

饲料中不同形式的铜及添加量对凡纳滨对虾 (*Panaeus vannamei*) 生长性能、血清铜蓝蛋白 和生长激素水平的影响*

周 萌¹ 王安利¹ 曹俊明²

(1. 华南师范大学生命科学学院 广州 510631; 2. 广东省农业科学院畜牧研究所 广州 510640)

摘要 在对照饲料中添加不同水平的硫酸铜、富马酸铜和蛋氨酸铜,使硫酸铜组铜离子含量为 32mg/kg,富马酸铜和蛋氨酸铜组铜离子含量分别为 16mg/kg、32mg/kg 和 48mg/kg,共组成 8 种饲料(饲料编号为对照、Sul-32、Fum-16、Fum-32、Fum48、Met-16、Met-32 和 Met-48),饲喂凡纳滨对虾(初重 0.74 ± 0.01 g)8 周。结果表明,饲料中添加三种铜源均能不同程度提高凡纳滨对虾的特定生长率(SGR)、存活率(Survival)和蛋白质效率(PER),降低饲料系数(FCE)。其中, Met-16 和 Fum-32 组的 SGR 显著高于对照组($P < 0.05$), Met-16、Met-32 和 Fum-32 组的 PER 显著高于其它各组($P < 0.05$); 不同铜源对凡纳滨对虾的体组成没有显著影响($P > 0.05$),但 Met-32 组的肝体比(HSI)显著下降($P < 0.05$)。各组间血清铜蓝蛋白(CER)含量差异不显著($P > 0.05$), Met-16 和 Fum-32 组的生长激素(GH)含量则显著高于对照组($P < 0.05$)。本研究结果表明,饲料中三种铜源能不同程度的提高凡纳滨对虾的生长性能,但相同浓度有机铜离子的生物利用率优于无机铜,其顺序为:蛋氨酸铜>富马酸铜>硫酸铜。饲料铜对凡纳滨对虾的促生长作用可能是通过提高体内相关抗氧化酶的活性及刺激生长激素的分泌来实现的。

关键词 凡纳滨对虾,铜,生长,铜蓝蛋白,生长激素

中图分类号 S963.7

20 世纪 70 年代,美国首先将与动物营养有关的微量元素与动物必需营养来源氨基酸结合起来,制成第三代微量元素——氨基酸营养性添加剂,它克服了第一代无机盐第二代简单有机酸盐微量元素的缺点,具有化学性质稳定、生物利用率高、与其它微量元素及维生素拮抗少等优点,可以同时补给动物必需的高效微量元素和限制性氨基酸。大量的科研生产实践表明,氨基酸螯合盐在畜禽养殖业生产中能明显提高动物的生产性能,降低养殖成本,增强免疫机能。但是,由于鱼虾的消化吸收机理与畜禽存在着较大的差别,研究方法不够完善,因此氨基酸螯合盐对水产动物的营养价值一直没有统一的结论(李爱杰等,

1994; 宋进美等, 1994; Paripatananont *et al*, 1995; Apines-Amar *et al*, 2004; 阳会军等, 2001; 董晓慧等, 2006, 2007)。虽然目前氨基酸螯合盐已逐渐替代无机盐应用于高档水产饲料中,但由于成本高、产品质量参差不齐、效果不稳定等因素,限制了其在水产饲料中的进一步推广。铜是甲壳动物血蓝蛋白的重要组分,对虾体内 40%的 Cu^{2+} 存在于血蓝蛋白,对于携氧运输具有重要意义(Owen, 1982)。本研究以我国养殖量最大的经济甲壳动物凡纳滨对虾为研究对象,比较三种不同形式的铜——无机铜、有机酸铜、氨基酸螯合铜及其添加量对凡纳滨对虾生长性能的影响,为铜在对虾饲料中的应用提供理论依据。

* 国家自然科学基金资助项目, 30671628 号; 国家科技支撑计划课题资助, 2007BAD29B04 号。周 萌, 助理研究员, 博士研究生, E-mail: mzhgd@sina.com, fxt2006@tom.com

通讯作者: 王安利, 教授, 博导, E-mail: wanganl@scnu.edu.cn

收稿日期: 2009-05-27, 收修改稿日期: 2009-08-15

1 材料与amp;方法

1.1 实验动物及饲养管理

凡纳滨对虾 (*Penaeus vannamei*) 购自珠海某对虾养殖场, 购回后放置在循环系统(PVC 水族箱, 0.3L/个)中暂养2周, 期间投喂基础饲料(配方见表1), 3次/天, 饱食投喂。试验前, 挑选大小均匀、活泼健康的虾苗(初重 $0.74\pm 0.01\text{g}$), 随机分为8组, 每组设3个重复, 每个重复30尾虾。分别于每天8:00am、16:00pm和22:00pm进行投喂, 每餐投喂量以接近饱食(1h内吃完)为限, 前四周每天按初重的8%投喂, 四周后称重, 按体重的6%投喂直至第八周。试验水源为经沙滤、臭氧消毒的天然海水, 试验期间盐度为4—10, 水温23—30。实验期间通过定期排污、换水及充氧保持溶氧 $>7.0\text{mg/L}$, 氨氮 $<0.2\text{mg/L}$ 。饲养实验结束时, 停止投喂24h, 称重、计数。

1.2 实验饲料

基础饲料配方及营养成分见表1。以基础饲料作

表1 基础饲料配方及营养水平
Tab.1 Formulation and nutritional levels of the basic diet

原料	含量(%)	原料	含量(%)
酪蛋白	36.0	微量元素预混料 ⁴⁾	12.0
明胶	9.0	微晶纤维素	2.0
玉米淀粉	25.0	合计	100.0
鱼油	7.0	粗蛋白(%)	38.48
磷脂油 ¹⁾	1.5	粗脂肪(%)	8.78
胆固醇 ²⁾	0.5	粗灰分(%)	11.79
维生素预混料 ³⁾	7.0	总能(MJ/kg)	4181

1) 磷脂油: 卵磷脂含量50%; 2) 胆固醇: 分析纯; 3) 维生素预混料(g/kg 预混料): V_A 500000 IU/g, 11.43; V_{D_3} 500000 IU/g, 0.71; V_E , 28.57; 硫胺素, 2.86; 核黄素, 4.46; V_{B_6} , 7.44; 泛酸, 11.16; 烟酸, 22.32; $V_{B_{12}}$, 1.43; 生物素, 7.14; 叶酸, 1.49; 肌醇, 22.32; V_C , 61.22; 次粉, 812.97。4) 矿物质预混料(g/kg 预混料): $MgSO_4\cdot 7H_2O$, 102.45; KI, 0.08; $ZnSO_4\cdot 7H_2O$, 4.05; $MnSO_4\cdot 5H_2O$, 2.19; $CoCl_2\cdot 6H_2O$, 0.5; $FeSO_4\cdot 7H_2O$, 16.55; Na_2SeO_4 , 0.004; $Ca(H_2PO_4)_2$, 251.67; 沸石粉, 605.00

为对照, 在其中分别添加不同水平的硫酸铜、富马酸铜和蛋氨酸铜, 使硫酸铜组铜离子含量为32mg/kg, 富马酸铜和蛋氨酸铜组铜离子含量分别为16mg/kg、32mg/kg和48mg/kg, 共组成8种饲料(分别命名为对照、Sul-32、Fum-16、Fum-32、Fum48、Met-16、Met-32、Met-48), 各组饲料铜的添加量及铜离子含量见表2。饲料原料经60目筛粉碎后用混合机混匀, 用双螺杆挤压机挤压成直径为1.0mm的饲料颗粒, 50℃烘干, 冷却后放入密封袋中于-4℃冰箱中保存待用。

1.3 取样与分析测试

实验结束时, 每缸虾称重、计数, 同时每缸取10尾虾, 从围心腔抽取血淋巴, 室温下静置1h后, 3000r/min下离心10min, 抽取离心管上层血清, -20℃下保存待用。血清铜蓝蛋白和生长激素的测定方法如下:

血清铜蓝蛋白(Ceruloplasmin, CER): 邻联大茴香胺法(南京建成生物工程公司试剂盒)。

血清生长激素(Growth hormone, GH): 放射免疫法(美国TPC公司生产的血清生长激素测定试剂盒)。

全虾营养成分测定: 干物质(Dry matter, DM)含量用105℃常压干燥法测定, 粗蛋白(Crude protein, CP)含量用半微量凯氏定氮法测定, 粗脂肪(Crude lipid, CL)含量用索氏抽提法测定, 灰分(Crude ash, CA)含量用550℃高温炉灼烧法测定。

1.4 数据处理

实验数据用SPSS10.0软件进行计算和统计。先作单因子方差分析(one-way ANOVA), 处理间若有显著差异, 再作DUNCAN'S多重比较, $P<0.05$ 表示差异显著, $P<0.01$ 表示差异极显著。

2 结果

2.1 凡纳滨对虾的生长性能

由表3可知, 添加不同铜源及添加量的饲料都能提高凡纳滨对虾的特定生长率(SGR), 但Sul-32、

表2 试验饲料不同形式铜的添加量及 Cu^{2+} 含量

Tab.2 Supplementation of different forms of copper and dietary Cu^{2+} content of experimental diets

剂型	添加量(mg/kg)							
	对照	Sul-32	Fum-16	Fum-32	Fum48	Met-16	Met-32	Met-48
五水硫酸铜	0	125	0	0	0	0	0	0
富马酸铜	0	0	55.3	110.7	166.0	0	0	0
蛋氨酸铜	0	0	0	0	0	88.9	177.8	266.7
Cu^{2+} 含量(mg/kg)	0	32	16	32	48	16	32	48

注: 五水硫酸铜为分析纯, 纯度 $>99\%$; 富马酸铜、蛋氨酸铜为本实验室制备的纯品, 纯度 $>99\%$

Fum-16、Fum-48、Met-32 和 Met-48 组与对照组相比没有显著差异($P>0.05$), Fum-32 组和 Met-16 组则显著高于对照组($P<0.05$)。存活率(Survival rate)以 Met-16 组最高, 显著高于 Fum-48 组和 Met-48 组($P<0.05$)。饲料系数(FCE)的变化趋势和 SGR 基本相反, 以对照组和 Sul-32 组最低, 但各组间差异不显著($P>0.05$)。蛋白质效率(PER)以 Fum-48、Met-16、Met-32 组显著高于其它各组($P<0.05$), Sul-32 和对照组显著低于其他各组($P<0.05$)。

2.2 凡纳滨对虾全虾营养成分及肝体比

由表 4 可见, 尽管添加不同铜源及添加量的饲料对凡纳滨对虾全虾的干物质(DM)、粗蛋白(CP)、粗脂肪(CL)和粗灰分(CA)含量都没有显著影响($P>0.05$), 但可观察到 Sul-32、Fum-16 和对照组的 DM 含量明显低于其它组。肝体比(hepatosomatic index, HSI)以对照组最高, 显著高于 Fum-32、Fum-48、Met-32 和 Met-48 组($P<0.05$); 以 Met-32 组最低, 显著低于 Sul-32、Fum-16、Met-16 和对照组($P<0.05$)。

2.3 凡纳滨对虾血清铜蓝蛋白含量和生长激素水平
由表 5 可知, 添加不同铜源及添加量的饲料提高了凡纳滨对虾血清铜蓝蛋白的含量, 可观察到 Sul-32 和对照组明显偏低, Fum-32 和 Met-16 组明显偏高, 但是各组间没有表现出统计学差异($P>0.05$), 血清生长激素水平以 Fum48、Met-16 组显著高于其它各组($P<0.05$), 但与 Sul-32 没有显著差异($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 饲料铜源及添加量对凡纳滨对虾生长性能和体组成的影响

在本试验中, 发现不同铜源及不同添加量可以不同程度地提高凡纳滨对虾的各项生长性能指标, 其中增重最少的也比对照组高约 6%, 再次证明, 铜对甲壳动物类来说是一种非常重要的微量元素, 它不仅与许多酶(如赖氨酸氧化酶、细胞色素化酶、酪氨酸酶、过氧化物歧化酶等)有关, 还是甲壳动物血清铜蓝蛋白的重要组分, 对于携氧运输具有重要意义

表 3 不同组别的饲料对凡纳滨对虾生长性能的影响

Tab.3 Effects of different diets on growth performance of *P. vannamei*

饲料编号	初重(g)	特定增长率(%)	存活率(%)	饲料系数	蛋白质效率(%)
对照	0.73±0.03	2.65±0.27 ^a	65.56±3.85 ^{abc}	1.72±0.06	0.83±0.07 ^a
Sul-32	0.72±0.02	3.04±0.20 ^{ab}	70.00±12.01 ^{abc}	1.72±0.30	0.89±0.09 ^a
Fum-16	0.75±0.02	2.81±0.04 ^{ab}	74.44±3.85 ^{abc}	1.49±0.03	1.08±0.39 ^{ab}
Fum-32	0.74±0.01	3.14±0.20 ^b	74.44±10.71 ^{abc}	1.49±0.06	1.37±0.28 ^b
Fum-48	0.75±0.00	3.04±0.10 ^{ab}	61.67±2.36 ^{ab}	1.45±0.13	1.64±0.14 ^c
Met-16	0.73±0.00	3.22±0.04 ^b	81.11±6.93 ^c	1.74±0.14	1.73±0.09 ^c
Met-32	0.76±0.01	2.88±0.31 ^{ab}	76.67±14.53 ^{bc}	1.53±0.25	1.65±0.03 ^c
Met-48	0.73±0.02	3.09±0.03 ^{ab}	56.67±9.43 ^a	1.61±0.21	1.47±0.21 ^b

注: 同行数字后不同上标表示有显著差异($P<0.05$)

表 4 不同组别的饲料对凡纳滨对虾体营养物质组成及肝体比的影响

Tab.4 Effects of different diets on body nutrient composition and hepatosomatic index of *P. vannamei*

饲料编号	干物质(%)	粗蛋白(%)	粗脂肪(%)	粗灰分(%)	肝体比 HSI (%)
对照	20.39±0.31	87.12±1.35	2.64±0.13	5.80±0.43	3.87±0.11 ^c
Sul-32	20.93±0.88	87.12±0.50	2.40±0.10	5.33±0.29	3.61±0.08 ^{bc}
Fum-16	20.70±1.18	86.66±0.63	2.56±0.07	5.49±0.47	3.58±0.07 ^{bc}
Fum-32	21.90±0.30	87.19±0.76	2.59±0.12	5.44±0.25	3.48±0.10 ^{ab}
Fum-48	22.16±1.24	86.09±0.57	2.42±0.21	6.25±0.90	3.50±0.27 ^{ab}
Met-16	21.42±1.91	87.84±0.58	2.66±0.11	5.64±0.23	3.60±0.16 ^{bc}
Met-32	22.21±2.01	87.45±0.92	2.47±0.07	5.72±0.62	3.26±0.17 ^a
Met-48	21.40±1.36	87.27±0.37	2.51±0.14	5.94±0.60	3.41±0.05 ^{ab}

注: 同行数字后不同上标表示有显著差异($P<0.05$)

表 5 不同组别的饲料对凡纳滨对虾血清铜蓝蛋白和生长激素水平的影响

Tab.5 Effects of different diets on CER and GH level in serum of *P. vannamei*

饲料编号	铜蓝蛋白(mg/L)	生长激素(U/L)
对照	22.4±6.6	1.58±0.32 ^a
Sul-32	24.8±9.6	2.73±0.48 ^{ab}
Fum-16	31.6±12.7	1.84±0.77 ^a
Fum-32	45.6±7.1	2.23±0.49 ^a
Fum-48	22.7±7.9	3.97±0.86 ^b
Met-16	47.7±12.3	4.01±0.60 ^b
Met-32	42.9±6.8	2.33±0.92 ^a
Met-48	45.3±16.2	1.67±0.12 ^a

注: 同行数字后不同上标表示有显著差异($P < 0.05$)

(Shu *et al.*, 1999)。研究表明(刘发义等, 1990; Davis *et al.*, 1993; Lee *et al.*, 2002), 对虾对铜的需要量在 15—53mg/kg 之间。本文参照 Davis 等(1993)的结果, 将凡纳滨对虾饲料中硫酸铜组的铜含量设计为 32mg/kg, 旨在保证凡纳滨对虾的生长不因缺铜受影响。但是, 发现特定生长率最高的为蛋氨酸铜 16mg/kg 组, 其次是富马酸铜 32mg/kg 组, 分别比硫酸铜 32mg/kg 组高 5.9%和 3.3%。说明凡纳滨对虾对相同甚至更低浓度的蛋氨酸铜和富马酸铜的利用率高于硫酸铜。类似的结果见阳会军等(2001)和董晓慧等(2007)对凡纳滨对虾的研究。由表 3 可见, 由于本试验是限饲投喂, 不清楚生长提高的原因是否基于摄食量的提高, 但可观察到蛋白质效率和特定生长率的提高基本是同步的, 说明蛋氨酸铜和富马酸铜可能通过提高饲料的蛋白质利用率来提高凡纳滨对虾的生长率。观察表 4 可见, 尽管各实验组虾的蛋白质含量没有显著差异, 但肝体比与蛋白质效率几乎呈相反的变化趋势, 说明不同形式的铜影响了凡纳滨对虾体内营养物质的代谢途径, 具体机理还有待于进一步研究。

本试验还观察到, 随着铜离子浓度的升高, 富马酸铜组的特定生长率有上升的趋势, 而蛋氨酸铜组则有下降的趋势, 说明凡纳滨对虾对不同形式铜有着不同的适宜需要量。影响动物对氨基酸螯合物利用的因素众多, 作者认为, 由于本试验使用的是纯化饲料, 不存在植酸等抗营养因子, 在一定程度上减少了蛋氨酸铜在吸收过程中受到的干扰; 同时, 由于凡纳滨对虾每日摄入的蛋白质在消化道中产生了足量的氨基酸和肽, 在消化道的适当部位可自行螯合铜离子, 因此补充少量的蛋氨酸铜即可满足生长所需。另外, 尽管富马酸铜中的富马酸可参与三羧酸循环, 有

利于体蛋白的合成和铜离子的吸收, 但由于有机酸的稳定常数(大于 10^2)通常远低于微量元素氨基酸螯合物的稳定常数($10^3—10^6$ 或 $10^3—10^{10}$) (滕冰等, 2002), 推测由此导致了本试验中富马酸铜的促生长效果和有效浓度优于硫酸铜而次于蛋氨酸铜。类似的结果见阎立新(1999)的研究, 即氨基酸螯合盐的应用效果优于有机酸盐, 其次是无机盐。当然, 也有不同的结论, 如 Pott 等(1994)认为硫酸铜对羊和鸡的生物学效价高于赖氨酸铜; 董晓慧(2000)报道, 有机铬和无机铬对肉鸡的生长性能没有显著影响。影响动物对微量元素利用效果的因素相当复杂, 除了受动物本身消化吸收生理特点的影响, 还和不同形式微量元素的分子结构、分子量、溶解度、饲料中的干扰物质等有关。由于国内外目前对甲壳动物微量元素消化吸收机制的研究还基本处于空白, 对不同形式微量元素的实际应用技术难免失于盲目, 还需要开展大量的研究工作。

3.2 饲料铜源及添加量对凡纳滨对虾血液学指标的影响

由于大多数动物血细胞中负责携氧的是血红蛋白, 结合氧的元素是铁元素, 而甲壳动物血细胞中负责携氧的是血蓝蛋白, 结合氧的元素是铜, 因此, 铜在虾类的呼吸系统和造血系统中发挥着非常重要的作用。本文检测了凡纳滨对虾的血清铜蓝蛋白水平, 发现不同铜源和水平影响了血清铜蓝蛋白水平, 并与特定生长率的变化趋势是一致的。对猪、牙鲆、虹鳟、对虾的部分研究表明(Apines-Amar *et al.*, 2004; 董晓慧等, 2007; 江宵兵等, 1994; 魏万权等, 2001), 饲料中适宜的铜源及含量能提高血液中多项抗氧化酶的酶活, 如铜蓝蛋白、铜锌超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶、血清酚氧化酶、超氧化物歧化酶等, 提示一定形式和含量的铜可提高动物的抗氧化和抗应激能力, 从而提高动物的生长性能。其中, 郑鑫等(2006)的研究表明, 猪血清铜蓝蛋白对饲料铜源和铜水平的变化敏感, 敏感度甚至高于其它含铜酶如 Cu-Zn 超氧化物歧化酶。本文仅测定了铜蓝蛋白水平, 选用何种生化指标作为凡纳滨对虾饲料不同铜源和水平的评价指标, 还有待于进一步的研究。

本文还运用适于哺乳动物的测定方法, 测定了凡纳滨对虾血清生长激素水平, 发现也和生长指标的变化趋势是一致的。对高等动物的研究表明, 铜能透过血脑屏障在脑中积累, 刺激垂体生长激素(GH)分泌, 因此, 铜通过刺激有关促生长激素(如 GH)及

相关因子(如类胰岛素生长因子-1, IGF-)的合成与分泌, 促进体蛋白质合成(何河等, 2007)。甲壳动物的神经内分泌系统与高等动物存在着很大的差别, 目前已发现与生长激素有相似功能的激素主要有蜕皮激素、高血糖素及某些活性肽, 本文检测到的是否是生长激素类似物及其结构与功能如何还不清楚, 但提示铜对凡纳滨对虾可能有和高等动物有着相似的促生长作用的机理。

4 结论

在本试验条件下, 三种形式的铜源均可不同程度的提高凡纳滨对虾的生长性能, 但相同浓度的有机铜离子的生物利用率优于无机铜, 其顺序为: 蛋氨酸铜>富马酸铜>硫酸铜。饲料铜对凡纳滨对虾的促生长作用可能是通过提高体内相关抗氧化酶的活性及刺激生长激素的分泌来实现的。

参 考 文 献

- 刘发义, 梁德海, 孙 凤等, 1990. 饵料中的铜对东方对虾(*Penaeus orientalis*)生长的影响. 海洋与湖沼, 21(5): 5—10
- 江宵兵, 柳树青, 1994. 幼猪日粮添加高添加量铜促生长机制的探讨. 福建畜牧兽医, 16(3): 11—13
- 阳会军, 谭北平, 方怀义, 2001. 饲料中添加蛋氨酸铜和硫酸铜对斑节对虾生长和存活的影响. 饲料工业, 22(10): 15—16
- 李爱杰, 宋进美, 1994. 不同剂型微量元素对杂食性鱼生长和消化率的影响. 中国饲料, 7: 15—18
- 何 河, 方热军, 2007. 高铜在猪生产中的应用及促生长机理研究进展. 湖南饲料, 2: 6—8
- 宋进美, 任培桃, 1994. 鲤鱼复合氨基酸预混剂饲喂效果的研究. 饲料工业, 15(5): 22—24
- 郑 鑫, 王玉琳, 杨连玉等, 2006. 饲料中添加铜对生长猪血液中铜酶活性的影响. 饲料工业, 13: 27—29
- 阎立新, 李华周, 韩永利, 1999. 雏鸡日粮中植酸和钙水平对不同锌源生物效价的影响. 饲料博览, 1: 42—45
- 董晓慧, 2000. 不同形式铬对肉仔鸡组织器官铬浓度影响的研究. 饲料博览, 6: 8—9
- 董晓慧, 杨原志, 郑石轩等, 2006. 不同形式钴对凡纳滨对虾生长和组织钴含量的影响. 湛江海洋大学学报, 6: 8—12
- 董晓慧, 杨原志, 郑石轩等, 2007. 饲料中不同铜源和水平对凡纳滨对虾生长、免疫和组织铜含量的影响. 大连水产学院学报, 22(5): 377—383
- 滕 冰, 韩有文, 2002. 微量元素氨基酸螯合物及其应用中的若干问题. 动物科学与动物医学, 19(6): 1—5
- 魏万权, 李爱杰, 李德尚, 2001. 牙鲆幼鱼饲料中铜的适宜添加量研究. 海洋湖沼通报, 2: 54—59
- Apines-Amar M J S, Satoh S, Caipang C M A *et al*, 2004. Amino acid-chelate: a better source of Zn, Mn and Cu for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture, 240: 345
- Davis D A, Lawrence A L, Gatlin D M, 1993. Dietary copper requirement of *Panaeus vannamei*. Nippon Suisan Gakkaishi, 59: 117—122
- Lee M H, Shiau S Y, 2002. Dietary copper requirement of juvenile grass shrimp *Panaeus monodon* and effects on non-specific immune responses. Fish Shellfish Immunol, 13: 259—270
- Owen C A, 1982. Biochemical Aspects of Copper. Park Ridge, New Jersey, USA: Noyes Publications, 41—44
- Paripatanant T, Lovell R T, 1995. Chelated zinc reduces the dietary zinc requirement of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. Aquaculture, 133(1): 73—82
- Pott E B, Henry P R, Ammerman C B *et al*, 1994. Reactive bioavailability of copper in a copper-lysine complex for chicks and lambs. Anim Feed Sci Technol, 45: 193—203
- Shu T, Tao L, Jun C *et al*, 1999. Synergistic effect of copper and lead uptake by fish. Ecotoxicol Environ Saf, 44: 190—195

EFFECTS OF DIFFERENT FORMS OF COPPER AND SUPPLEMENT ON GROWTH PERFORMANCE, SERUM CERULOPLASMIN, AND GROWTH HORMONE LEVEL OF *PANEAUS VANNAMEI*

ZHOU Meng¹, WANG An-Li¹, CAO Jun-Ming²

(1. College of Life Science, South China Normal University, Guangzhou, 510631; 2. Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou, 510640)

Abstract This experiment was conducted to study the effects of different forms of copper and supplement on growth performance of white shrimp, *Panearius vannamei*. Different supplement rate of copper sulphate, fumarat and methionine were added into the casein-gultin basal diet for making dietary copper level in sulphate group at 32mg/kg, those of fumarat and methionine at 16, 32, and 48mg/kg The diets were coded as Control, Sul-32, Fum-16, Fum-32, Fum48, Met-16, Met-32, and Met-48, and fed to juvenile *P. vannamei* (IBW, 0.74±0.01g). Eight weeks later, the special growth rate (*SGR*), survival rate, protein efficiency rate (*PER*) of the shrimp increased in all copper supplemental groups compared to those of the Control, of which *SGR*s of group Met-16 and Fum-32 were significantly higher than that of the Control ($P<0.05$), *PER*s of group Met-16, Met-32, and Fum-32 were significantly higher than those of other groups ($P<0.05$). Different forms of copper had no significant effects on body composition of shrimp; however, *HSI* of group Met-32 was significantly decreased compared with those of other groups ($P<0.05$). Ceruloplasmin (*CER*) level changed with that of *SGR*, and no significant differences were observed among all the groups. Serum growth hormone (*GH*) varied similarly with that of *CER*. The contents of *GH* of groups Met-16 and Fum-32 were significantly higher than that of Control ($P<0.05$). Therefore, the three forms of dietary copper in every dosage could increase the growth performance of *P. vannamei*; however, organic copper one had better biological utilization than inorganic one in the same dose. The descending order of them is: copper methionine > copper sulphate > copper fumarat. The promotion by copper-enriched dietary to *P. vannamei* growth performance was probably due to the increasing of activity of anti-oxidation enzymes in shrimp body and the secreting of growth hormone.

Key words *Panearius vannamei*, Copper, Growth performance, Blue copper protein, Growth hormone