

文章编号: 1004-7271(2005)03-0276-06

Vc、 β -葡聚糖和藻粉对中国对虾幼虾生长、成活率及免疫酶活性的影响

宋理平¹, 黄旭雄¹, 周洪琪¹, 刘兴国²

(1. 上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090;

2. 中国水产科学院渔业机械仪器研究所, 上海 200092)

摘要:在中国对虾幼虾的基础饲料中分别添加不同剂量的维生素 C(0、0.015%、0.030%、0.045%、0.060%)、 β -葡聚糖(0、0.050%、0.075%、0.100%)和藻粉(0、2%、5%、7%),未添加组为对照组,探讨维生素 C(Vc)、 β -葡聚糖和藻粉对中国对虾幼虾成活率、相对增长(重)率及肌肉酸性磷酸酶(ACP)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)、溶菌酶(LSZ)活性的影响。室内网箱饲养 40 d 试验结果表明,饲料中添加 Vc 后,0.030%组幼虾相对增重率和 CAT 活性显著高于对照组($P < 0.05$),0.045%组 ACP、CAT 活性显著高于对照组($P < 0.05$),但 Vc 对 SOD 活性没有显著性影响,0.015%组 LSZ 活性极显著高于对照组($P < 0.01$);0.075% β -葡聚糖组的相对增重率、SOD 活性显著高于对照组($P < 0.05$);添加 7%藻粉能极显著提高相对增长(重)率($P < 0.01$),但 ACP 和 LSZ 活性呈极显著下降($P < 0.01$),添加 5%藻粉能显著提高 CAT 活性($P < 0.05$)。

关键词:中国对虾;维生素 C; β -葡聚糖;藻粉;免疫酶

中图分类号:S 963.1 文献标识码:A

The effect of Vc, beta-glucan and algae powder on growth, survival rate and immune enzyme activities of *Penaeus chinensis* juvenile

SONG Li-ping¹, HUANG Xu-xiong¹, ZHOU Hong-qi¹, LIU Xing-guo²

(1. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

2. Fishery Machinery and Instrument Research Institute of Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092, China)

Abstract: *Penaeus chinensis* juvenile were fed on basal diets supplemented with different levels Vc (0, 0.015%, 0.030%, 0.045%, 0.060%), beta-glucan (0, 0.050%, 0.075%, 0.100%) and algae powder (0, 2%, 5%, 7%) for 40 days respectively. The shrimp fed on basal diet were regarded as control. Each group was treated with triplicate. Growth, survival rate and activities of acid phosphates (ACP), catalase (CAT), superoxidase (SOD) and lysozyme (LSZ) were measured. The relative body length gain and CAT activity of 0.030% Vc group were significantly higher than those of the control ($P < 0.05$). The activities of ACP and CAT of 0.045% Vc group were enhanced ($P < 0.05$). The activities of SOD were not affected by Vc supplement ($P < 0.05$). The LSZ activities of 0.015% Vc group were significantly increased ($P < 0.01$). The relative body length gain and SOD activity of

收稿日期: 2004-11-03

基金项目: 上海水产大学校长基金项目资助(科 0315)

作者简介: 宋理平(1974-), 男, 山东昌乐人, 硕士研究生, 专业方向为水产动物营养与饲料, E-mail: lpsyang@sohu.com

通讯作者: 周洪琪(1942-), 女, 上海市人, 教授, 主要从事水产动物营养与饲料方面的研究, Tel: 021-65710017, E-mail: hqzhou@shfu.edu.cn

0.075% beta-glucan group were significantly higher than those of the control ($P < 0.05$). The relative body length and weight gain of 7% algae powder group were significantly increased ($P < 0.01$), but the activity of ACP and LSZ of the group was decreased ($P < 0.05$). The activities of CAT of 5% algae powder were enhanced ($P < 0.05$).

Key words: *Penaeus chinensis*; Vitamin C; beta-glucan; algae powder; immune enzyme

中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 是我国特有的经济甲壳动物, 由于近几年虾病爆发流行, 给养虾业造成巨大损失。Vc 和 β -葡聚糖对水产动物具有广谱的免疫增强作用^[1-6]。藻粉作为添加剂应用于水产饲料较少。Vc、 β -葡聚糖和藻粉作为饲料添加剂具有无毒、无残留、不产生耐药性等优良特点, 但研究其对中国对虾生长、成活和免疫酶活性影响的报道较少。本研究旨在揭示中国对虾幼虾摄食添加 Vc、 β -葡聚糖和藻粉的饲料对其上述生长性能和免疫功能的影响, 从而为免疫增强剂在中国对虾养殖业上的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验幼虾

中国对虾虾苗取自山东日照裕龙育苗场。试验虾苗先在室内育苗池培育 20 d, 每天投喂饲料 4 次, 分别为 6:00、12:00、18:00、24:00。Vc 组和 β -葡聚糖组生长试验幼虾初始体重为 0.065 ± 0.010 g, 初始体长为 1.83 ± 0.11 cm; 藻粉组生长试验的幼虾初始体重为 0.100 ± 0.009 g, 初始体长为 2.42 ± 0.19 cm。

1.2 试验饲料

基础饲料 A (不含 Vc, 其它维生素和矿物质已添加) 购自金童饲料厂, Vc 为三宝高稳 Vc (LAPP, 有效含量 30%), β -葡聚糖和藻粉来自上海水产大学营养与饵料教研室, 基础饲料 B 为基础饲料 A 中添加 0.03% Vc。Vc 组试验饲料在其基础饲料 A 中分别添加 0、0.015%、0.030%、0.045%、0.060% 的有效 Vc。 β -葡聚糖组试验饲料在基础饲料 B 中分别添加 0、0.050%、0.075%、0.100% β -葡聚糖。藻粉组试验饲料在基础饲料 B 中分别添加 0、2%、5%、7% 藻粉 (用淀粉配成等氮等能饲料)。在基础饲料中加入不同剂量的 3 种免疫增强剂后, 用逐级扩大法将各种饲料原料混合均匀, 用绞肉机加工成直径为 1.5 mm 的长条饲料, 晾干后分别加工成粒径 40 目、20 目、1.5 mm 的颗粒饲料备用。以基础饲料为对照组, 对照组与各试验饲料组设置 3 个重复, 各组试验饲料的营养组成见表 1。

表 1 试验饲料营养成分分析

Tab.1 Proximate analysis of the experimental diets

	Vc 和 β -葡聚糖组基础饲料	藻粉组				%
		基础饲料	添加 2%	添加 5%	添加 7%	
水分	7.52	7.76	7.54	7.44	7.49	
粗蛋白	48.00	44.16	44.90	45.49	45.84	
粗脂肪	8.85	7.85	7.89	7.94	7.98	
粗灰分	13.25	12.18	12.46	12.87	12.96	

1.3 饲养管理

试验在温室内两个育苗池 (规格 $5 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 2 \text{ m}$) 中进行, Vc 组和 β -葡聚糖组在育苗池 A 中进行, 藻粉组在育苗池 B 中进行。每个育苗池四周挂有聚乙烯网箱, 网箱规格为 $50 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 120 \text{ cm}$, 池中水位高 180 cm, 网箱有效水位 80 cm。

Vc 组和 β -葡聚糖组每网箱放入 30 尾幼虾, 藻粉组每网箱放入 20 尾幼虾, 网箱随机排列。

试验水源为场外养虾池内经消毒处理的海水, 试验期间盐度为 24 ~ 28、水温保持在 26 ~ 29 °C、溶氧为 5 ~ 6 mg/L、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 0.19 ~ 0.34 mg/L。每 10 天换水一次, 换水量为 1/3; 每天投喂 4 次, 分别为

6:00、12:00、18:00、24:00,投饵量以投饵后 2 h 内吃完为佳,每 3 天通过虹吸清理网箱的残饵和粪便。饲养时间为 2003 年 7 月 23 日 - 2003 年 9 月 1 日。生长试验结束从各组随机取虾 10 尾待测。

1.4 测定

1.4.1 试验饲料营养成分

饲料在 105 °C 烘干至恒重后,求得干物质含量;采用凯氏定氮法测定其粗蛋白的含量;采用索氏抽提法(乙醚为溶剂)测定粗脂肪含量;灰分是在马福炉中焚烧(550 °C)测得。

1.4.2 免疫酶活性的测定

采用南京建成生物研究所生产的试剂盒,测定 ACP、CAT、SOD 活性。按照磷酸苯二钠法测定 ACP 活性,定义为每克组织蛋白在 37 °C 与基质作用 30 min 产生 1 mg 酚的酶量为—活力单位(U/g)。按照磷酸铵法进行测定 CAT 活性,定义为每毫克组织蛋白每分钟分解 1 μmol H_2O_2 的酶量为一个活力单位(U/mg)。按黄嘌呤氧化酶法测定 SOD 活性,定义为每毫克组织蛋白在 1 ml 反应液中 SOD 抑制率达 50% 时反应的 SOD 量为一个活力单位(U/mg)。

以溶壁微球菌(*Micrococcus lysolei*)冻干粉为底物(购自南京建成生物研究所),按 Hultmark^[7]方法测定 LSZ 活性。

采用考马斯亮兰法测定组织蛋白含量。

1.4.3 幼虾生长测定

试验开始时随机从 Vc 组和 β -葡聚糖组共选取 20 尾幼虾,藻粉组选取 20 尾幼虾进行初始体长和体重的测定,试验结束时对各个网箱所有试验虾测定终末体长和体重,计算成活率、相对增长率和相对增重率。

成活率(%) = 终末尾数/初始尾数 \times 100;

相对增长率(%) = (终末体长 - 初始体长)/初始体长 \times 100;

相对增重率(%) = (终末体重 - 初始体重)/初始体重 \times 100。

1.5 数据统计

采用 statistics 分析软件进行单因子方差分析和 Duncan's 多重检验,成活率经反正弦转换后再进行方差分析。

2 结果

2.1 Vc、 β -葡聚糖和藻粉对幼虾生长的影响

饲料中添加 Vc 后,随着 Vc 添加量的增加成活率、相对增长(重)率先逐渐增大,当添加量超过 0.030% 时又逐渐减小(表 2)。统计结果表明,各组的成活率无显著性差异($P > 0.05$)。饲料中 Vc 的含量显著影响幼虾的相对增长率,0.030% 组的相对增长率显著高于对照组、0.015% 组和 0.060% 组($P < 0.05$)。在饲料中添加 Vc 对幼虾的相对增重率无显著影响($P > 0.05$)。

添加 β -葡聚糖的试验组成活率均低于对照组,但无显著性差异($P > 0.05$)。 β -葡聚糖的添加对于幼虾的相对增长率无显著性影响($P < 0.05$)。然而 β -葡聚糖对于对虾的增重率有显著影响,随着 β -葡聚糖添加量的增大,相对增重率逐渐增大,0.075% 组相对增重率显著高于对照组($P < 0.05$)。

藻粉的添加对幼虾的成活率无显著性影响,但幼虾的相对增长(重)率随藻粉添加量的增加而相应增大,7% 组的相对增长率和相对增重最大,分别比对照组提高 30.89% 和 54.49%,极显著性高于对照组、2% 和 5% 组($P < 0.01$)。2% 组、5% 组、对照组间的相对增长(重)率无显著性差异。

2.2 Vc 对幼虾肌肉 ACP、CAT、SOD、LSZ 活性的影响

饲料中添加 Vc 后试验幼虾肌肉的 ACP、CAT 活性均高于对照组(表 3)。0.015%、0.045% 组的 ACP 活性比对照组提高 26.01%、26.69%,具有显著性差异($P < 0.05$)。0.030% 和 0.045% 组 CAT 活性比对

照组提高 37.50% 和 50%, 具有显著性差异 ($P < 0.05$)。添加 Vc 对幼虾肌肉的 SOD 活性影响不显著。而 Vc 添加能极显著影响幼虾肌肉 LSZ 活性, 随着 Vc 添加量的加大, LSZ 活性逐渐减小, 0.015% 组 LSZ 活性极显著高于对照组、0.045% 和 0.060% 组 ($P < 0.01$), 其余各组与对照组差异不显著 ($P < 0.05$)。

表 2 Vc、 β -葡聚糖和藻粉对幼虾生长和成活率的影响Tab.2 Effect of Vc, β -glucan and algae powder on growth and survival rate of *P. chinensis* juvenile

		成活率 (%)	相对增长率 (%)	相对增重率 (%)
Vc 组	0(对照)	77.77 \pm 18.35	140.99 \pm 14.69 ^{Ab}	1557.58 \pm 232.68
	0.015%	78.90 \pm 10.18	145.08 \pm 8.12 ^{Ab}	11621.84 \pm 124.53
	0.030%	90.00 \pm 3.33	178.42 \pm 8.11 ^{Aa}	1980.67 \pm 208.66
	0.045%	81.67 \pm 11.67	165.03 \pm 3.09 ^{Ab}	1761.66 \pm 24.69
	0.060%	78.90 \pm 12.62	151.64 \pm 7.34 ^{Ab}	1715.27 \pm 108.95
β -葡聚糖	0(对照)	90.00 \pm 3.33	178.42 \pm 8.11	1980.67 \pm 208.66 ^{Ab}
	0.050%	77.77 \pm 10.18	168.95 \pm 3.72	2040.55 \pm 91.09 ^{Ab}
	0.075%	76.67 \pm 17.64	182.24 \pm 5.02	2603.50 \pm 48.63 ^{Aa}
	0.100%	81.10 \pm 6.94	183.06 \pm 10.04	2513.50 \pm 341.33 ^{Ab}
藻粉	0(对照)	80.00 \pm 0.00	96.41 \pm 0.87 ^{Bb}	1123.72 \pm 27.24 ^{Bb}
	2%	75.00 \pm 8.66	98.87 \pm 9.14 ^{Bb}	1254.28 \pm 126.78 ^{Bb}
	5%	90.00 \pm 10.00	100.81 \pm 4.65 ^{Bb}	1298.16 \pm 47.44 ^{Bb}
	7%	81.67 \pm 10.94	126.19 \pm 0.69 ^{Aa}	1735.99 \pm 16.88 ^{Aa}

注:表中同列小写英文字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$); 同列大写英文字母不同表示差异极显著 ($P < 0.01$), 下同。

表 3 Vc 对中国对虾幼虾肌肉 ACP、CAT、SOD、LSZ 活性的影响

Tab.3 Effect of Vc on ACP, CAT, SOD and LSZ activities in muscle of *P. chinensis* juvenile

	ACP(U/g)	CAT(U/mg)	SOD(U/mg)	LSZ(U)
0(对照)	14.65 \pm 3.35 ^{Ab}	0.32 \pm 0.12 ^{Bb}	11.47 \pm 0.84	0.095 \pm 0.008 ^{Bb}
0.015%	18.46 \pm 4.01 ^{Aa}	0.40 \pm 0.10 ^{Ab}	10.94 \pm 0.89	0.109 \pm 0.007 ^{Aa}
0.030%	17.74 \pm 2.21 ^{Ab}	0.44 \pm 0.07 ^{Aa}	10.98 \pm 1.57	0.103 \pm 0.010 ^{ABb}
0.045%	18.56 \pm 2.97 ^{Aa}	0.48 \pm 0.10 ^{Aa}	10.98 \pm 1.69	0.096 \pm 0.010 ^{Bb}
0.060%	17.45 \pm 3.42 ^{Ab}	0.42 \pm 0.06 ^{Ab}	12.26 \pm 1.87	0.090 \pm 0.010 ^{Bb}

2.3 β -葡聚糖对中国对虾幼虾肌肉 ACP、CAT、SOD、LSZ 活性的影响

随着 β -葡聚糖添加量的增加, 幼虾肌肉 ACP、SOD、LSZ 活性逐渐提高(表 4)。0.1% 组 ACP、LSZ 活性最大, 但是与对照组之间无统计上的差异。0.075% 组和 0.1% 组 SOD 活性比对照组提高 18.52%、17.21%, 极显著性高于对照组 ($P < 0.01$), 并显著高于 0.05% 组 ($P < 0.05$)。试验组的 CAT 活性低于对照组, 但是 β -葡聚糖的添加对幼虾的 CAT 活性没有显著性影响。

表 4 β -葡聚糖对中国对虾幼虾肌肉 ACP、CAT、SOD、LSZ 活性的影响Tab.4 Effect of β -glucan on ACP, CAT, SOD and LSZ activities in muscle of *P. chinensis* juvenile

	ACP(U/g)	CAT(U/mg)	SOD(U/mg)	LSZ(U)
0(对照)	17.74 \pm 2.21 ^{Ab}	0.44 \pm 0.07	10.98 \pm 1.57 ^{Bb}	0.103 \pm 0.010 ^{ABb}
0.050%	17.12 \pm 3.46 ^{Ab}	0.39 \pm 0.11	11.53 \pm 0.69 ^{ABb}	0.090 \pm 0.013 ^{Bb}
0.075%	20.74 \pm 3.51 ^{Ab}	0.35 \pm 0.11	13.05 \pm 0.68 ^{Aa}	0.107 \pm 0.014 ^{ABa}
0.100%	22.15 \pm 6.24 ^{Aa}	0.35 \pm 0.11	12.87 \pm 0.68 ^{Aa}	0.115 \pm 0.023 ^{Aa}

2.4 藻粉对中国对虾幼虾肌肉 ACP、CAT、SOD、LSZ 活性的影响

幼虾肌肉的 ACP、LSZ 活性随着藻粉添加量的增多而降低(表 5)。7% 组 ACP、LSZ 活性分别是对照

组的 64.05%、80.19%，具极显著性差异 ($P < 0.01$)。2%、5%、7% 组的 CAT 活性虽然高于对照组，但是唯 5% 组的 CAT 活性显著高于对照组 ($P < 0.05$)。藻粉对幼虾肌肉的 SOD 活性无显著性影响。

表 5 藻粉对中国对虾幼虾肌肉 ACP、CAT、SOD、LSZ 活性的影响

Tab.5 Effect of algae powder on ACP, CAT, SOD and LSZ activity in muscle of *P. chinensis* juvenile

	ACP(U/g)	CAT(U/mg)	SOD(U/mg)	LSZ(U)
0(对照)	32.46 ± 6.79 ^{Ab}	0.42 ± 0.07 ^{Ab}	13.92 ± 0.89 ^{Ab}	0.106 ± 0.0102 ^{Aa}
2%	35.32 ± 5.30 ^{Aa}	0.48 ± 0.05 ^{Ab}	13.81 ± 0.60 ^{Ab}	0.105 ± 0.010 ^{Aa}
5%	27.11 ± 7.88 ^{Bbc}	0.58 ± 0.08 ^{Aa}	14.30 ± 0.70 ^{Aa}	0.101 ± 0.012 ^{Aa}
7%	20.79 ± 6.70 ^{Bc}	0.49 ± 0.16 ^{Ab}	13.43 ± 0.70 ^{Ab}	0.085 ± 0.007 ^{Bb}

3 讨论

3.1 Vc、β-葡聚糖和藻粉对幼虾生长的影响

Vc 作为一种水溶性维生素具有营养作用，在体内参与多种生化反应，促进生长。在本试验中，Vc 添加量为 0.030% 时成活率最高，生长情况最好，过高或过低都不利于幼虾生长。Vc 对斑节对虾^[8]和中国对虾^[9]也有相似的效果。国内外对对虾的 Vc 营养需求研究较多，结果差别较大，日本对虾幼虾饲料至少要含有 1.3% 的 Vc^[10]，He 等^[11]发现南美白对虾对 Vc 需要量随着体重的增加而减小，体重为 0.1 g 南美白对虾对 Vc 的需要量为 0.012%，体重为 0.5 g 幼虾的需要量为 0.0041%，不同试验得到的适宜添加量不同，可能是由于试验虾的大小、种类、饲料加工、试验条件等不同所致。

β-葡聚糖广泛存在于自然界，目前在水产上研究较多的是从真菌和海藻中提取的 β-1,3-葡聚糖。β-葡聚糖能促进斑节对虾^[1]和南美白对虾^[6]的增重、存活并降低饲料系数。本研究中添加 0.075% β-葡聚糖对幼虾具有明显的促生长效果，但对幼虾的成活率无显著影响，可能是由于试验虾健康状况良好，对照组 90% 的成活率，掩盖了 β-葡聚糖提高成活率的作用。

藻粉含有多种物质，如维生素、氨基酸、矿物质等。本试验结果表明，适量添加 7% 藻粉能够促进幼虾的生长，添加量过低促生长效果不明显。在罗氏沼虾和南美白对虾饲料中添加藻粉也得到相似的结论，但其适宜添加量为 3%^[12,13]。藻粉的促生长作用是藻粉中多种物质综合作用的结果，藻粉源和养殖物种的不同都可能导致最适添加量的差异。当藻粉添加量大于 7% 时，对幼虾的生长及成活率的影响有待进一步研究。

3.2 Vc、β-葡聚糖和藻粉对幼虾 ACP、CAT、SOD、LSZ 活性的影响

ACP 是溶酶体的标志酶，某些宿主可以识别并吞噬入侵的病毒或细菌，在溶酶体的作用下将其杀死并进一步降解。CAT 水解 H₂O₂，使体内 H₂O₂ 和 CAT 保持在一个平衡的状态。SOD 作为重要的抗氧化酶，在清除超氧阴离子自由基、防止生物分子损伤方面有十分重要的作用。LSZ 是吞噬细胞杀菌的物质基础，体内许多组织和体液中都含有 LSZ。

本试验适量添加 Vc 后幼虾的 ACP、CAT 和 LSZ 活性均高于对照组，与当前对鱼虾的研究结果一致，Vc 可以作为水产动物的免疫增强剂。如提高虹鳟的抗菌活力和免疫力^[14]，提高中国对虾体内细胞对病菌的吞噬能力^[5]和血清的杀菌活力^[15]。本试验条件下 Vc 对幼虾肌肉 SOD 活性没有显著影响。艾春香等^[16]在河蟹饲料中添加 Vc 也出现相同的现象，认为 Vc 在机体内较好的发挥了抗氧化的生理功能，在自由基尚未发挥作用前就被清除了，使得诱导性酶 SOD 活性不受影响。本试验 0.045% Vc 组的 ACP、CAT 活性最高，但 0.030% Vc 组的生长、存活最好。表明保证机体最佳生长的需要量小于机体最佳免疫状态的需要量。Navarre 和 Halver^[2]对虹鳟研究得到相似结果，Vc 投喂量为营养需求量 10 倍时，细菌攻毒后的存活率最大及体液抗体产生量最多。本试验中 Vc 加入量为最适生长量 1.5 倍时 ACP、CAT 活性最大，造成研究结果的差异性可能是由于养殖品种和 Vc 对抗体、ACP、CAT 的具体作用机理不同所致。

本试验添加 β -葡聚糖提高了 ACP、SOD、LSZ 的活性。虾的血细胞膜上具有与 β -葡聚糖结合的蛋白受体^[17,18],当 β -葡聚糖与其结合,能使颗粒细胞脱颗粒,激活酚氧化酶原系统,提高机体的免疫功能。投喂虫草多糖能够增强日本沼虾免疫防御能力^[19]。但 Scholz^[20]提出饲料中添加过量 β -葡聚糖会起抑制作用,与本试验结果不一致,是否添加量大于 0.1% 时中国对虾的免疫功能受到抑制,还有待进一步研究。

本研究在饲料中添加藻粉后提高了 CAT 的活性,但 ACP、SOD、LSZ 活性出现了不同程度的下降。目前关于添加藻粉对水产养殖动物体内免疫酶活性影响的报道不多。发生上述现象,可能是藻粉含有多种物质,这是多种物质影响的效果,目前尚不知对中国对虾免疫功能起有效作用的成分是什么,其有效的添加量是多少,其作用机理有待进一步研究。

本试验条件下,CAT 和 SOD 作为抗氧化的免疫酶,两种酶的活性随添加免疫增强剂种类的不同而变化,甚至添加同一种免疫增强剂两种酶活性变化也不相同,两者在中国对虾上的具体关系需进一步研究。

Vc、 β -葡聚糖和藻粉在饲料中适量添加均能促进中国对虾的生长,但具体作用机理各不相同。从三试验组可看出,幼虾生长情况最好时,ACP、CAT、SOD、LSZ 活性都不处于最大状态,ACP、CAT、SOD、LSZ 活性过高或过低均不利于幼虾的生长,ACP、CAT、SOD、LSZ 活性与生长的关系需作进一步探讨。

参考文献:

- [1] 阳会军,谭北平,方怀义.饲料中添加不同水平 β -葡聚糖对斑节对虾生长、存活及其抗病力的影响[J].饲料工业,2001,22(9):18-19.
- [2] Navarre O, Halver J E. Disease resistance and humoral antibody production in rainbow trout fed in high level of Vitaming C[J]. Aquaculture, 1989,79:207-221.
- [3] Lall S P, Olinier G, Weerakoon D E, et al. The effect of Vitamin C deficiency and excess on immune response in Atlantic salmon (*Salmonsalar*) [A]. Third Int Symp, on Feeding and Nutr, in Fish[C]. Toba, Aug. 28-Sept. Japan, 427-441.
- [4] 王伟庆,李爱杰. LAPP 对中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 生长、缺氧耐受力及免疫抵抗力的影响[J]. 海洋湖沼通报,1996,(1):42-49.
- [5] Di Luzio N R. Immunopharmacology of glucan: a broad spectrum enhancer of host defence mechanisms [J]. Trends Pharmacol Sci, 1983,4:344-347.
- [6] 陈云波,周洪琪,华雪铭,等.饲料中添加 β -葡聚糖对南美白对虾的生长、存活及饲料数的影响[J]. 淡水渔业,2002,32(5):55-56.
- [7] Hultmark D. Insect immunity: purification and properties of three inducible bactericidal proteins from hemolymph of immunized pupae of *Hyalophora cecropia* [J]. Eur J Biochem, 1980,106(1):7-16.
- [8] 韩阿寿,梁亚全,高淳仁.斑节对虾对磷酸酯化维生素 C 的需要量研究[J]. 水产学报,1996,20(1):88-91.
- [9] 徐志昌,刘铁斌,雷清新.中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 维生素营养的研究[J]. 青岛海洋大学学报,1994,24(3):364-372.
- [10] Deshimaru O, Kuroki K. Studies on a purified diet for prawn - VII - adequate dietary level of ascorbic acid and inositol [J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1976,42:571-576.
- [11] He H, Lawrence A L. Vitamin C requirements of the shrimp *Penaeus vannamei* [J]. Aquaculture, 1993,114:305-316.
- [12] 周岐存,肖风波.海藻在南美白对虾饲料中的应用研究[J]. 海洋科学,2003,27(3):66-69.
- [13] 周岐存,赵华超.海藻在罗实沼虾饲料中的应用研究[J]. 饲料研究,2001,(8):5-7.
- [14] Dunier M, Vergnet C. Effect of lindane exposure on rainbow trout immunity: IV prevention of 214. nonspecific and specific immunosuppression by dietary Vitamin C [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 1995,30(3):259-268.
- [15] 李爱杰. 维生素 C 对中国对虾的营养和免疫作用及其最适剂型[J]. 粮食与饲料工业,1998,(2):33-36.
- [16] 艾春香,陈立桥,周忠良,等. 维生素 C、E 对中华绒螯蟹生殖性能的影响[J]. 水产学报,2003,27(1):62-68.
- [17] Vargas A F, Yepiz P G. Beta-glucan binding protein and its role in shrimp immune response [J]. Aquaculture, 2000,191:13-21.
- [18] Duvic B, Soderhall K. Purification of a β -1,3-glucan binding protein membrane receptor from blood cells of the crayfish *Pacifastacus Leniusculus* [J]. Eur J Biochem, 1992,207:223-228.
- [19] 昌鸣先,陈孝焯,吴志新,等. 虫草多糖对日本沼虾免疫机能的影响[J]. 华中农业大学学报,2001,20(3):275-278.
- [20] Scholz U. Enhancement of *Vibriosis* resistance in juvenile *Penaeus vannamei* by supplementation of diets with different yeast products [J]. Aquaculture, 1999,176:271-283.