

# 饲料中添加肽聚糖对中华绒螯蟹幼蟹生长、肝胰腺部分免疫指标及抗病力的影响

张露濛<sup>1\*</sup>, 周俊杰<sup>1</sup>, 李晶晶<sup>2</sup>, 刘 群<sup>3</sup>, 夏苏东<sup>1</sup>, 张 丹<sup>1#</sup>

<sup>1</sup>天津农学院水产学院, 天津市水产生态及养殖重点实验室, 天津

<sup>2</sup>天津市水产研究所, 天津

<sup>3</sup>天津市动物疫病预防控制中心, 天津

收稿日期: 2023年4月5日; 录用日期: 2023年5月4日; 发布日期: 2023年5月12日

## 摘 要

为研究饲料中添加肽聚糖对中华绒螯蟹幼蟹生长及抗氧化酶活力的影响, 在基础饲料中分别添加0 (对照组)、62.5 mg/kg、125 mg/kg和250 mg/kg肽聚糖, 配制成4组实验饲料, 分别投喂初始体质量为 $(32.7 \pm 1.4)$  g的中华绒螯蟹幼蟹42 d。结果显示, 实验蟹的体质量、增重率、特定生长率等生长指标随着饲料中肽聚糖添加量的提高先升后降, 在添加量为125 mg/kg时达到最大值, 显著高于对照组。相比于对照组, 添加125 mg/kg饲料的肽聚糖组实验蟹肝胰腺中蛋白浓度、酸性磷酸酶(ACP)、碱性磷酸酶(ALP)显著提高。攻毒感染试验表明, 125 mg/kg肽聚糖组相对免疫保护率最高(38.22%), 显著高于其它组。研究表明, 饲料中适量添加肽聚糖可显著提高中华绒螯蟹幼蟹的生长性能、增强抗氧化能力和抗菌能力。

## 关键词

中华绒螯蟹, 肽聚糖, 生长性能, 抗氧化能力

## Effect of Peptidoglycan on Growth Performance, Some Immune Parameters of Hepatopancreas and Disease Resistance in Juvenile Chinese Mitten Crab (*Eriocheir sinensis*)

Lumeng Zhang<sup>1\*</sup>, Junjie Zhou<sup>1</sup>, Jingjing Li<sup>2</sup>, Qun Liu<sup>3</sup>, Sudong Xia<sup>1</sup>, Dan Zhang<sup>1#</sup>

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 张露濛, 周俊杰, 李晶晶, 刘群, 夏苏东, 张丹. 饲料中添加肽聚糖对中华绒螯蟹幼蟹生长、肝胰腺部分免疫指标及抗病力的影响[J]. 农业科学, 2023, 13(5): 373-381. DOI: 10.12677/hjas.2023.135051

<sup>1</sup>Tianjin Key Laboratory of Aquatic Ecology and Aquaculture, College of Aquatic Products, Tianjin Agricultural University, Tianjin

<sup>2</sup>Tianjin Fisheries Research Institute, Tianjin

<sup>3</sup>Tianjin Surveillance Center of Aquatic Animal Infections Disease, Tianjin

Received: Apr. 5<sup>th</sup>, 2023; accepted: May 4<sup>th</sup>, 2023; published: May 12<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

An experiment was conducted to investigate the effects of peptidoglycan content on growth performance and antioxidant activity of *Eriocheir sinensis*. Peptidoglycan levels of 0, 62.5, 125 and 250 mg/kg were supplemented to basal diet to formulate four diets. Each diet was randomly assigned to triplicate cages of 90 crabs with an initial average weight of  $(32.7 \pm 1.4)$  g for 42 days. The results showed that the body mass, weight gain, and specific growth rate firstly increased and then decreased with the increase of peptidoglycan, and reached the maximum when the dietary supplementation was 125 mg/kg, which were significantly higher than those of the control group. Compared with the control group, protein concentration, ACP and ALP were significantly increased. The artificial infection test shown that the relative immunoprotection rate was highest in group 125 mg/kg, up to 38.22%, which was significantly higher than that in the other groups. All these results indicated that the suitable peptidoglycan supplementation could significantly improve growth performance, enhance the antioxidant capacity and antimicrobial ability.

## Keywords

Chinese Mitten Crab, Peptidoglycan, Growth Performance, Antioxidant Capacity

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)是我国重要的淡水经济养殖品种,广泛分布于湖泊、水库,味道鲜美,营养价值高,深受广大消费者喜爱。近年来,随着市场需求量的不断扩大,其增养殖模式在不断发展,养殖规模也在逐步扩大。2020年《中国渔业统计年鉴》显示,中华绒螯蟹在国内养殖产量达到77.5万t,产值超过400亿元[1]。随着产业扩大、产量提高,消费者也更加关注其质量和安全问题。通过饲喂免疫增强剂可提高甲壳动物非特异性免疫能力,从而提高其抗病能力[2][3][4][5],改善生长性能和健康状况。因此,合理使用免疫增强剂对开发水产养殖业具有重要意义。

研究表明,肽聚糖为细菌等原核生物细胞壁构架中基础的组成因素,是糖肽通过一系列糖苷键、肽键交联而成的一类紧密坚固的大分子物质,每个肽聚糖单体都是由两个通过 $\beta$ -1,4糖苷键连接的双糖单元与4个氨基酸串联的四肽尾组成,可提高甲壳动物的机体自身免疫能力[6][7],有抗菌或抗病毒作用[8],是一种新型、安全的水产动物免疫增强剂。目前,已被应用于多种水产养殖动物。嗜水气单胞菌(*Aeromonas hydrophila*)细胞壁中含有肽聚糖,灭活后常被用于激活动物机体的免疫系统。刘永贵等[9]发现用含嗜水气单胞菌海藻酸钠微胶囊冻干疫苗的饲料饲养中华绒螯蟹可显著提高其SOD、PO和LZM等酶的活性,

并且其对嗜水气单胞菌的抵抗力也明显增强,促进中华绒螯蟹的生长。沈锦玉等[10]也发现,灭活嗜水气单胞菌可提高 SOD、PO 和 LZM 等酶的活性,其中注射免疫较口服免疫对蟹的免疫保护率更高,达 75%。Zhigang Yang 等[11]研究发现口服嗜水气单胞菌灭活疫苗可诱导中华绒螯蟹细胞免疫和抗原特异性抗体应答,有效保护中华绒螯蟹免受气单胞菌感染,海藻酸盐微粒可作为中华绒螯蟹口服气单胞菌疫苗的候选载体体系。Itami 等[12]以肽聚糖投喂日本对虾(*Penaeus japonicus*)发现可以促进对虾生长。Kono 和 Sakai [13]分析认为注射肽聚糖可以诱导牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)肾脏巨噬细胞激活蛋白 1- $\alpha$  前体基因的表达,从而激活巨噬细胞的吞噬作用。朱卫卫等[14]发现凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)受肽聚糖免疫刺激后,肝胰腺组织中酸性磷酸酶(ACP)、碱性磷酸酶(ALP)活力显著提高,可增强对虾机体内免疫功能,进而增强抵抗外源病害的能力。

本研究旨在探讨饲料中添加不同水平的肽聚糖对中华绒螯蟹生长性能、血清抗氧化机能的影响,并对其进行副溶血弧菌注射感染实验,探究饲喂含肽聚糖饲料的中华绒螯蟹对外源病害的抵抗能力,为中华绒螯蟹免疫增强剂的开发和利用提供基础理论依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 养殖试验系统

室外养殖系统位于天津市西青区畜牧水产养殖试验示范基地(天津,西青)。养殖用网箱为 PVC 材质,网箱上下底直径约 1 m、高 1.5 m。每个养殖单元设有独立的进水口和排水口,养殖尾水经沉淀区、增氧曝气区等环节处理后,再重新回到养殖单元使用。试验期间,每周对养殖网箱清理 1 次。养殖期间水质监测结果为:水温  $26^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、溶氧 8 mg/L、pH 8.1~8.3、氨氮小于 0.2 mg/L、亚硝酸盐小于 0.005 mg/L、硫化物小于 0.005 mg/L。

### 2.2. 试验蟹和试验饲料

试验用蟹为天津市某规模化中华绒螯蟹苗种培育场。选取初始规格为 30 g 左右的中华绒螯蟹幼蟹,用浓度为 0.3 mg/L 聚维酮碘浸泡 3 min 后,在室内养殖系统中集中暂养 1 周后进行分组。本试验设置饲料中添加 62.5 mg/kg 肽聚糖组、125 mg/kg 肽聚糖组、250 mg/kg 肽聚糖组共 3 个试验处理组和 1 个未添加肽聚糖作为对照组,每个处理组设置 3 个重复。在饲料制作过程中,各原料按配比定量后混合均匀,然后加入适量的水揉匀,经双螺杆挤条机(华南理工大学研制的 F-III (26)型)加工成  $2.5\text{ mm} \times 8.0\text{ mm}$  的颗粒状饲料,并在  $40^{\circ}\text{C}$  烘干至饲料水分含量为 10%左右。实验饲料中使用的肽聚糖由 BioTech 公司生产。共挑选规格整齐、表观健康、游动活跃的幼蟹 360 只,体质量平均为  $(32.7 \pm 1.4)\text{ g}$ ,随机放养于 12 个养殖网箱中,每个网箱各 30 只实验蟹,按体质量 3%设置饲料投喂量。正式养殖试验持续 42 d,其中,3 个处理组分别以连续投喂 7 天添加特定含量肽聚糖的基础饲料和 7 天基础饲料为 1 个投喂周期,对照组在养殖期间始终投喂基础饲料;一天 2 次的投喂时间分别为 8:00 和 18:00,每 14 d 对实验蟹进行称重、测量甲长和甲宽、调整饲料投喂量。

试验选用的中华绒螯蟹配合饲料购自天津某水产饲料公司,基础饲料基本营养成分实测值为:粗蛋白 37.3%、粗脂肪 10.6%、粗灰分 5.6%、赖氨酸 1.8%。

### 2.3. 采样与检测

在养殖第 14 d、28 d、42 d 随机采集 3 个处理组和 1 个对照组中各 3 只实验蟹的肝胰腺样品,按照 1:9 体积比加入 0.85%生理盐水进行匀浆,于  $4^{\circ}\text{C}$  1500 rpm 离心 30 min,吸取上清液于离心管中,分装后置于液氮冷冻保存,上清液用做酶活力的测定。按照南京建成酶活试剂盒说明书使用酶标仪(TECAN)进

行实验蟹肝胰腺样品总蛋白含量以及超氧化物歧化酶(SOD)、溶菌酶(LZM)、酸性磷酸酶(ACP)、碱性磷酸酶(ALP)酶活测定, 按其标准步骤, 在 96 孔酶标板中加样, 用酶标仪进行微量测定, 样品及试剂的加样量为标准步骤加样量的 1/10; 100  $\mu$ l 粗酶液在 37℃与底物作用 30 min 产生 1 mg 酚定义为一个单位。用 Bradford 法测定粗酶液中的蛋白浓度。酶活力定义为每克蛋白所含的单位。

2.4. 免疫保护效果实验

随机选择 1.2 中养殖 42 d 实验蟹各 30 只于室内水族箱(88 cm × 50 cm × 73 cm)中, 对实验蟹投喂不同含量肽聚糖饲料 7 d 后, 用浓度为 10<sup>6</sup> CFU/mL 副溶血弧菌注射实验蟹第三步足基部, 注射量 0.1 mL/只, 对照组注射无菌生理盐水, 剂量同免疫组, 饲养水温 26℃~27℃, 记录各组攻毒后 16 d 的死亡情况, 计算相对免疫保护率。攻毒所用的副溶血弧菌菌株由本实验室分离保存, 将菌株于 28℃扩大培养后, 以灭菌生理盐水洗脱, 计数, 然后稀释到实验所需浓度。

2.5. 指标计算

本试验相关指标计算公式如下:

增重率(WG,%)=100×(末重g-初重g)/初重(g);

存活率(SR,%)=100×(结束时试验蟹数量/初始时试验蟹数量);

特定生长率(SGR,%/day)=100×[Ln末均重(g)-Ln初均重(g)]/投喂天数(day);

相对免疫保护率(%)=100×[1-(处理组死亡率/对照组死亡率)]。

2.6. 数理统计方法

用 SPSS 统计软件对所得数据进行方差分析和显著性检验, 若差异显著, 则进行 Tukey 多重比较, 显著性水平为  $p < 0.05$ 。

3. 结果

3.1. 生长指标

经过 42 d 养殖试验, 中华绒螯蟹幼蟹整体随着饲料中肽聚糖添加量的提高, 实验蟹甲长、甲宽、体质量、增重率(WG)、特定生长率(SGR)、存活率(SR)均呈先升后降趋势(表 1)。125 mg/kg 肽聚糖组中实验蟹以上 6 项指标达到最大; 投喂未添加肽聚糖的对照组实验蟹以上指标均为最小值。

Table 1. Difference of growth indices of *Eriocheir sinensis* for groups  
表 1. 中华绒螯蟹生长指标差异

| 处理组             | 甲长/cm       | 甲宽/cm       | 体质量/g        | 增重率/%         | 特定生长率/%     | 存活率/% |
|-----------------|-------------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------|
| 对照组             | 4.13 ± 0.15 | 4.37 ± 0.15 | 60.73 ± 8.11 | 94.91 ± 3.33  | 1.49 ± 0.38 | 90.00 |
| 62.5 mg/kg 肽聚糖组 | 4.46 ± 0.21 | 4.83 ± 0.21 | 78.23 ± 4.12 | 137.53 ± 4.07 | 2.08 ± 0.34 | 93.33 |
| 125 mg/kg 肽聚糖组  | 4.73 ± 0.26 | 5.06 ± 0.17 | 88.5 ± 7.54  | 196.29 ± 7.87 | 2.59 ± 0.52 | 97.78 |
| 250 mg/kg 肽聚糖组  | 4.34 ± 0.17 | 4.52 ± 0.17 | 64.9 ± 1.93  | 107.27 ± 7.53 | 1.83 ± 0.77 | 95.56 |

### 3.2. 肝胰腺组织酶活指标

使用含肽聚糖饲料喂养中华绒螯蟹 42 d 后, 各处理组中华绒螯蟹肝胰腺组织中蛋白浓度的测定结果见图 1。各处理蛋白浓度随时间呈缓慢递增趋势; 与对照组相比, 125 mg/kg 肽聚糖组和 250 mg/kg 肽聚糖组的蟹蛋白浓度第 42 天最高( $p < 0.05$ ), 且高于 250 mg/kg 肽聚糖组; 62.5 mg/kg 肽聚糖组呈现先缓慢递增, 之后无明显递增趋势。各处理组中华绒螯蟹肝胰腺组织 SOD 活力与对照组相比(图 2), 62.5 mg/kg 肽聚糖组、125 mg/kg 肽聚糖组和对对照组随时间呈递减趋势, 第 14 天时达到峰值( $p < 0.05$ ); 250 mg/kg 肽聚糖组呈先升后降趋势, 第 28 天时达到峰值( $p < 0.05$ ), 且 125 mg/kg 肽聚糖组峰值高于其它组。各处理组中华绒螯蟹肝胰腺组织 LZM 活力均呈递减趋势(图 3), 且 125 mg/kg 肽聚糖组均显著高于同时间段内其它组( $p < 0.05$ )。各处理组中华绒螯蟹肝胰腺组织 ALP 活力显示(图 4), 62.5 mg/kg 肽聚糖组、125 mg/kg 肽聚糖组和对对照组呈先降后增趋势, 250 mg/kg 肽聚糖组呈递增趋势。各处理组中华绒螯蟹肝胰腺组织 ACP 活力均呈递增趋势, 至第 42 天时达极值(图 5), 且 125 mg/kg 肽聚糖组均显著高于同时间段内其它组( $p < 0.05$ )。

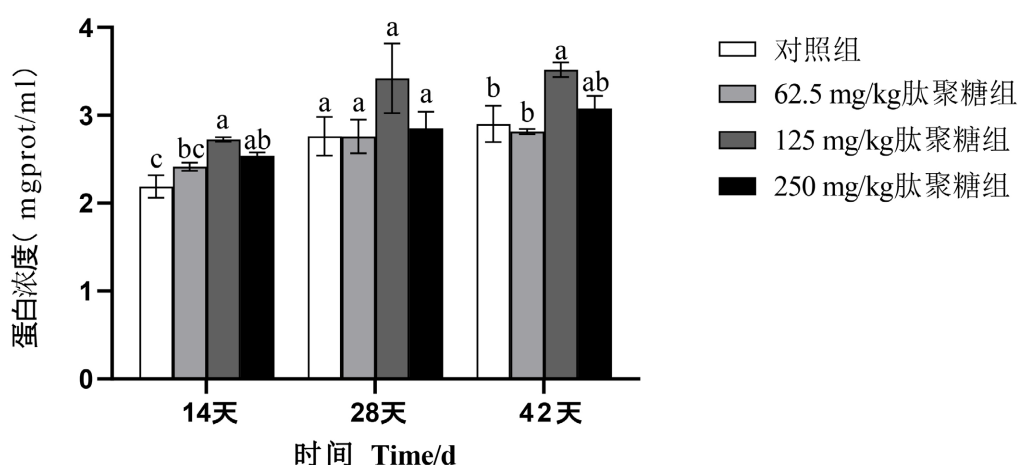


Figure 1. Effect of peptidoglycan on protein concentration of *Eriocheir sinensis*

图 1. 肽聚糖对中华绒螯蟹蛋白浓度的影响

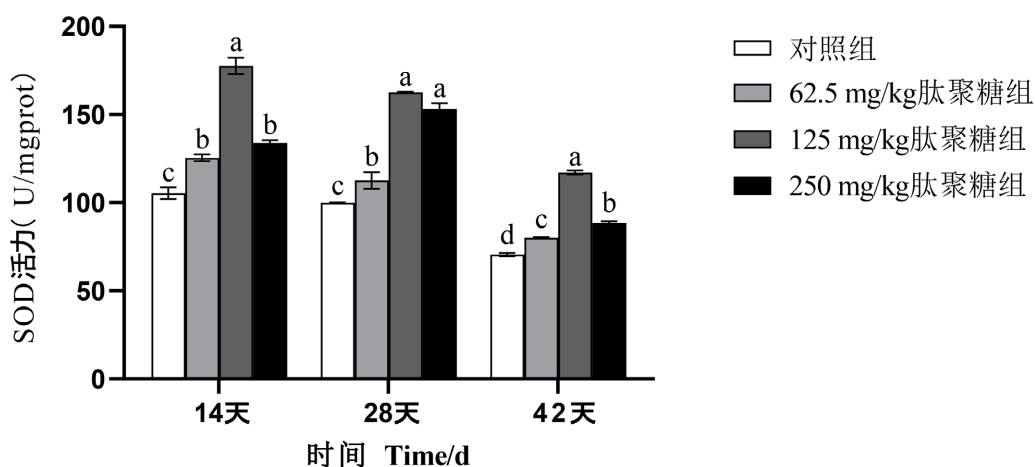
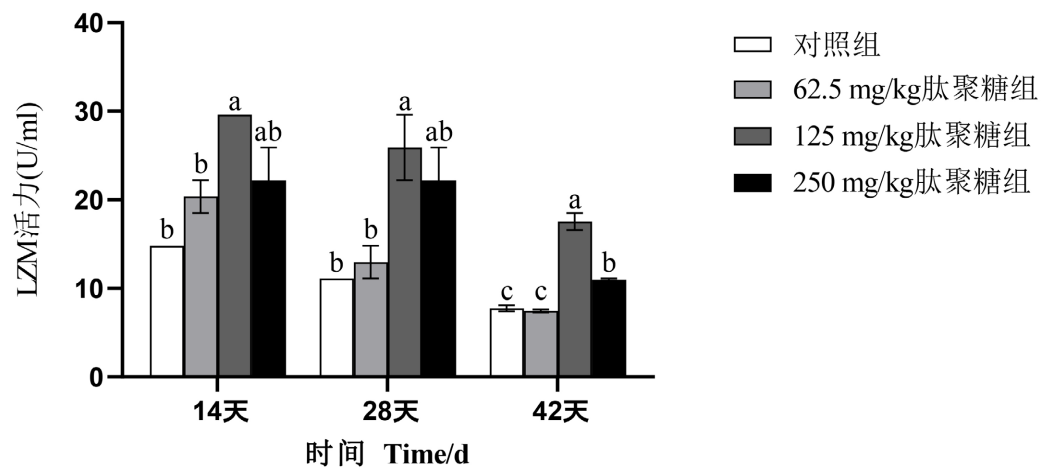
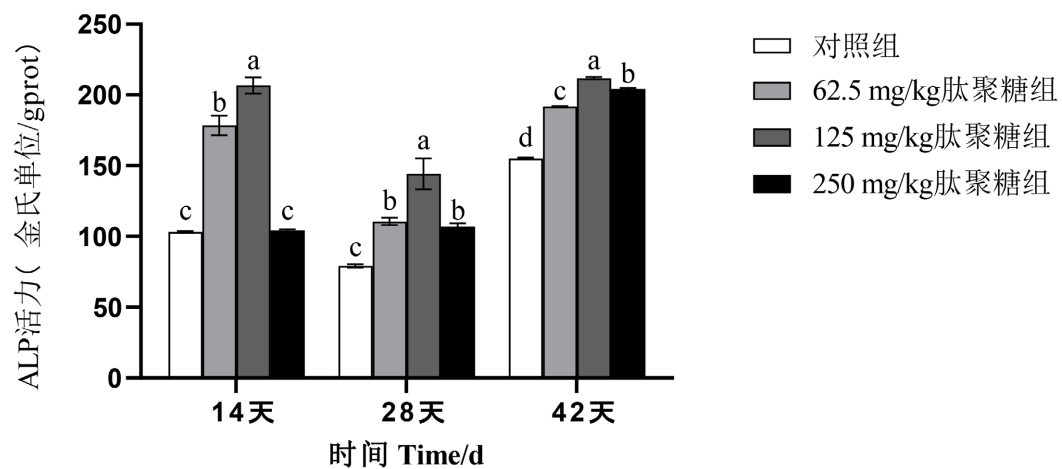


Figure 2. Effect of peptidoglycan on SOD activity of *Eriocheir sinensis*

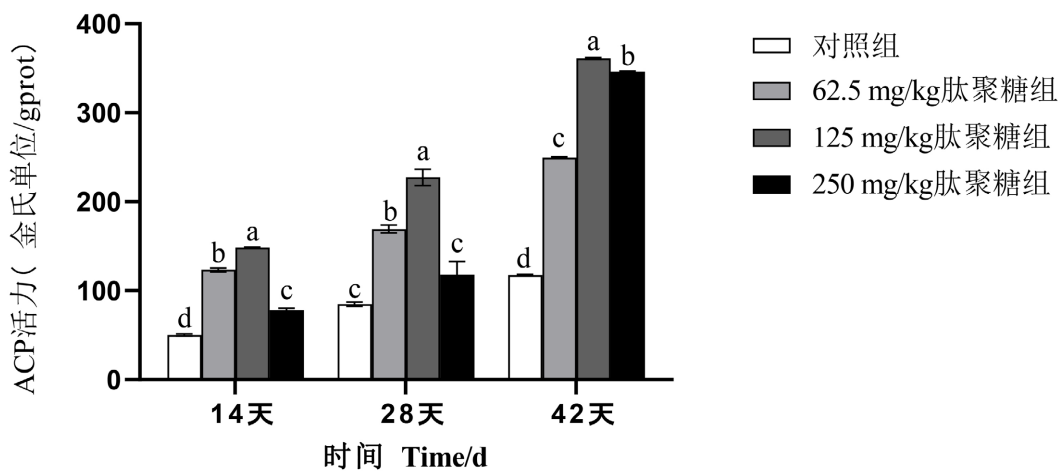
图 2. 肽聚糖对中华绒螯蟹 SOD 活力的影响



**Figure 3.** Effect of peptidoglycan on LZM activity of *Eriocheir sinensis*  
**图 3.** 肽聚糖对中华绒螯蟹 LZM 活力的影响



**Figure 4.** Effect of peptidoglycan on ALP activity of *Eriocheir sinensis*  
**图 4.** 肽聚糖对中华绒螯蟹 ALP 活力的影响



**Figure 5.** Effect of peptidoglycan on ACP activity of *Eriocheir sinensis*  
**图 5.** 肽聚糖对中华绒螯蟹 ACP 活力的影响

### 3.3. 攻毒感染实验

含肽聚糖实验饲料喂养中华绒螯蟹 42 d 后, 进行副溶血弧菌注射感染实验, 感染期间各组存活率的统计结果见图 6。对照组感染后, 第 2 天即出现死亡情况, 10 d 内死亡率急剧增加, 第 11 天减缓, 第 14 天达到平稳期, 16 d 内的存活率仅有 10%。而各实验组在第 3 天出现死亡, 16 d 内的存活率分别为 22.20%、44.40%和 20%。通过计算处理组相对免疫保护率, 62.5 mg/kg 肽聚糖组、125 mg/kg 肽聚糖组、250 mg/kg 肽聚糖组的相对免疫保护率分别为 13.56%、38.22%、11.11%。

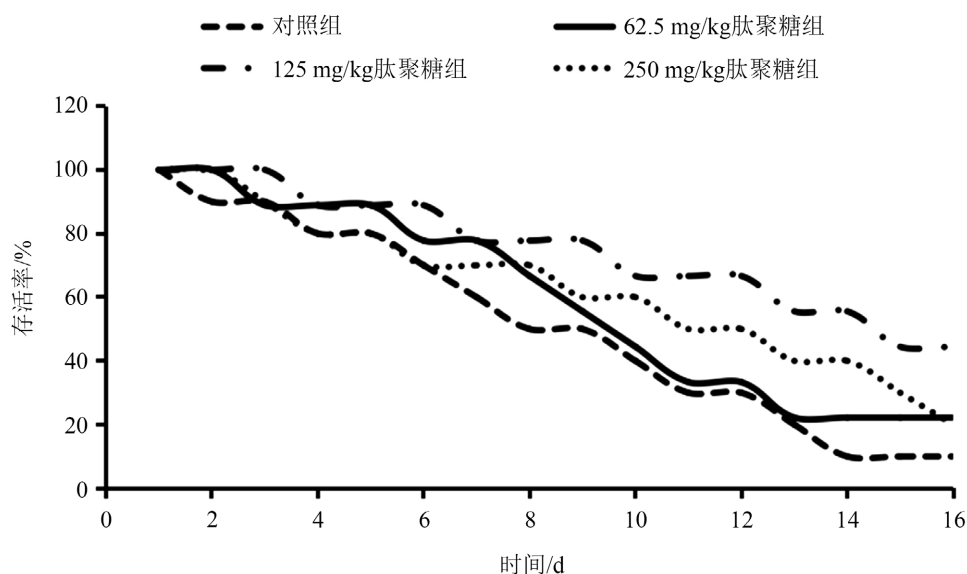


Figure 6. Survival rate of *Eriocheir sinensis* challenged with *Vibrio parahaemolyticus* in 16 days  
图 6. 副溶血弧菌感染 16 d 内中华绒螯蟹存活率

## 4. 讨论

甲壳动物作为无脊椎动物, 缺乏脊椎动物所具有的特异性免疫功能, 其免疫反应依赖于非特异性免疫机制。非特异性免疫能力、机体抗病能力是衡量甲壳动物非特异性免疫能力的重要指标。中华绒螯蟹具有非特异性免疫能力已经被诸多学者所证明, 这为非特异性免疫制剂在中华绒螯蟹中发挥作用提供了生理基础和条件。

本实验中, 饲喂不同肽聚糖含量的中华绒螯蟹生长指标均存在明显变化, 投喂未添加肽聚糖饲料的中华绒螯蟹在 42 d 养殖周期后呈现最小的甲长、甲宽、体质量、增重率、特定生长率和存活率, 而添加肽聚糖后其生长性能均有不同程度的改善, 其中, 肽聚糖添加量为 125 mg/kg 处理组中华绒螯蟹各项指标最优, 说明饲料中添加适量肽聚糖可改善中华绒螯蟹的生长性能, 这与张春晓等[15]经过 8 周生长实验, 在饲料中适量添加肽聚糖可促进大黄鱼(*Larimichthys crocea*)生长、提高特定生长率、降低饲料系数的实验结果相类似。关于肽聚糖促进生长的最适添加量, 不同研究者得到不同的结论, 这可能与实验对象的种类、肽聚糖的纯度和来源不同有关。关于肽聚糖促生长的机理目前仍未有确切结论。有关哺乳动物研究表明, 肽聚糖可以诱导体内一氧化氮产生, 一氧化氮可通过调节胃黏膜血流量及促进胃粘液分泌起到黏膜保护作用, 有利于溃疡愈合; 同时一氧化氮能促进和调节胃酸和胃蛋白酶分泌, 提高硬要物质利用率, 从而达到促生长作用。但对水产动物促生长的机理是否与一氧化氮有关仍不清晰, 有待进一步证实。

刘春晓[16]研究发现用肽聚糖对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)进行肌肉注射, 注射后发现 SOD

活力显著提高。周进等[17]用肽聚糖添加量 3840 mg/kg 的饲料投喂牙鲆(*Paralichthys olivaceus*), 发现牙鲆血细胞吞噬能力、血清溶菌酶活力和替代途径补体活力显著提高。张璐[18]等研究发现在饲料中添加 500 mg/kg 肽聚糖可以显著提高鲈鱼(*Perca fluviatilis*)白细胞的吞噬指数、血清溶菌酶活力和替代途径补体活力, 并且随着鲈鱼白细胞吞噬指数、血清溶菌酶和替代途径补体活力的显著上升。陈国福等[19]研究发现肽聚糖不但能显著提高牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)肝脏内的 ACP 活性, 并能显著提高肾脏及心脏的 ALP 活性。本研究中, 饲料中添加 125 mg/kg 肽聚糖显著提高了中华绒螯蟹肝胰腺组织中蛋白浓度、ALP 活力和 ACP 活力, 中华绒螯蟹对副溶血弧菌的抵抗能力也显著增强。中华绒螯蟹为较低等的无脊椎动物, 其特异性免疫机制非常不完善, 因此, 非特异性免疫在蟹类的免疫防御中具有较为重要的作用。本研究结果显示, 不同肽聚糖添加量下中华绒螯蟹感染副溶血弧菌后的存活率明显不同, 对照组的存活率最低, 饲料中添加肽聚糖对中华绒螯蟹存活率有明显的改善。研究表明饲料中添加肽聚糖可提高中华绒螯蟹非特异性免疫力, 增强其对外源病害的抵抗能力。这与 Boonyaratpalin 等[20]对斑节对虾(*Penaeus monodon*)的研究结果相类似, 该研究结果表明斑节对虾口服肽聚糖后, 显著增强了斑节对虾吞噬细胞的吞噬活性, 提高了斑节对虾生长速度和成活率; 与谢警鸿等[21]等对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)研究结果相类似, 该研究结果表明对饲喂含肽聚糖饲料的凡纳滨对虾注射一定浓度的溶藻弧菌, 凡纳滨对虾可抵抗溶藻弧菌感染, 并认为机体免疫力高低与肽聚糖添加量在一定范围内呈正比关系。

本研究条件下, 饲料中添加适量的肽聚糖可以提高中华绒螯蟹幼蟹的生长性能, 提高机体非特异性免疫能力、抗菌能力。综合饲料中肽聚糖含量对中华绒螯蟹幼蟹生长及免疫的影响, 中华绒螯蟹幼蟹饲料中肽聚糖建议添加量为 125 mg/kg。说明肽聚糖是一种有效的免疫增强剂, 随着不断深入的研究, 免疫增强剂有望得到进一步的开发和应用, 降低了中华绒螯蟹等淡水养殖品种的发病率, 实现养殖产业的可持续发展。

## 基金项目

本研究受天津市科技计划项目(22YFZCSN00200)资助。

## 参考文献

- [1] 农业部渔业渔政局. 中国渔业统计年鉴 2021 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- [2] Chang, C.F., Chen, H.Y., Su, M.S., et al. (2000) Immunomodulation by Dietary  $\beta$ -1,3-glucan in the Brooders of the Black Tiger Shrimp *Penaeus monodon*. *Fish & Shellfish Immunology*, **10**, 505-514. <https://doi.org/10.1006/fsim.2000.0266>
- [3] Nikl, L., Albright, U.J. and Evelyn, T. (1992) Influence of Seven Immunostimulants on the Immune Response of Coho Salmon to *Aeromonas salmonicida*. *Diseases of Aquatic Organisms*, **12**, 7-12. <https://doi.org/10.3354/dao012007>
- [4] Nikl, L. (1993) Trials with an Orally and Immersion-Administered ( $\beta$ -1,3-glucan as an Immunoprophylactic against *Aeromonas salmonicida* in Juvenile Chinook Salmon *Oncorhynchus tshawytscha*. *Diseases of Aquatic Organisms*, **17**, 191-196. <https://doi.org/10.3354/dao017191>
- [5] Lee, M.H. and Shiau, S.Y. (2003) Increase of Dietary Vitamin C Improves Haemocyte Respiratory Burst Response and Growth of Juvenile Grass Shrimp, *Penaeus monodon*, Fed with High Dietary Copper. *Fish & Shellfish Immunology*, **14**, 305-315. <https://doi.org/10.1006/fsim.2002.0438>
- [6] 王秀华, 黄捷, 宋晓玲. 免疫增强剂-肽聚糖在对虾养殖中的应用[J]. 渔业科学进展, 2003, 24(1): 69-74.
- [7] Robertsen, B. (1999) Modulation of the Non-Specific Defence of Fish by Structurally Conserved Microbial Polymers. *Fish & Shellfish Immunology*, **9**, 269-290. <https://doi.org/10.1006/fsim.1998.0186>
- [8] 陈国福, 宋晓玲, 黄捷, 等. A3 $\alpha$ -肽聚糖对凡纳滨对虾磷酸酶及细胞内酚氧化酶活性的影响[J]. 渔业科学进展, 2007, 28(1): 59-64.
- [9] 刘永贵, 李义, 王玥, 等. 嗜水气单胞菌微胶囊疫苗对中华绒螯蟹免疫机能的影响[J]. 饲料工业, 2009(8): 24-27.
- [10] 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.

- 
- [11] Yang, Z., Pan, H. and Sun, H. (2007) The Immune Response and Protective Efficacy of Oral Alginate Microparticle *Aeromonas sobria* Vaccine in Soft-Shelled Turtles (*Trionyx sinensis*). *Veterinary Immunology and Immunopathology*, **119**, 299-302. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2007.05.011>
- [12] Itami, T., Asano, M., Tokushige, K., *et al.* (1998) Enhancement of Disease Resistance of Kuruma Shrimp, *Penaeus japonicus*, after Oral Administration of Peptidoglycan Derived from *Bifidobacterium thermophilum*. *Aquaculture*, **16**, 277-288. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00193-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00193-8)
- [13] Kono, T. and Sakai, M. (2001) The Analysis of Expressed Genes in the Kidney of Japanese Flounder, *Paralichthys olivaceus*, Injected with the Immunostimulant Peptidoglycan. *Fish & Shellfish Immunology*, **11**, 357-366. <https://doi.org/10.1006/fsim.2000.0314>
- [14] 朱卫卫, 邱德全, 甘桢, 等. 溶藻弧菌肽聚糖对凡纳滨对虾白斑综合征病毒的抑制作用[J]. 广东海洋大学学报, 2015(6): 40-46.
- [15] 张春晓, 麦康森, 艾庆辉, 等. 饲料中添加肽聚糖对大黄鱼生长和非特异性免疫力的影响[J]. 水产学报, 2008, 32(3): 411-416.
- [16] 刘春晓. 溶藻弧菌肽聚糖对凡纳滨对虾常用免疫指标、脂肪酸含量及基因表达差异的影响[D]: [硕士学位论文]. 湛江: 广东海洋大学, 2014.
- [17] 周进, 宋晓玲, 黄健, 等. 牙鲆口服 A3 $\alpha$ -肽聚糖最佳投喂方案的选择[J]. 渔业科学进展, 2005, 26(4): 19-25.
- [18] 张璐, 艾庆辉, 麦康森, 等. 肽聚糖对鲈鱼生长和非特异性免疫力的影响[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2008, 38(4): 551-556.
- [19] 陈国福, 张春云, 王光玉, 等. A3 $\alpha$  肽聚糖对凡纳滨对虾幼体酸性磷酸酶和碱性磷酸酶活力的影响[J]. 水产科学, 2008, 27(11): 584-587.
- [20] Boonyaratpalin, S. and Boonyaratpalin, M.S.K. (1995) Effects of Peptidoglycan (PG) on Growth, Survival, Immune Response, and Tolerance to Stress in Black Tiger Shrimp, *Penaeus monodon*. *Diseases in Asian Aquaculture*, 469-477.
- [21] 谢警鸿, 邱德全, 刘春晓, 等. 溶藻弧菌肽聚糖对凡纳滨对虾青素、免疫指标及保护率的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2013, 33(1): 50-55.