

DOI: 10.3969/j.issn.2096-8248.2026.01.003

引用格式: 胡振新, 周裕华, 陶冶, 等. 饲料中添加五倍子醇提物对中华绒螯蟹扣蟹生长、抗氧化和免疫性能的影响[J]. 江苏海洋大学学报(自然科学版), 2026, 35(1): 22-29.

饲料中添加五倍子醇提物对中华绒螯蟹扣蟹生长、 抗氧化和免疫性能的影响

胡振新¹, 周裕华², 陶 冶¹, 朱 丹¹

(1. 启东市渔业技术推广站, 江苏 启东 226299;
2. 上海市水产研究所/上海市水产技术推广站, 上海 200433)

摘 要: 五倍子醇提物因其天然、安全和兼具多种生物活性而在绿色水产养殖中展现出应用潜力。通过在基础饲料中分别添加 0% (对照组), 0.25%, 0.5%, 1% 和 2% 的五倍子醇提物, 投喂初始体质量相近的中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 扣蟹 60 d 后, 探究其对生长、抗氧化、免疫及抗病力的影响情况。结果表明: 在生长性能方面, 0.5% 和 1% 添加组的平均体质量在养殖中后期均显著高于对照组 ($P<0.05$), 其中 0.5% 添加组在养殖前期 (15~30 d) 的体质量增长率和特定生长率最高, 并显著高于对照组 ($P<0.05$)。在抗氧化性能方面, 0.5% 添加组肝胰腺的总抗氧化能力和谷胱甘肽过氧化物酶活性显著高于对照组 ($P<0.05$), 而丙二醛含量在 0.25% 和 0.5% 添加组显著降低 ($P<0.05$); 在血淋巴中, 0.5% 添加组的总抗氧化能力同样显著高于其他各组 ($P<0.05$)。在免疫性能方面, 0.5% 添加组的酸性磷酸酶、碱性磷酸酶活性均显著高于对照组 ($P<0.05$), 而 0.5% 添加组的谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性显著低于对照组 ($P<0.05$)。在抗病力方面, 使用嗜水气单胞菌攻毒 96 h 后, 0.25% 和 0.5% 添加组的累积死亡率显著低于对照组 ($P<0.05$)。综上, 在饲料中添加 0.5% 的五倍子醇提物可有效促进中华绒螯蟹扣蟹生长, 增强机体抗氧化与免疫性能, 并提高其对病原的抵抗能力。

关键词: 中华绒螯蟹; 五倍子醇提物; 生长性能; 抗氧化性能; 免疫性能

中图分类号: S963.7 文献标志码: A 文章编号: 2096-8248 (2026) 01-0022-08

Effects of dietary supplementation with gallnut ethanol extract on growth, antioxidant capacity and immune performance of juvenile Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*)

HU Zhenxin¹, ZHOU Yuhua², TAO Zhi¹, ZHU Dan¹

(1. Qidong Fishery Technology Promotion Station, Qidong 226299, China;
2. Shanghai Fisheries Research Institute/Shanghai Fisheries Technical Extension Station, Shanghai 200433, China)

Abstract: Gallnut ethanol extract demonstrates application potential in green aquaculture due to its natural origin, safety, and multiple biological activities. This study investigated the effects of dietary gallnut ethanol extract on growth, antioxidant capacity, immune performance, and disease resistance in juvenile Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*). Crabs with similar initial body weights were fed for 60 days

收稿日期: 2025-12-12; 修订日期: 2025-12-25

基金项目: 启东市水产养殖病害测报项目; 2025 年乡村振兴专项资金项目 (通财农指【2025】26 号)

作者简介: 胡振新, 工程师, 硕士, 研究方向为水产经济动物健康养殖, (E-mail) 583984965@qq.com。

通信作者: 周裕华, 高级工程师, 硕士, 研究方向为海水鱼类遗传育种及养殖, (E-mail) zhouyuhua.918@126.com。

with basal diets supplemented with 0% (control), 0.25%, 0.5%, 1%, and 2% gallnut ethanol extract. The results indicated that: regarding growth performance, the average body weights of the 0.5% and 1% supplementation groups were significantly higher than those of the control group during the mid to late stages of the culture period ($P<0.05$). Specifically, the 0.5% group exhibited the highest weight gain rate and specific growth rate during the early stage (15~30 days), which were significantly greater than the control ($P<0.05$). For antioxidant capacity, the 0.5% supplementation group showed significantly higher total antioxidant capacity and glutathione peroxidase activity in the hepatopancreas compared to the control ($P<0.05$). Malondialdehyde content was significantly lower in the 0.25% and 0.5% groups ($P<0.05$). In the hemolymph, the total antioxidant capacity of the 0.5% group was also significantly higher than all other groups ($P<0.05$). In terms of immune performance, the activities of acid phosphatase and alkaline phosphatase were significantly higher in the 0.5% group compared to the control ($P<0.05$), while alanine aminotransferase and aspartate aminotransferase were significantly lower in the 0.5% group than in the control ($P<0.05$). Concerning disease resistance, the cumulative mortality at 96 hours post-challenge with *Aeromonas hydrophila* was significantly lower in the 0.25% and 0.5% groups than in the control group ($P<0.05$). In conclusion, dietary supplementation with 0.5% gallnut ethanol extract effectively promotes growth, enhances antioxidant and immune capabilities, and improves resistance against pathogenic infection in juvenile Chinese mitten crabs.

Key words: *Eriocheir sinensis*; gallnut ethanol extract; growth performance; antioxidant capacity; immune performance

0 引言

中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*), 俗称大闸蟹, 是我国最具经济价值的淡水养殖蟹类, 其养殖产业已成为沿江沿河地区乡村振兴和农民增收的重要支柱产业^[1-2]。养殖过程通常分为扣蟹(一龄幼蟹)培育和成蟹养殖两个主要阶段。其中扣蟹养殖是整个产业体系的基石, 优质扣蟹的稳定供应是获得高产、大规格成蟹的根本保障, 直接关系到后续成蟹养殖的产量、规格和经济效益^[3]。目前, 在规模化、集约化的扣蟹养殖过程中, 配合饲料因其营养全面、投喂方便、利于水质管理、可减少天然饵料依赖等显著优点得到全面推广和应用^[4]。同时, 随着智慧渔业的快速推进, 无人投喂船等智能化装备的普及率显著提高, 为实现精准、高效的养殖管理提供了强大技术支撑^[5]。然而, 在池塘高密度养殖环境下, 尤其是在夏季高温季节, 养殖水体环境波动剧烈; 加之若水花生等水生植物种植管理不当(如覆盖过密), 导致水体自净能力下降、底层溶氧不足, 或在养殖中后期因频繁“梳理”(清理与收割)水花生而产生强烈的人为干扰。这些环境与操作应激源极易对扣蟹造成惊

吓、机械损伤乃至继发细菌感染, 导致应激性蜕壳、免疫力下降和生长受阻, 最终引发显著的“损蟹”现象, 制约了养殖效益进一步提升^[6]。因此, 探寻有效的营养策略以增强扣蟹自身抗应激能力和免疫水平, 成为亟待解决的关键问题。

中草药饲料添加剂因其天然、低毒、无残留且不易产生耐药性等优点, 在现代绿色健康养殖中展现出广阔的应用前景^[7]。五倍子 (*Galla Chinensis*) 作为传统中药, 富含鞣酸(单宁酸)、没食子酸、多糖、黄酮等多种活性成分, 具有抗菌、抗病毒、抗炎、收敛和抗氧化等多种药理功效^[8]。在水产养殖领域, 已有研究表明, 在鳙鱼 (*Aristichthys nobilis*)^[9]、大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*)^[10]、凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*)^[11] 的饲料中添加适量五倍子, 能显著改善其生长性能, 增强非特异性免疫功能, 并有效提升机体总抗氧化能力, 缓解由不良环境引起的氧化损伤。这些研究结果为五倍子作为一种潜在绿色饲料添加剂应用于水产动物养殖提供了有力的理论依据和实践借鉴。然而, 关于五倍子对中华绒螯蟹扣蟹阶段的影响, 尚缺乏系统性的深入研究。

基于上述产业需求与研究空白, 本研究旨在系

统评价在配合饲料中添加不同水平的五倍子对中华绒螯蟹扣蟹生长性能(体质量增长率、特定增长率)、抗氧化能力(总抗氧化能力、超氧化物歧化酶、丙二醛等)以及免疫指标(酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、谷草转氨酶、谷丙转氨酶等)的综合影响。本研究结果期望能够明确五倍子作为饲料添加剂在中华绒螯蟹扣蟹健康养殖中的应用效果与适宜添加量,为开发绿色、安全、高效的环保型饲料配方和功能性饲料添加剂提供科学的数据支持与新的思路,从而助力于增强扣蟹体质、减少养殖过程中的损耗,推动中华绒螯蟹养殖业的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 实验饲料制备

将市购的优质五倍子洗干净后粉碎过60目筛。称取50g五倍子粉末于500mL甲醇中,于60℃恒温水浴锅中回流提取4次,每次2h。合并两次提取液,经旋转蒸发仪(40℃)浓缩后,置于真空冷冻干燥机中制成干浸膏,于-20℃密封避光保存备用^[12]。以“澳华蟹安康”中华绒螯蟹扣蟹专用配合饲料(粗蛋白含量≥38%,粗脂肪含量≥5%)为基础饲料,将基础饲料粉碎过60目筛备用。随后,分别称取五倍子醇提物,以占饲料干质量0.25%,0.5%,1%和2%的比例与基础饲料粉末充分混合10min。逐次加30%蒸馏水进行混合10min,使用双螺杆制粒机下重新制粒(粒径2.0mm),经自然风干后,密封装袋,置于-20℃冰柜中保存待用。

1.2 实验设计及养殖管理

健康的中华绒螯蟹扣蟹购自江苏省启东市龙泰蟹苗养殖基地。于实验室内循环水养殖系统暂养7d以适应环境后,挑选规格整齐、附肢完整、活力旺盛的个体,初始平均体质量为(3.54±0.24)g。随机分配至15个100L的玻璃水箱(长×宽×高=80cm×50cm×50cm)中,每个玻璃水箱放养30只扣蟹,玻璃水箱内放置PVC波纹板用于扣蟹躲避。实验共设置5个处理组,分别为对照组、0.25%醇提物组、0.5%醇提物组、1%醇提物组和2%醇提物组,每组设置3个重复。养殖期间,每日于8:00和15:00各投喂一次,做到饱食投喂,投喂1h后吸出残饵。每天检查养殖系统是否存在蜕掉的蟹壳,如有则及时清理,确保养殖系统正常运转。整个系统保持连续充气增氧,溶解氧维持在6.5mg/L以上,水温控制在25~28℃,pH为7.5~8.0,氨氮质量浓度低于0.05mg/L。

养殖实验共计进行60d。

1.3 样品采集与指标测定

1.3.1 生长性能

实验开始后每20d进行一次生长打样。打样时收集每个玻璃水箱中所有存活的中华绒螯蟹扣蟹并准确计数,干毛巾擦掉甲壳水分后,用电子天平精准称质量,据此计算每个组的平均体质量。打样完毕后计算体质量增长率(weight growth rate, WGR)和特定增长率(specific growth rate, SGR)。上述指标采用以下公式计算:

$$\text{体质量增长率 WGR} = [(W_t - W_{t-1}) / W_{t-1}] \times 100\%,$$

$$\text{特定增长率 SGR} = (\ln W_t - \ln W_{t-1}) / D \times 100\%.$$

式中: $t-1$ 和 t 均为采样时间(d), W_{t-1} 和 W_t 分别为 $t-1$ 和 t 时中华绒螯蟹的平均体质量(g), D 为间隔时间(d)。

1.3.2 抗氧化和免疫性能

养殖实验最后一次生长测定结束后,进行生理学指标测定和采样。首先从每个玻璃水箱内取4只在平均体质量附近的扣蟹,随后使用一次性注射器从步足基部抽取1mL血淋巴,完毕后使用镊子和剪刀进行解剖,取出完整肝胰腺置于2mL冻存管中,血淋巴和肝胰腺保存在-20℃冰箱内。准确称取0.2g肝胰腺装入2mL离心管中,加入1mL预冷生理盐水。然后用微型匀浆器(型号T10B,德国IKA公司生产)匀浆30s后,在4℃,12000r/min条件下离心20min,取中层清液再次离心,最后取中间清液用于生理代谢分析。采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒,测定肝胰腺组织中的总超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶、丙二醛、总抗氧化能力、酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、谷丙转氨酶、谷草转氨酶,具体测定方法参照试剂盒说明书。

从冰箱中取出血淋巴并在4℃冰箱进行解冻(约30min),解冻后采用微型匀浆器(型号T10B,德国IKA公司生产)进行匀浆1min,在4℃,12000r/min条件下离心20min,取上清液(血清)待测。采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒,测定血淋巴中的总超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶、丙二醛、总抗氧化能力、酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、谷丙转氨酶、谷草转氨酶,具体测定方法参照试剂盒说明书。血蓝蛋白含量测定参考Nickerson等^[13]的方法,用Tris-Ca缓冲液(50mmol/L Tris-HCl+10mmol/L CaCl₂, pH=8.0)将血清稀释70倍后,在335nm波长下比色测定OD值, Hc质量浓度(mg/mL)=

3.717×OD_{335 nm}× 稀释倍数。

1.3.3 抗病力

生长和生理采样结束后, 进行嗜水气单胞菌攻毒实验。从每个玻璃水箱中随机选择 20 只扣蟹用于该实验, 每组共 60 只。首先进行预试验, 预试验中攻毒的菌液浓度分别为 10⁷, 10⁶, 10⁵, 10⁴, 10³ cfu/g (菌悬液体积剂量为 2 μL/g), 每组分为 3 个重复, 每个重复 5 只扣蟹, 根据实验数据采用 Bliss 法计算半致死数量。根据预试验结果, 采取最低全致死浓度攻击所有实验组, 同样每组分为 3 个重复, 每个重复 10 只扣蟹。注射时用干毛巾擦干体表水分, 用酒精棉球从扣蟹第三步足基部附近消毒, 注射按体质量计算的注射嗜水气单胞菌悬液体积, 准确记录好各组体质量、注射体积和菌液浓度。注射后观察记录各组幼蟹死亡情

况, 观察时间持续 7 d, 直到连续 3 d 内基本无死亡个体便停止实验, 分析不同组别扣蟹的抗病能力。

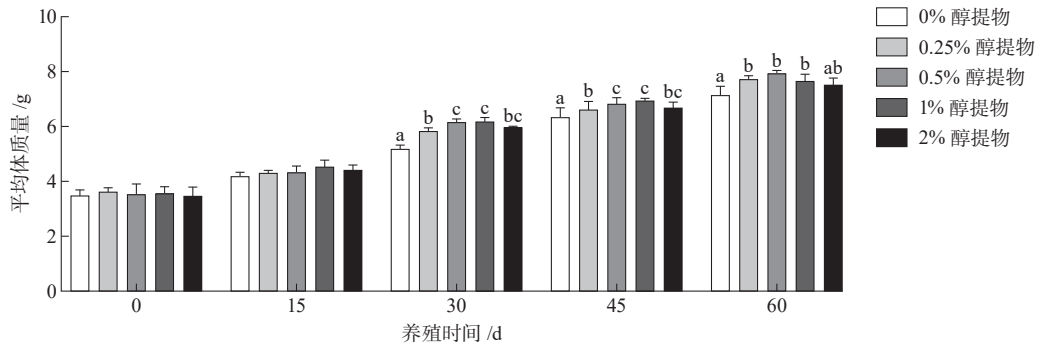
1.4 数据统计分析

采用 SPSS 27.0 软件对试验数据进行分析, 数据均以“平均值±标准差”表示。用 Levene 法进行方差齐性检验, 当不满足齐性方差时进行反正弦或平方根处理。采用 ANOVA 法对结果进行方差分析, 采用 Duncan's 法进行多重比较, 取 $P<0.05$ 为差异显著。在 GraphPad Prism 8 上绘制相关图表。

2 实验结果

2.1 生长性能比较

饲料中添加不同浓度五倍子醇提取物对中华绒螯蟹扣蟹养殖期间的平均体质量的影响如图 1 所示。



注: 方柱上方不同小写字母表示不同组别间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

图 1 饲料中添加不同浓度五倍子醇提取物对中华绒螯蟹扣蟹平均体质量的影响

Fig. 1 Effects of dietary supplementation with different concentrations of gallnut ethanol extract on the average weight of juvenile Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*)

经 60 d 养殖, 各组中华绒螯蟹扣蟹平均体质量均呈上升趋势。在养殖 30 d 后, 各组生长性能开始产生差异, 养殖 30, 45 和 60 d 时, 0.25%, 0.5% 和 1% 醇提取物添加组的平均体质量显著高于对照组 ($P<0.05$), 且整体优于 2% 添加组; 其中 0.5% 和

1% 醇提取物添加组在多数时间点的促生长效果更突出, 2% 醇提取物添加组后期促生长效果减弱。

饲料中添加不同浓度的五倍子醇提取物对中华绒螯蟹扣蟹体质量增长率和特定生长率的影响如图 2 所示。

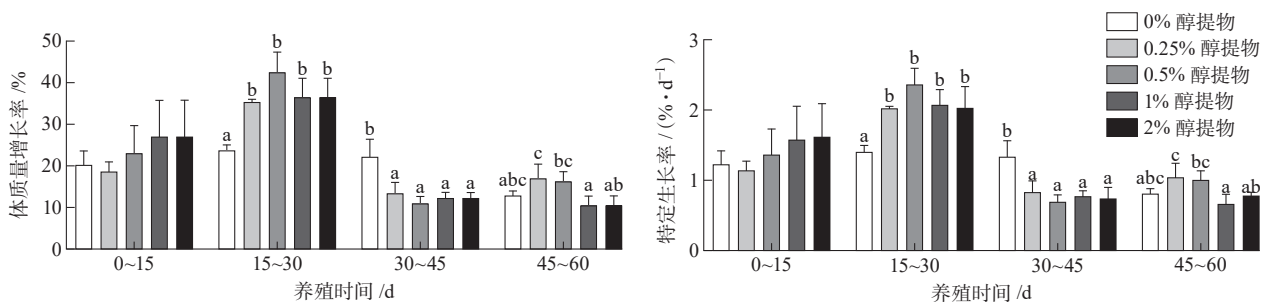


图 2 饲料中添加不同浓度五倍子醇提取物对中华绒螯蟹扣蟹体质量增长率和特定生长率的影响

Fig. 2 Effects of dietary supplementation with different concentrations of gallnut ethanol extract on the weight gain rate and specific growth rate of juvenile Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*)

整体来看,体质量增长率与特定生长率的变化趋势一致,随着养殖时间延长,体质量增长率和特定生长率整体呈现逐渐下降趋势。在15~30 d养殖阶段,0.5%醇提物组的体质量增长率与特定生长率最大,且显著高于对照组($P<0.05$),表明该浓度醇提物对生长的促进作用最显著;而在30~45 d,对照组的体质量增长率、特定生长率均显著高于其他浓度

添加组;在45~60 d,对照组与各浓度醇提物组的体质量增长率、特定生长率均无显著差异,其中0.25%醇提物组的体质量增长率和特定生长率最大,显著高于1%醇提物组和2%醇提物组。

2.2 抗氧化性能比较

饲料中添加不同浓度的五倍子醇提物对中华绒螯蟹扣蟹抗氧化性能的影响如表1所示。

表1 饲料中添加不同浓度的五倍子醇提物对中华绒螯蟹扣蟹抗氧化性能的影响

Table 1 Effects of dietary supplementation with different concentrations of gallnut ethanol extract on the antioxidant capacity of juvenile Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*)

组织	指标	不同浓度醇提物组				
		0%	0.25%	0.5%	1%	2%
肝脏	总超氧化物歧化酶活性/(U·mg ⁻¹)	6.44±0.42 ^c	4.77±0.27 ^a	4.31±0.34 ^a	5.84±0.29 ^b	6.58±0.12 ^c
	谷胱甘肽过氧化物酶活性/(U·mg ⁻¹)	7.10±0.58 ^a	9.94±0.26 ^{bc}	10.66±0.33 ^c	8.59±0.76 ^b	8.32±0.46 ^b
	总抗氧化能力/(U·mg ⁻¹)	4.78±0.15 ^a	7.61±0.94 ^c	7.08±0.82 ^c	6.13±0.56 ^b	5.96±0.32 ^b
	丙二醛含量/(nmol·mg ⁻¹)	2.43±0.15 ^c	1.70±0.26 ^a	1.74±0.14 ^a	2.04±0.18 ^{ab}	1.94±0.23 ^b
血淋巴	总超氧化物歧化酶活性/(U·mL ⁻¹)	59.40±4.19	58.69±3.93	60.93±2.72	59.71±1.73	58.20±3.91
	谷胱甘肽过氧化物酶活性/(U·mL ⁻¹)	75.24±4.30	75.18±2.89	77.33±2.62	75.23±4.17	74.88±3.13
	总抗氧化能力/(U·mL ⁻¹)	13.38±0.98 ^a	17.29±0.62 ^{bc}	18.23±0.44 ^c	16.31±0.70 ^b	15.1±0.89 ^{ab}
	丙二醛含量/(nmol·mL ⁻¹)	8.43±0.45	7.90±0.96	8.14±0.54	8.04±0.28	8.13±0.33

就肝脏抗氧化指标而言,总超氧化物歧化酶活性以0%和2%醇提物组显著较高($P<0.05$),0.25%和0.5%组显著较低($P<0.05$),1%组介于两者之间;谷胱甘肽过氧化物酶活性随醇提物浓度变化呈现规律性变化,0.5%醇提物组显著($P<0.05$)高于其他组,0.25%,1%和2%组依次降低且均显著($P<0.05$)高于0%醇提物组;总抗氧化能力方面,0.25%和0.5%醇提物组显著($P<0.05$)高于0%组,1%和2%组虽有所下降,但仍显著($P<0.05$)高于0%醇提物组;丙二醛含量则以0%醇提物组显著

($P<0.05$)高于0.25%和0.5%组,1%和2%组介于中间且与0%组差异显著($P<0.05$)。

就血淋巴抗氧化指标而言,总超氧化物歧化酶活性、谷胱甘肽过氧化物酶活性和丙二醛含量在各浓度醇提物组与0%组间均无显著差异($P>0.05$);总抗氧化能力以0.5%醇提物组显著最高,0.25%,1%和2%组依次降低且均显著($P<0.05$)高于0%组。

2.3 免疫性能比较

饲料中添加不同浓度五倍子醇提物对中华绒螯蟹扣蟹免疫性能的影响如表2所示。

表2 饲料中添加不同浓度五倍子醇提物对中华绒螯蟹扣蟹免疫性能的影响

Table 2 Effects of dietary supplementation with different concentrations of gallnut ethanol extract on immune performance of juvenile Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*)

组织	指标	不同浓度醇提物组				
		0%	0.25%	0.5%	1%	2%
肝脏	碱性磷酸酶活性/(U·mg ⁻¹)	34.99±1.69 ^a	43.69±1.19 ^c	45.32±1.85 ^c	40.76±1.68 ^b	39.29±1.69 ^b
	酸性磷酸酶活性/(U·mg ⁻¹)	4.26±0.44 ^a	5.56±0.72 ^b	6.93±0.71 ^c	5.74±0.75 ^b	5.26±0.44 ^b
	谷丙转氨酶活性/(U·mg ⁻¹)	6.41±0.18 ^c	4.89±0.88 ^a	5.20±0.36 ^a	6.04±0.79 ^b	6.01±0.58 ^b
	谷草转氨酶活性/(U·mg ⁻¹)	4.32±0.21 ^b	3.78±0.41 ^a	3.84±0.32 ^a	3.61±0.32 ^a	3.72±0.40 ^{ab}
血淋巴	碱性磷酸酶活性/(U·mL ⁻¹)	1.93±0.58	1.81±0.47	1.70±0.35	1.25±0.24	2.32±0.38
	酸性磷酸酶活性/(U·mL ⁻¹)	3.40±0.75	3.90±0.36	3.73±0.71	4.01±1.06	2.90±0.75
	谷丙转氨酶活性/(U·mL ⁻¹)	20.93±2.08 ^c	15.81±1.67 ^a	14.70±1.05 ^a	17.25±1.04 ^b	16.93±1.18 ^{ab}
	谷草转氨酶活性/(U·mL ⁻¹)	25.90±3.75 ^b	17.40±3.36 ^a	17.03±2.71 ^a	20.70±3.56 ^{ab}	22.90±4.75 ^b
	血蓝蛋白活性/(U·mL ⁻¹)	55.93±4.08	56.81±3.97	57.70±4.35	53.09±3.24	54.63±3.38

就肝脏免疫指标而言,碱性磷酸酶活性以0.25%和0.5%醇提物组显著较高($P<0.05$),1%

和2%组介于两者之间且显著($P<0.05$)高于0%组,其中0.5%组活性最高;酸性磷酸酶活性随醇

提物浓度变化呈现规律性变化, 0.5% 醇提取物组显著 ($P<0.05$) 高于其他组, 1%, 0.25% 和 2% 醇提取物组依次降低且均显著 ($P<0.05$) 高于 0% 醇提取物组; 谷丙转氨酶活性方面, 0% 醇提取物组显著 ($P<0.05$) 高于 0.25% 和 0.5% 组, 1% 和 2% 组介于中间且显著 ($P<0.05$) 高于 0.25% 和 0.5% 组; 谷草转氨酶活性则以 0% 醇提取物组显著 ($P<0.05$) 高于 0.25%, 0.5% 和 1% 组, 2% 组介于中间且与 0% 组差异显著 ($P<0.05$)。

就血淋巴免疫指标而言, 碱性磷酸酶、酸性磷酸酶及血蓝蛋白活性在各浓度醇提取物组与 0% 组间均无显著差异 ($P>0.05$); 谷丙转氨酶活性以 0% 醇提取物组显著 ($P<0.05$) 高于 0.25% 和 0.5% 组, 1% 和 2% 组介于中间; 谷草转氨酶活性同样是 0% 醇提取物组显著 ($P<0.05$) 高于 0.25% 和 0.5% 组, 1% 和 2% 组介于中间且显著 ($P<0.05$) 高于 0.25% 和 0.5% 组。

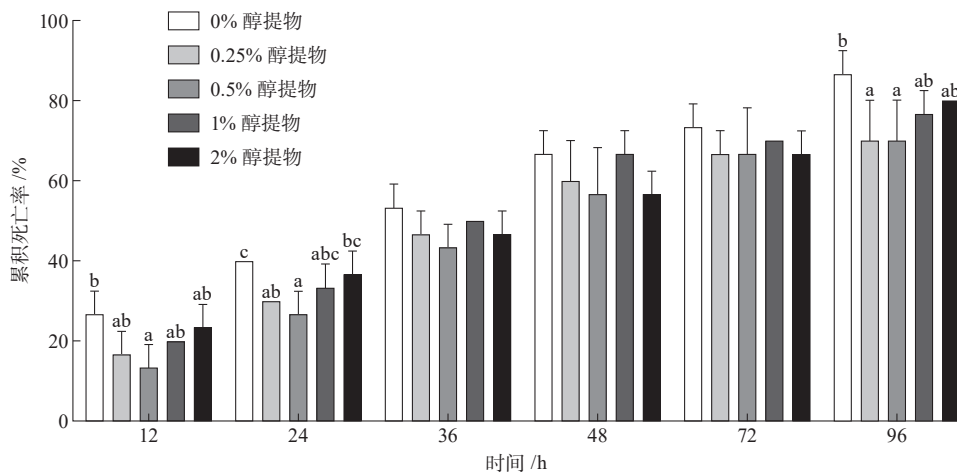


图3 摄食不同浓度五倍子醇提取物的扣蟹在攻毒后累积死亡率比较

Fig. 3 Comparison of dietary gallnut ethanol extract concentration on cumulative mortality of juvenile crabs after challenge test

3 讨论和结论

体质量增长情况是综合评价河蟹苗种质量的核心指标之一, 是其在特定养殖环境下, 摄食、消化、吸收及代谢等一系列生理活动是否高效协同的最终反映^[14]。本研究表明, 饲料中添加五倍子醇提取物对中华绒螯蟹扣蟹生长性能的影响呈现出显著的浓度与时间依赖性。其中, 0.5% 和 1% 添加组在绝大多数时间点均表现出最为显著的促生长效果, 其平均体质量在养殖中后期 (30, 45, 60 d) 持续显著高于对照组, 这些结果明确证实了合适浓度的五倍子醇提取物对扣蟹生长具有稳定且高效的促进作用。本研

2.4 攻毒后累积死亡率比较

饲料中添加不同浓度的五倍子醇提取物后中华绒螯蟹扣蟹的累积死亡率变化情况如图3所示。各实验组扣蟹的死亡主要集中在 12~72 h, 96 h 后死亡率变化趋于平稳。就不同浓度组而言, 0% 醇提取物组在攻毒后 12~96 h 的累积死亡率整体高于 0.25%, 0.5%, 1% 和 2% 醇提取物组; 12 h 时, 0% 醇提取物组累积死亡率最高, 且显著 ($P<0.05$) 高于 0.5% 醇提取物组, 而 0% 醇提取物组与其他各浓度醇提取物组均无显著差异 ($P>0.05$); 24 h 时, 0% 醇提取物组死亡率仍处于较高水平, 且显著 ($P<0.05$) 高于 0.25% 和 0.5% 醇提取物组; 36, 48 和 72 h 这 3 个时间点, 0% 醇提取物组的累积死亡率均最高, 但各组之间均无显著差异 ($P>0.05$)。随着时间延长至 96 h, 0% 醇提取物组累积死亡率依旧最高, 0.25% 和 0.5% 醇提取物组的死亡率显著 ($P<0.05$) 较低。

究结果也与陈嘉声等^[11]在凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 和金燕^[7]在日本沼虾 (*Macrobrachium nipponense*) 中的研究结果相类似, 他们同样证明了五倍子在甲壳动物发育中具有促进生长代谢的作用。在适宜浓度下, 五倍子中核心活性成分可能通过优化肠道菌群结构来增强消化酶活性及改善肠道屏障功能, 从而综合提升饲料营养物质的消化吸收与同化效率, 最终体现为体质量的显著增长^[8, 11]。2% 醇提取物组促生长效果持续减弱, 则进一步印证了高浓度下潜在抗营养作用对生长的抑制性^[15]。五倍子醇提取物作为一种潜在的绿色饲料添加剂, 以 0.5% 至 1% 的添加水平可对中华绒螯蟹扣蟹实现最优的促

生长效益,为后续探究其与机体抗氧化及免疫性能的内在关联奠定了重要基础。

总抗氧化能力、谷胱甘肽过氧化物酶和超氧化物歧化酶、丙二醛等被广泛用作评估甲壳动物机体抗氧化状态的关键生理指标^[16-17]。本研究中相比于对照组添加五倍子醇提取物均表现出较优异的抗氧化性能,这可能是因为五倍子所含的鞣质及没食子酸,其结构中含有多个相邻的酚羟基,能够通过提供氢离子与自由基结合,从而中断自由基链式反应,实现清除自由基的功效^[18-19]。本研究结果表明,五倍子醇提取物对中华绒螯蟹扣蟹抗氧化性能的影响呈现出显著的器官特异性与浓度依赖性,其中,0.5%的添加浓度展现出最为卓越的综合抗氧化效果。在核心代谢器官肝胰腺中,这一优势尤为突出:0.5%醇提取物组的谷胱甘肽过氧化物酶活性显著提高,同时其总抗氧化能力显著增强,而脂质过氧化终产物丙二醛含量则显著降低。这一系列指标表明,0.5%的五倍子醇提取物并非简单地刺激某一种抗氧化酶的活性,而是可能通过其含有的没食子酸、黄酮类等活性成分,高效地清除体内过多的自由基,从而维持氧化应激态的平衡^[11]。在这种理想的抗氧化状态下,机体无需启动总超氧化物歧化酶等第一道防线酶系的过度应激性表达,即可有效抵御氧化损伤,这合理地解释了为何0.5%醇提取物组的总超氧化物歧化酶活性处于较低水平,而代表最终防御效果的总抗氧化能力最高且丙二醛损伤最低。相比之下,对照组由于缺乏外源抗氧化物质的补充,面临着较高的氧化压力,导致丙二醛大量积累;而2%添加组虽诱导了总超氧化物歧化酶活性的应激性升高,但其相对较低的谷胱甘肽过氧化物酶活性和总抗氧化能力则暗示高浓度提取物可能带来潜在毒性,干扰了抗氧化系统的协同运作。在循环系统血淋巴中,0.5%添加组同样拥有最高的总抗氧化能力,进一步印证了其提升机体全身性抗氧化状态的能力。饲料中添加0.5%的五倍子醇提取物能最有效地激活中华绒螯蟹扣蟹的内源性抗氧化系统,显著增强总抗氧化能力并减轻脂质过氧化损伤,这为维持机体健康提供了至关重要的生理基础。

碱性磷酸酶和酸性磷酸酶作为生物体内关键的两种非特异性磷酸水解酶,在机体免疫防御中扮演着重要角色^[20-21]。肝胰腺是甲壳动物免疫与代谢的核心器官,其碱性磷酸酶、酸性磷酸酶活性在0.5%醇提取物组中显著升高,这与碱性磷酸酶、酸性磷酸酶参与

病原体清除及炎症反应调控功能相契合^[22],五倍子提取物的活性成分可刺激肝胰腺免疫应答,促进免疫酶的合成与分泌,从而增强非特异性免疫^[19, 23];谷丙转氨酶、谷草转氨酶作为氨基酸代谢与细胞损伤的标志性酶,其活性越高说明干细胞受损程度越高^[24],对照组活性显著高于五倍子醇提取物组,结合抗氧化结果,提示五倍子醇提取物可通过缓解氧化应激、减轻细胞损伤,改善肝胰腺代谢效率,进而调节转氨酶活性^[25]。血淋巴中谷丙转氨酶、谷草转氨酶活性与肝胰腺呈现相似变化趋势,进一步证明五倍子醇提取物对扣蟹氨基酸代谢与细胞健康的调控作用。综上,适宜浓度的五倍子醇提取物可通过调节肝脏免疫酶活性增强扣蟹非特异性免疫,其作用机制可能与提取物的抗氧化、抗菌活性协同相关,后续需深入探究活性成分与免疫调控的分子通路。

饲料中添加五倍子醇提取物可显著增强水生生物的抗病力已在其他物种中被广泛证明。如摄食1%醇提五倍子饵料的鳙鱼(*Aristichthys nobilis*)对嗜水气单胞菌的感染具有显著的抵抗作用^[9]。本研究攻毒实验中对对照组累积死亡率整体高于各添加组,也证明了饲料中添加五倍子醇提取物可显著增强中华绒螯蟹扣蟹的抗病力。低浓度(0.25%和0.5%)醇提取物组在24h和96h等时间点的死亡率显著低于对照组,这既与五倍子中单宁酸、没食子酸等活性成分的直接抗菌作用有关^[26],也与前期抗氧化、免疫性能的改善存在协同效应有关^[27]。一方面,抗氧化系统清除感染诱导产生的过量活性氧,减轻氧化损伤以维持细胞正常功能;另一方面,免疫酶活性的优化增强了非特异性免疫应答效率,加速了对病原菌的识别与清除。饲料中添加五倍子醇提取物,能通过前期优化中华绒螯蟹扣蟹的免疫与抗氧化基础状态,从而在其遭受病原挑战时提供最为迅速和强大的保护力,最终显著提升其存活率。

本研究表明,在饲料中添加五倍子醇提取物能显著改善中华绒螯蟹扣蟹的生长性能、增强机体抗氧化与免疫能力,并有效提升其对嗜水气单胞菌的抗感染能力。综合各项指标,0.5%的添加水平为最适剂量,其促生长效果最为显著,并能最大程度地激活机体的抗氧化防御系统和非特异性免疫系统。尽管较高添加量(1%和2%)在部分指标上也显示出积极效果,但其促生长效应在养殖后期出现减弱趋势。因此,在中华绒螯蟹扣蟹养殖实践中,推荐在配合饲料中添加0.5%的五倍子醇提取物,作为一种有效

的营养策略,以缓解养殖应激,增强体质,减少“损蟹”现象,从而为扣蟹的健康养殖和产业的可持续发展提供支持。

参考文献:

- [1] 王武,王成辉,马旭洲.河蟹生态养殖[M].2版.北京:中国农业出版社,2013:59-84.
- [2] SUI Liying, ZHANG Fumin, WANG Xiaomei, et al. Genetic diversity and population structure of the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* in its native range [J]. *Marine Biology*, 2009, 156 (8): 1573-1583.
- [3] 范陈伟,姜晓东,成永旭,等.中华绒螯蟹二龄早熟和晚熟品系选育第五代(G5)的生长性能和性腺发育评估[J].*淡水渔业*, 2022, 52 (6): 92-101.
- [4] 刘祥平,朱筛成,梁梓龙,等.黑水虻幼虫、配合饲料及其交替投喂对中华绒螯蟹幼蟹生长性能、肝胰腺色泽和生理代谢的影响[J].*淡水渔业*, 2024, 54 (6): 96-104.
- [5] 黄诗雅,曹玉青,刘佳怡,等.江苏省大闸蟹养殖无人机技术应用现状调研报告[J].*智慧农业导刊*, 2024, 4 (4): 29-32.
- [6] QIU Renjie, CHENG Yongxu, HUANG Xuxiong, et al. Effect of hypoxia on immunological, physiological response, and hepatopancreatic metabolism of juvenile Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* [J]. *Aquaculture International*, 2011, 19 (2): 283-299.
- [7] 金燕.发酵五倍子对日本沼虾生长、抗氧化能力及抗病原菌感染的影响[D].南京:南京农业大学,2021.
- [8] 堂格斯,丁文博,黄艳红,等.五倍子的主要成分、生物学功能及其在水产养殖业中的应用[J].*饲料研究*, 2025, 48 (15): 157-162.
- [9] 耿昕颖,刘蕾,王家祯,等.醇提五倍子对鳊鱼非特异性免疫功能及抗病能力的影响[J].*上海交通大学学报(农业科学版)*, 2015, 33 (6): 87-91.
- [10] 孔秋宏,袁菁菁,周贤君,等.五倍子单宁酸对大口黑鲈生长性能和肠道健康的影响[J].*动物营养学报*, 2024, 36 (1): 451-463.
- [11] 陈嘉声,韦宏杰,杨奇慧,等.五倍子对凡纳滨对虾生长、抗氧化、非特异性免疫及肠道结构的影响[J].*广东海洋大学学报*, 2023, 43 (2): 11-17.
- [12] 玉洁莹,黄琳,徐伟强,等.五倍子醇提物抗石斑鱼虹彩病毒的作用[J].*广东海洋大学学报*, 2024, 44 (6): 10-18.
- [13] NICKERSON K, VAN HOLDE K. A comparison of molluscan and arthropod hemocyanin: I. circular dichroism and absorption spectra [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1971, 39 (4): 855-872.
- [14] 梁梓龙,解志龙,姜晓东,等.中华绒螯蟹“长荡湖1号”选育第二代扣蟹阶段养殖性能研究[J].*水产科技情报*, 2024, 51 (1): 8-14.
- [15] 龚庆芳,吴颖瑞,吕运标,等.饲料中添加五倍子对奥尼罗非鱼生长及血液生化指标的影响[J].*广东农业科学*, 2016, 43 (12): 96-101.
- [16] 李婉莹,于淼淼,彭豫鹏,等.维生素E对脊尾白虾生长及抗氧化酶活性的影响[J].*江苏海洋大学学报(自然科学版)*, 2023, 32 (4): 1-5.
- [17] 左梓臣,朱明,王纯,等.低盐驯化对台湾泥鳅抗氧化能力的影响[J].*江苏海洋大学学报(自然科学版)*, 2024, 33 (1): 1-8.
- [18] 谢晓艳,刘洪涛,张吉,等.没食子酸体外抗氧化作用研究[J].*重庆医科大学学报*, 2011, 36 (3): 319-322.
- [19] 刘蕾.五倍子对鳊鱼消化机能及免疫机能的影响[D].长春:吉林农业大学,2014.
- [20] 刘树青,江晓路,牟海津,等.免疫多糖对中国对虾血清溶菌酶、磷酸酶和过氧化物酶的作用[J].*海洋与湖沼*, 1999, 30 (3): 278-283.
- [21] 罗佳龙,彭莹莹,李泽良,等.一种配合饲料替代杂鱼对三疣梭子蟹蜕壳生长、消化酶和免疫酶活力的影响[J].*浙江海洋大学学报(自然科学版)*, 2019, 38 (3): 187-194.
- [22] XUE Qianggang, RENAULT T. Enzymatic activities in european flat oyster, *Ostrea edulis*, and pacific oyster, *Crassostrea gigas*, hemolymph [J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2000, 76 (3): 155-163.
- [23] 陈慕雁,张秀梅,连建华,等.大菱鲆仔稚鱼期消化酶及碱性磷酸酶活性的变化[J].*中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2005, 35 (3): 483-486.
- [24] 姜晓东,张敏,成永旭,等.育肥饲料中常见类胡萝卜素对中华绒螯蟹雌体卵巢发育、抗氧化免疫性能和组织色泽的影响[J].*水产学报*, 2025, 49 (10): 164-177.
- [25] 惠天朝,施明华,朱荫涓.硒对罗非鱼慢性镉中毒肝抗氧化酶及转氨酶的影响[J].*中国兽医学报*, 2000, 20 (3): 264-266.
- [26] 张辽,姚池蓓,袁梦莹,等.五倍子预防草鱼细菌性烂鳃病效果的研究[J].*畜牧与饲料科学*, 2020, 41 (6): 90-93.
- [27] 汤菊芬,黄瑜,蔡佳,等.中草药复合益生菌制剂对凡纳滨对虾生长、抗病力及水质的影响[J].*广东海洋大学学报*, 2015, 35 (6): 47-52.

(责任编辑:褚金红)