

- [1] 蒋挺大. 甲壳素 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 301.
- [2] Lauridsen C, Hojsgaard S, Sorensen M T. Influence of dietary rapeseed oil, vitamin E, and copper on the performance and the antioxidative and oxidative status of pigs [J]. *Anim Sci*, 1999, 77 (4): 906–916.
- [3] Razdan A, Pettersson D. Effect of chitin and chitosan on nutrient digestibility and plasma lipid concentrations in broiler chickens [J]. *Br J Nutr*, 1994, 72 (2): 277–288.
- [4] 吴加罗, 来伟旗, 王茜, 等. 壳聚糖对大鼠血脂水平的影响 [J]. *营养学报*, 1994, 16 (2): 197–199.
- [5] 林友文, 林青, 郑景峰, 等. 壳聚糖、羧甲基壳聚糖的降脂及抗氧化作用 [J]. *中国海洋药物*, 2003 22 (3): 16–19.
- [6] 庄承纪, 刘劲科, 杨清友, 等. 壳聚糖对罗氏沼虾、斑节对虾苗生长和抗菌防病作用研究 [J]. *湛江海洋大学学报*, 1998, 18 (3): 29–34.
- [7] 沈锦玉, 刘问, 曹铮, 等. 免疫增强剂对中华绒螯蟹免疫功能的影响 [J]. *浙江农业学报*, 2004, 16 (1): 25–29.
- [8] Sahoo P K, Mukhejee S C. Influence of the immunostimulant, chitosan on immune responses of healthy and cortisol-treated rohu (*Labeorohita*) [J]. *J Aquacult Trop*, 1999, 14 (3): 209–215.
- [9] Kolman H, Siwicki A K, Kolman R. The effect of natural immunomodulators applied is immersion on non-specific immune responses in Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstadeti* Brandt) [J]. *Arch-Ryb-Pol: Arch-Pol-Fish*, 1998, 6 (2): 391–410.
- [10] Kono M, Matsui T, Shimizu C. Effect of chitin, chitosan and cellulose as diet supplements on the growth of cultured fish [J]. *Bull Jpn Soc Sci Fish*, 1987, 53 (1): 125–129.
- [11] 余东祥, 柳学周, 雷霖霖. 甲壳胺制剂对真鲷幼鱼的促生长作用研究 [J]. *海洋水产研究*, 2000, 21 (3): 62–66.
- [12] 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.
- [13] 王树琴, 周洪琪. 壳聚糖对异育银鲫溶菌酶和白细胞吞噬活性的影响 [J]. *上海水产大学学报*, 2004, 13 (2): 121–125.
- [14] 陈云波, 华雪铭, 周洪琪, 等. 壳聚糖对异育银鲫生长及抗菌能力的影响 [J]. *上海水产大学学报*, 2006, 15 (2): 243–246.
- [15] Shiau S, Yu Y. Dietary supplementation of chitin and chitosan depresses growth in tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. *Aquaculture*, 1999, 179: 439–446.
- [16] 刘兴国, 宋理平, 周洪琪. 低分子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 [J]. *海洋渔业*, 2004, 26 (4): 291–294.
- [17] 常青, 梁萌青, 王家林, 等. 壳聚糖对花鲈生长和非特异性免疫力的影响 [J]. *海洋水产研究*, 2006, 27 (5): 17–22.
- [18] 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鲈幼鱼生长及部分消化酶活性的影响 [J]. *水生生物学报*, 2006, 29 (3): 299–305.
- [19] 聂新志, 印遇龙, 贺建华. 壳聚糖对肉鸡免疫机能和血清胆固醇含量的影响 [J]. *饲料博览*, 2004, (10): 1–4.
- [20] Tang Zhi-ru, Yin Yu-long, Nyachoti C M. Effect of dietary supplementation of chitosan and galacto-mannan-oligosaccharide on serum parameters and the insulin-like growth factor-1 mRNA expression in early-weaned piglets [J]. *Domest Anim Endocrinol*, 2005, 28: 430–441.
- [21] 商常发, 陈会良, 刘世清, 等. 壳聚糖对奶牛血清胆固醇和蛋白质的影响 [J]. *中国草食动物*, 2006, 26 (5): 20–22.
- [22] 江晓路, 刘树青, 张朝晖, 等. 多糖对中国对虾免疫功能的影响 [J]. *中国水产科学*, 1999, 6 (1): 66–68.
- [23] 蒋煊, 薛培华, 陈士明, 等. 壳聚糖对超氧阴离子自由基和亚油酸脂类自由基的抑制作用 [J]. *科学通报*, 2002, 47 (3): 182–184.
- [24] Anderson D P, Siwicki A K. Duration of protection against *Aeromonas salmonicida* in brook trout immunostimulated with glucan or chitosan by injection or immersion [J]. *Progr Fish Cult*, 1994, 56: 258–261.
- [25] Anderson D P, Siwicki A K, Rumsey G L. Injection or immersion delivery of selected immunostimulants to trout demonstrate enhancement of nonspecific defense mechanisms and protective immunity [C] // *Diseases in Asian Aquaculture Vol. II*. Fish Health Section. Manila: Asia Fisheries Society, 1995: 413–426.
- [26] Siwicki A K, Anderson D P, Rumsey G L. Dietary intake of immunostimulants by rainbow trout affects non-specific immunity and protection against furunculosis [J]. *Vet Immunopathol*, 1994, 41: 125–139.
- [27] 魏涛, 唐粉芳, 高兆兰, 等. 壳聚糖降血脂、降血糖及增强免疫作用的研究 [J]. *食品科学*, 2000, 21 (4): 48–52.
- [28] 丁克祥. SOD 应用研究集 [M]. 北京: 原子能出版社, 1991: 65–79.

1) 陆清儿, 刘新铁, 王宇希等. 壳聚糖及其复合物对三角鲂生长及机体营养成分的影响. 另文发表.

Effects of chitosan and its compounds on serum biochemical indices and immune function of *Megalobrama terminalis* Richardson

LU Qing-er, LIU Xin-yi, LI Xing-xian, YANG Zhong-jing

(Hangzhou Academy of Agriculture Science Research, Zhejiang Hangzhou, 310024, China)

Abstract: This research was conducted to evaluate the effects of chitosan and its compounds on serum indices and immune function of *Megalobrama terminalis* Richardson. The results indicated that compared with the control group, chitosan compound B increased the total protein by 21.88% ($P < 0.05$). Chitosan compound A and B decreased ALP by 13.10% ($P < 0.05$) and 36.21% ($P < 0.01$). Chitosan compound B decreased TG by 27.22% ($P < 0.01$). Chitosan and its compounds A and B decreased the urine nitrogen (UN) concentration by 31.17% ($P < 0.01$), 30.09% ($P < 0.01$) and 29.63% ($P < 0.01$). Chitosan compound B decreased HDL by 35.33% ($P < 0.01$). Chitosan and its compounds A and B increased LDL by 61.06% ($P < 0.01$), 68.14% ($P < 0.01$) and 60.18% ($P < 0.01$). Chitosan compounds A and B increased IgA by 42.86% ($P < 0.05$) and 71.43% ($P < 0.01$), increased IgG by 14.50% ($P < 0.01$) and 25.13% ($P < 0.01$). Chitosan and its compounds A and B increased serum T-SOD activity by 20.64% ($P < 0.01$), 30.56% ($P < 0.01$) and 28.45% ($P < 0.01$). Chitosan compound B increased serum MnSOD activity by 67.93% ($P < 0.01$), Chitosan compound A increased muscle SOD activity by 22.99% ($P < 0.05$). Chitosan compound A increased liver SOD activity by 78.06% ($P < 0.01$) and 76.61% ($P < 0.01$). The results of this research indicated that chitosan and its compounds A and B can enhance protein anabolism, increase immunoglobulin and SOD activity, then improve immunity function of *M. terminalis* Richardson. [Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14 (7): 72–77]

Key words: chitosan; *Megalobrama terminalis* Richardson; serum biochemical index; immunity function