

3 种免疫增强剂对黄颡鱼非特异性免疫机能的影响

姚嘉贇, 徐洋, 盛鹏程, 尹文林, 蔺凌云, 袁雪梅, 潘晓艺, 郝贵杰, 沈锦玉* (浙江省淡水水产研究所, 浙江湖州 313001)

摘要 [目的] 研究酵母细胞壁、黄芪多糖、芪参散这 3 种免疫增强剂对黄颡鱼非特异性免疫功能的影响, 为在水产养殖中的推广和应用提供参考。[方法] 制备含有不同剂量酵母细胞壁、黄芪多糖、芪参散药饵连续投喂 42 天, 并在试验的 0、7、14、28 天检测黄颡鱼血清的非特异性免疫指标, 分析其对黄颡鱼免疫功能的影响。[结果] 酵母细胞壁、黄芪多糖、芪参散这 3 种免疫增强剂对黄颡鱼血清补体 C3、SOD、溶菌酶、血清白蛋白均有不同程度提高。免疫攻毒试验表明 3 种免疫增强剂均有一定的免疫保护作用, 其大小次序为: 酵母细胞壁组 > 黄芪多糖组 > 芪参散组, 其中 2 和 4 g/kg 的黄芪多糖和酵母细胞壁组保护率最高, 为 50%。[结论] 饲料中添加酵母细胞壁、黄芪多糖和芪参散均对黄颡鱼的非特异性免疫功能具有一定的促进作用。

关键词 免疫增强剂; 黄颡鱼; 非特异性免疫

中图分类号 S941 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)10-02921-03

Effect of Three Kinds of Immunostimulants on the Non-specific Immunity Functions of *Pelteobagrus fulvidraco*

YAO Jia-yun, SHEN Jin-yu et al (Institute of Freshwater Fisheries of Zhejiang, Huzhou, Zhejiang 313001)

Abstract [Objective] The present research aimed to provide reference for the popularization and application of the three kinds of Immunostimulants in the aquatic feeds. [Method] Different dose of *Astragalus polysaccharide*, yeast cell wall and Ginseng powder were added in the feed of *Pelteobagrus fulvidraco* to analyze their effects on the non-specific immunity function of *P. fulvidraco*. [Result] Compared with control group, *Astragalus polysaccharide*, yeast cell wall and Ginseng powder could increase lysozyme activity in serum, serum albumin, SOD activity in serum and complement C3 content in serum. The three kinds of Immunostimulants could provide a good protection against the infection of *Edwardsiella cictaluri*. The immunity protection rate against *E. cictaluri* was 50% when *P. fulvidraco* was fed with 2 g/kg *Astragalus polysaccharide* or 4 g/kg yeast cell wall. [Conclusion] Adding *Astragalus polysaccharide*, yeast cell wall and Ginseng powder in the feed had certain promotion on the non-specific immunity function of *P. fulvidraco*.

Key words Immunostimulants; *Pelteobagrus fulvidraco*; Non-specific immunity

黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)又称黄腊丁、黄嘎等,是我国常见的一种重要的小型经济鱼类,因其肉质鲜嫩、少细刺,深受消费者喜爱。近年来,随着市场需求的增大,黄颡鱼的养殖规模和养殖密度均不断提高,造成了其病害的不断增加,这也造成了抗生素被大量应用于养殖中,导致了抗药性及药物残留等一系列问题。因此,寻找既能有效控制鱼病发生又能减少药物残留的方法非常必要和紧迫。免疫增强剂是减少或替代抗生素的一种有效手段,主要通过非特异性免疫应答来增强鱼类的免疫抗病力。20 世纪 80 年代以来,国外学者发现多种天然和人工合成的物质可以促进水产动物非特异性免疫应答,从而增强其抗病力。

黄芪多糖是从黄芪根部分离出的多糖组分,由葡萄糖、半乳糖和阿拉伯糖等组成,具有广泛的免疫增强和抗病毒作用,并且具有价格低廉、来源丰富、毒性低、无耐药性和药物残留等优点。研究表明黄芪多糖对机体特异性免疫与非特异性免疫具有广泛的影响。酵母细胞壁主要由 D-葡聚糖和 D-甘露聚糖两类多糖组成,具有抗肿瘤^[1]、抗病毒^[2]、抗细菌感染^[3]等功能,研究表明酵母多糖对受免疫的斑点叉尾鲷^[4]、异育银鲫^[5]具有免疫增强作用,是有潜力的鱼用免疫增强剂。笔者通过在黄颡鱼饲料中分别添加不同剂量的酵母细胞壁、黄芪多糖、芪参散这 3 种免疫增强剂,分析其对黄颡鱼非特异性免疫功能的影响,旨在为其在水产饲料中的推

广应用提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 材料 黄颡鱼,采自湖州菱湖某养殖场,饲养于循环养殖系统;鲈鱼爱德华氏菌(*Edwardsiella cictaluri*),菌株号为 AW10726R,从患裂头病的黄颡鱼上分离,其对黄颡鱼的半数致死浓度 LD_{50} 为 1.58×10^3 CFU;芪参散,由成都通威三新药业有限公司提供;酵母细胞壁,由成都通威三新药业有限公司提供;黄芪,购自湖州中药店;黄颡鱼基础饲料由通威股份有限公司提供;SOD、溶菌酶、补体 C3、血清白蛋白测定试剂盒,均购自南京建成生物公司。

1.2 方法

1.2.1 黄芪多糖的制备。采用水提醇沉法制备黄芪多糖。将黄芪置于烧瓶中,加入 20 倍体积的水,在 95 ℃ 水浴锅中浸提 6 h,每 2 h 取出过滤 1 次,合并滤液,再用旋转蒸发仪按照 1:1 比例浓缩滤液。向滤液中加入 1/4 倍的 Sevage 液,以 4 000 r/min 的速度反复离心 6 次,每次 15 min,以除去蛋白质;取上清,在上清中加入无水乙醇,静置 24 h 后离心,收集沉淀,冷冻干燥后置于 4 ℃ 冰箱中保存。多糖含量为 69.7%,多糖得率为 19.34%。

1.2.2 药饵的制备。基础饲料经粉碎后分别添加黄芪多糖 1、2 和 4 g/kg、芪参散 1、2 和 4 g/kg、酵母细胞壁 2、4 和 6 g/kg,并制粒干燥。

1.2.3 试验过程与饲养管理。黄颡鱼经人工饲料驯化后从中挑选规格整齐、体质健壮 200 尾[体重 (8 ± 4.19) g],随机分成 4 组,包括 1 个对照组和 3 个试验组,每个浓度组黄颡鱼 10 尾,并设 2 个平行。试验组投喂不同浓度的免疫增强剂,对照组投喂基础饲料。投喂量按照鱼体重的 3% 进行,每

基金项目 湖州市公益性技术应用研究(重点)项目(2013GZ07);湖州市自然科学基金项目(2012YZ03);通威公司资助项目。

作者简介 姚嘉贇(1980-),男,浙江台州人,助理研究员,硕士,从事水产动物疾病防治。*通讯作者,研究员,硕士生导师,从事水产动物病害防治研究。

收稿日期 2014-02-25

天上午 9:00 进行 1 次投喂,共投喂饲养 28 d。试验期间,水温保持在 $(24 \pm 1) ^\circ\text{C}$,每 3 d 进行清除污物,并换掉箱中 1/3 的水,以保证水体环境。

1.2.4 样品的收集。在试验过程中的 0、7、14 和 28 d 分别对各组鱼随机取样($n=5$)。分别从尾动脉中抽血,4 $^\circ\text{C}$ 放置过夜,3 000 r/min 冷冻离心 10 min,取血清进行各项指标测定。

1.2.5 免疫指标的测定。血清补体 C3、血清白蛋白、溶菌酶活力、SOD 活力的测定均使用试剂盒相应操作参照说明书进行。其中,SOD 活力采用黄嘌呤氧化酶法测定,活力单位定义为每毫升反应液中 SOD 抑制率达 50% 时所对应的 SOD 量为 1 个 SOD 活力单位(U)。

1.2.6 免疫增强剂免疫保护力的测定。黄颡鱼按照“1.2.3”中方法投喂饲养 28 d 后进行攻毒试验,每尾鱼经胸鳍基部注射 0.2 ml,1.5 $\times 10^5$ cfu/ml 的鲑鱼爱德华氏菌菌液,对照组注射相同剂量的生理盐水,每组注射 10 尾投喂免疫增强剂的黄颡鱼。注射菌苗后饲养于循环养殖系统中,连续观察 7 d,统计死亡率,按照以下公式计算免疫保护率:免疫保护率(%)=[1-(受免鱼死亡尾数/对照鱼死亡尾数)] $\times 100$ 。

1.2.7 数据处理。结果以平均值 $\pm$ 士标准误($\bar{x} \pm S.E$)表示,采用 t 检验进行处理间显著性分析。所有统计采用 SPSS16.0 统计软件。

2 结果与分析

2.1 3 种免疫增强剂对黄颡鱼血清白蛋白的影响 由表 1 可知,各试验组黄颡的血清白蛋白的含量均随着投喂时间的延长呈先增加后降低的趋势,其中参芪组在 7 d 达到高峰,且 2 g/kg、4 g/kg 参芪浓度组与对照组差异极显著($P<0.01$);2 g/kg、4 g/kg 黄芪多糖组与对照组差异显著($P<0.05$),并在 14 d 达到高峰;2 g/kg 和 4 g/kg 酵母细胞壁组与对照组差异显著($P<0.05$),6 g/kg 浓度组与对照组差异极显著($P<0.01$),且在 7 d 达到高峰。

表 1 3 种免疫增强剂对黄颡鱼血清白蛋白含量的影响 g/L				
组别	0 d	7 d	14 d	28 d
1 g/kg 参芪组	0.333 $\pm$ 0.021	0.372 $\pm$ 0.022	0.368 $\pm$ 0.032	0.371 $\pm$ 0.018
2 g/kg 参芪组	0.332 $\pm$ 0.007	0.404 $\pm$ 0.014**	0.369 $\pm$ 0.018*	0.360 $\pm$ 0.023*
4 g/kg 参芪组	0.338 $\pm$ 0.009	0.491 $\pm$ 0.019**	0.470 $\pm$ 0.031*	0.430 $\pm$ 0.045*
1 g/kg 黄芪组	0.313 $\pm$ 0.008	0.392 $\pm$ 0.022*	0.400 $\pm$ 0.021**	0.339 $\pm$ 0.021
2 g/kg 黄芪组	0.324 $\pm$ 0.011	0.404 $\pm$ 0.014**	0.399 $\pm$ 0.006**	0.361 $\pm$ 0.044
4 g/kg 黄芪组	0.332 $\pm$ 0.012	0.451 $\pm$ 0.019**	0.460 $\pm$ 0.042**	0.410 $\pm$ 0.028
2 g/kg 酵母组	0.322 $\pm$ 0.038	0.405 $\pm$ 0.032*	0.398 $\pm$ 0.027*	0.382 $\pm$ 0.011*
4 g/kg 酵母组	0.324 $\pm$ 0.018	0.437 $\pm$ 0.022*	0.389 $\pm$ 0.038*	0.376 $\pm$ 0.037*
6 g/kg 酵母组	0.317 $\pm$ 0.013	0.466 $\pm$ 0.044**	0.455 $\pm$ 0.011*	0.450 $\pm$ 0.044*
对照组	0.332 $\pm$ 0.011	0.341 $\pm$ 0.007	0.352 $\pm$ 0.013	0.348 $\pm$ 0.029

注: * 表示与对照组差异显著($P<0.05$), ** 表示与对照组差异极显著($P<0.01$)。

2.2 3 种免疫增强剂对黄颡鱼血清补体 C3 的影响 由表 2 可知,各试验组的血清补体 C3 的含量均随着投喂时间的延长呈先增加后降低的趋势,并在 7 d 达到峰值。其中,参芪各浓度组的血清补体 C3 含量与对照组差异不显著($P>0.05$),只有 4 g/kg 浓度组与对照组差异显著($P<0.05$);1 g/kg 黄芪多糖组与对照组差异显著($P<0.05$),2 g/kg 和 4 g/kg 黄芪多糖组与对照组差异极显著($P<0.01$);7 d,酵母细胞壁组各组血清补体 C3 含量较对照组有所升高,2 g/kg 和 4 g/kg 黄芪多糖组与对照组差异极显著($P<0.01$),6 g/kg 黄芪多糖组与对照组差异显著($P<0.05$)。14 d,2 g/kg、4 g/kg 和 6 g/kg 黄芪多糖组血清补体 C3 含量下降,组内无显著差异($P>0.05$),但与对照组差异极显著($P<0.01$)。

表 2 3 种免疫增强剂对黄颡鱼血清补体 C3 含量的影响 mg/L				
组别	0 d	7 d	14 d	28 d
1 g/kg 参芪组	38.65 $\pm$ 2.42	42.382 $\pm$ 1.96	41.43 $\pm$ 2.43	39.51 $\pm$ 2.02
2 g/kg 参芪组	38.01 $\pm$ 1.54	43.25 $\pm$ 2.15	42.86 $\pm$ 2.22	42.44 $\pm$ 1.13
4 g/kg 参芪组	39.16 $\pm$ 1.35	49.98 $\pm$ 1.22*	42.51 $\pm$ 1.44	40.17 $\pm$ 1.65
1 g/kg 黄芪组	38.65 $\pm$ 2.42	59.32 $\pm$ 1.30*	54.12 $\pm$ 3.56*	42.43 $\pm$ 2.27
2 g/kg 黄芪组	38.01 $\pm$ 1.54	73.25 $\pm$ 1.35**	64.27 $\pm$ 3.24	40.38 $\pm$ 3.05
4 g/kg 黄芪组	39.16 $\pm$ 1.35	78.65 $\pm$ 2.86**	72.11 $\pm$ 2.87	43.87 $\pm$ 4.87
2 g/kg 酵母组	37.54 $\pm$ 1.29	74.32 $\pm$ 2.48**	72.35 $\pm$ 2.01**	43.11 $\pm$ 2.38
4 g/kg 酵母组	38.14 $\pm$ 0.99	79.63 $\pm$ 1.00**	75.87 $\pm$ 2.23**	42.32 $\pm$ 3.29
6 g/kg 酵母组	38.76 $\pm$ 2.00	70.15 $\pm$ 2.94*	68.89 $\pm$ 1.65**	41.15 $\pm$ 2.08
对照组	38.33 $\pm$ 1.48	42.23 $\pm$ 2.28	43.52 $\pm$ 1.55	41.66 $\pm$ 1.35

注: * 表示与对照组差异显著($P<0.05$), ** 表示与对照组差异极显著($P<0.01$)。

2.3 3 种免疫增强剂对黄颡鱼血清 SOD 含量的影响 由表 3 可知,各试验组的血清 SOD 含量在 7 d 达到峰值,此后呈降低趋势,各试验组与对照组相比均有不同程度升高,7 d,1 g/kg 和 2 g/kg 参芪浓度组、黄芪多糖 1、2 和 4 g/kg 组、2 g/kg 酵母组与对照组差异不显著($P>0.05$);4 g/kg 参芪浓度组、4 g/kg 酵母组、6 g/kg 与对照组差异极显著($P<0.01$)。

表 3 3 种免疫增强剂对黄颡鱼血清 SOD 含量的影响 U/ml				
组别	0 d	7 d	14 d	28 d
1 g/kg 参芪组	58.5 $\pm$ 2.3	67.5 $\pm$ 1.5	63.5 $\pm$ 4.3	58.3 $\pm$ 2.1
2 g/kg 参芪组	59.3 $\pm$ 3.5	69.9 $\pm$ 2.1	70.2 $\pm$ 1.9	65.3 $\pm$ 0.7
4 g/kg 参芪组	57.9 $\pm$ 0.7	79.3 $\pm$ 0.9*	62.4 $\pm$ 1.8	60.6 $\pm$ 1.1
1 g/kg 黄芪组	56.9 $\pm$ 2.3	67.1 $\pm$ 3.7	67.2 $\pm$ 1.3	61.9 $\pm$ 1.8
2 g/kg 黄芪组	58.5 $\pm$ 2.5	65.4 $\pm$ 1.5	65.2 $\pm$ 1.1	55.5 $\pm$ 0.2
4 g/kg 黄芪组	59.2 $\pm$ 1.9	66.3 $\pm$ 1.7	65.4 $\pm$ 1.2	64.7 $\pm$ 1.4
2 g/kg 酵母组	59.8 $\pm$ 1.3	77.5 $\pm$ 1.7*	70.5 $\pm$ 4.3	62.2 $\pm$ 1.0
4 g/kg 酵母组	57.9 $\pm$ 0.8	85.4 $\pm$ 2.8**	80.2 $\pm$ 1.9	60.4 $\pm$ 1.3
6 g/kg 酵母组	59.1 $\pm$ 1.1	96.3 $\pm$ 1.3**	85.4 $\pm$ 2.8	63.8 $\pm$ 2.6
对照组	59.5 $\pm$ 2.1	63.8 $\pm$ 1.9	65.9 $\pm$ 2.2	61.6 $\pm$ 2.1

注: * 表示与对照组差异显著($P<0.05$), ** 表示与对照组差异极显著($P<0.01$)。

2.4 3 种免疫增强剂对黄颡鱼溶菌酶活性的影响 由表 4 可知,各试验组血清溶菌酶的含量均随着投喂时间的延长呈先增加后降低的趋势,并在 28 d 达到峰值。其中,7 d 2 g/kg 和 4 g/kg 参芪浓度组、1 g/kg 黄芪浓度组溶菌酶的含量与对照组存在差异显著($P<0.05$),2 g/kg 黄芪组、4 g/kg 黄芪组和 2 g/kg 酵母组的溶菌酶的含量与对照组高差异极显著(P

<0.01);14 d,1 g/kg 参芪浓度组、2 g/kg 参芪浓度组和 4 g/kg参芪浓度组和 6 g/kg 酵母组的溶菌酶的含量与对照组差异极显著($P<0.01$);2 g/kg 和 4 g/kg 酵母组溶菌酶的含量与对照组差异显著($P<0.05$)。

表 4 3 种免疫增强剂对黄颡鱼溶菌酶含量的影响 U/ml				
组别	0 d	7 d	14 d	28 d
1 g/kg 参芪组	2.24±0.02	2.82±0.12	2.98±0.02**	2.58±0.16
2 g/kg 参芪组	2.22±0.13	3.45±0.09*	3.64±0.13**	2.64±0.31
4 g/kg 参芪组	2.18±0.11	3.51±0.23*	3.69±0.19**	2.61±0.43
1 g/kg 黄芪组	2.23±0.09	2.79±0.11*	3.67±0.22	2.76±0.44
2 g/kg 黄芪组	2.27±0.11	3.75±0.07**	3.98±0.34	2.61±0.37
4 g/kg 黄芪组	2.25±0.17	3.91±0.16**	4.17±0.43	2.58±0.44
2 g/kg 酵母组	2.28±0.32	3.72±0.13**	3.68±0.16*	3.63±0.43*
4 g/kg 酵母组	2.20±0.21	3.98±0.27	3.88±0.21*	3.56±0.30*
6 g/kg 酵母组	2.26±0.18	3.57±0.25	3.44±0.11**	2.57±0.24**
对照组	2.23±0.08	2.35±0.22	2.59±0.21	2.53±0.22

注：* 表示与对照组差异显著($P<0.05$)，** 表示与对照组差异极显著($P<0.01$)。

2.5 3 种免疫增强剂对黄颡鱼的免疫保护力 由表 5 可知,对照组在注射菌液后死亡率为 80%,而各剂量组的黄颡鱼死亡率有所降低,3 种免疫增强剂保护率的大小顺序为:酵母细胞壁组>黄芪多糖组>芪参散组,其中黄芪多糖和酵母细胞壁组保护率最高,为 50%,另外芪参组对黄颡鱼也有一定的免疫保护率。

表 5 3 种免疫增强剂对黄颡鱼的免疫保护力			
组别	试验鱼数//尾	死亡数//尾	保护率//%
1 g/kg 参芪组	10	7	12.5
2 g/kg 参芪组		6	25.0
4 g/kg 参芪组		6	25.0
1 g/kg 黄芪多糖组	10	8	0
2 g/kg 黄芪多糖组		4	50.0
4 g/kg 黄芪多糖组		4	50.0
2 g/kg 酵母细胞壁组	10	8	25.0
4 g/kg 酵母细胞壁组		4	50.0
6 g/kg 酵母细胞壁组		4	50.0
对照组	10	8	

3 讨论

3.1 3 种免疫添加剂提高黄颡鱼免疫功能的途径 该试验的 3 种中草药免疫添加剂均能提高黄颡鱼的免疫功能,综合评价各项指标其免疫增强效果从高到低依次为:酵母组>黄芪组>参芪组,其增强免疫功能的主要途径为:①通过提高血清溶菌活力的方式增强鱼体免疫功能。溶菌酶是一种水解酶,主要存在于鱼类的粘液、血清以及吞噬细胞中,对各种病原微生物病原体具有重要的防御作用。该酶活性大小是机体和特异性免疫优劣的主要标志之一^[6]。艾春汉等^[7]研究表明黄芪多糖能提高鲫血清溶菌酶的活力,与空白组差异显著($P<0.05$),同时能提高鲫血清抗菌活力。罗璋等^[4]研究表明酵母细胞壁对斑点叉尾鲴的溶菌酶具有提升作用,芪参散在畜禽中应用的研究较多,而在水产中应用的研究尚未见报道。该试验结果表明,3 种免疫增强剂均能够提高黄颡鱼的血清溶菌酶活性。低剂量参芪组随着时间的延长溶菌酶

活性增加,且在第 28 天达到高峰。黄芪多糖组在第 14 天达到高峰,但此后有所降低与对照相差不大,而酵母细胞壁的各浓度组效果较明显且比较稳定。②通过提高血清超氧化物歧化酶(SOD)活力来增强鱼体的抗氧化保护能力,从而进一步提高鱼体免疫功能。超氧化物歧化酶(SOD)是反映机体非特异性免疫功能的重要生理指标。SOD 活性变化可反映机体清除自由基的能力,对于增强吞噬细胞防御能力和整个机体的免疫功能具有重要作用^[8]。该研究中黄芪多糖组的 SOD 活性总体上与对照组相差不大,效果不明显;而酵母细胞壁各浓度组均高于对照组,且效果稳定。③通过提高血清补体 C3 活力来增强鱼体免疫功能。补体系统是机体免疫的重要组成部分,其功能主要是促进吞噬和溶解靶细胞。通过补体介导的溶裂途径清除病原,是先天免疫反应的重要效应机制。樊英等^[9]将黄芪多糖提取物来注射到刺参体腔,发现黄芪多糖对刺参血清补体 C3 具有不同程度的提高作用,能够起到预防疾病的作用,与该研究结果相一致。目前尚未见到有关酵母细胞壁对水产动物补体 C3 的报道。该试验结果表明不同浓度酵母细胞壁均能显著提高黄颡鱼血清补体 C3 的含量,且与对照差异极显著。

黄颡鱼的主要病害有裂头病、腹水病等,而鲢鱼爱德华氏菌是裂头病的病原。因此笔者利用该菌来研究 3 种中药免疫增强剂对黄颡鱼抗病力的效果,结果表明黄芪多糖和酵母细胞壁组具有较好的保护率,建议连续投喂 14~21 d。

目前,鱼类养殖病害频发,给养殖业带来巨大损失。水体污染及高密度养殖都会造成鱼类自身的免疫机能低下,成为病害的暴发流行的主要原因之一。鱼类抗传染免疫中主要靠体液免疫和细胞免疫。笔者通过测定 4 种非特异性免疫指标研究 3 种免疫增强剂对黄颡鱼的免疫增强作用,结果表明在饲料中添加适量的免疫增强剂对增强鱼类的非特异性免疫具有较好的作用,同时文中的 3 种免疫增强剂具有廉价易得,且性质稳定易储存,值得在今后养殖生产中加以大力推广。

参考文献

[1] 邵伟,郝泗城,孙建华,等.啤酒酵母多糖抗肿瘤活性的实验研究[J]. 肿瘤,1987,7(6): 268-269.

[2] 李凡,石艳春,关智智,等.啤酒酵母多糖抗病毒作用研究[J]. 中国中药杂志,1998,23(3):171-173.

[3] ROBERTSEN B, RORSTAD G, RAA R. Enhancement of non-specific disease resistance in Atlantic salmon, *Salmon salar* L., by a glucan from *Saccharomyces cerevisiae* cell wall[J]. J Fish Dis, 1990, 13: 391-400.

[4] 罗璋,姚鹏,陈昌福,等.王绍辉酵母免疫多糖对受免疫斑点叉尾鲴免疫应答的增强作用[J]. 淡水渔业, 2007, 37(3): 22-33.

[5] 陈超然,陈萱,陈昌福,等.酵母 β-葡聚糖对受免疫育银鲫免疫应答的增强作用[J]. 华中农业大学学报, 2003, 22(4): 380-384.

[6] 王玲,胡俊杰,郭延生.中药免疫增强剂的研究进展及其在水产养殖中的应用[J]. 中国饲料添加剂, 2008(3): 36-39.

[7] 艾春汉,邹金虎,喻适珍.6 种中药对鲫非特异性免疫效果的影响[J]. 淡水渔业, 2009, 39(1): 76-79.

[8] 牟海津,江晓路,刘树青.免疫多糖对栉孔扇贝酸性磷酸酶、碱性磷酸酶和超氧化物歧化酶活性的影响[J]. 青岛海洋大学学报, 1999, 29(3): 463-468.

[9] 樊英,王淑娟,叶海斌.黄芪多糖对仿刺参非特异性免疫功能的影响[J]. 水产科学, 2010, 29(6): 321-324.