

# 饵料的铜含量对中国对虾生长 及体内铜、锌和铁含量的影响

王维娜 王安利 刘存岐 王所安

(河北大学生物学系,保定 071002)

王荣端 马志强

(中国水产科学研究院北戴河中心实验站, 066100)

**摘 要** 在铜含量不同的饵料对中国对虾生长及体内铜、锌和铁含量影响的研究中,发现饵料中铜含量为 25.27 mg/kg 时,可使体长为 30~40 mm 的中国对虾增长最快。饵料中铜含量与对虾头胸部铁含量呈负相关,而与对虾腹部铜锌含量呈正相关。

**关键词** 铜, 锌, 铁, 饵料, 中国对虾

铜、锌和铁是对虾生长发育的必需微量元素,铜是对虾血液中氧载体—血蓝蛋白的中心原子,铁在细胞色素 C 和氧化代谢酶中起着重要作用[Spaargaren 1983]。正因如此,国内外学者从不同的角度研究了铜锌铁对对虾生长的影响[Kanazama 等 1984,梁德海等 1989,刘发义等 1990]。但饵料中某一元素含量的改变对虾体其它元素影响的研究,迄今为止还不多。众所周知,动物体内微量元素的相互关系是十分复杂的,研究时所应用的剂量不同,元素间的相互关系也会发生变化[杨顺江 1980]。王安利等[1994]就发现对虾头胸部与饵料之间或腹部与饵料之间在硒的含量上存在线性关系,三者之间相互影响。本试验通过向饵料中添加不同量的铜,研究其对中国对虾生长及体内铜锌铁含量的影响,并应用数理统计的多元回归方法,研究中国对虾(*Penaeus chinensis*)体内铜锌铁含量与饵料中铜含量四者之间的相互关系。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料来源与饲养

1990 年 8 月 6 日至 9 月 1 日在中国水产科学研究院北戴河中心实验站养殖室内进行养殖实验,所用虾苗为该站孵化室最后一批虾苗。实验对虾初始体长为 33.5~42.3 mm,将虾苗随机分组养在不透明的玻璃钢水槽内,每个水槽的容积为 2 m×1 m×1 m。每槽放虾 50 尾,分 6 组,设平行实验。用 6 种铜含量不同的饵料进行喂养。饵料中铜含量每公斤分别为 15.70,17.00,22.90,25.27,27.53,33.47 mg。每天早午晚各投饲一次。每天早晨投饲前用虹吸管清除槽底残饵和对虾排泄物。每日 9 时与 15 时两次测定水质,水温为 18~27℃,盐度为 22~25,pH 值 7.84~8.52。饲养时间为 26 天。实验结束时,测定各组对虾体长、体重及体内铜锌铁元素含量。实验所用配合饵料的基本成分为:鱼粉 25.0%、豆饼粉 40.0%、蛋白粉 12.5%、面粉 20.5%和酵母粉 2.0%。

## 1.2 样品测定

首先测量各组对虾样品的体长, 然后依次用自来水和蒸馏水冲洗干净, 再用滤纸将对虾体表水吸干。将虾的头胸部和腹部分开后去掉肠管并分别称重。实验饵料及虾样置烘箱(105℃)烘干至恒重, 研碎后称取适量粉末用浓硝酸和浓硫酸湿法消化, 以 GGX-2 型原子吸收分光光度计(北京地质仪器厂)测定样品中铜、锌和铁的含量。

## 1.3 计算方法

对虾的存活率、体长(重)增长率和特定生长率分别按下列公式计算:

存活率(%) = 实验终对虾尾数/实验初始对虾尾数 × 100%;

体长(重)增长率(%) = [实验终对虾平均体长(重) - 实验初始对虾平均体长(重)] / 实验初始对虾平均体长(重) × 100%;

特定生长率(%·d<sup>-1</sup>) = (ln 实验终对虾平均体重 - ln 实验初始对虾平均体重) / 对虾生长的天数 × 100%。

## 1.4 数据处理

数据处理采用回归分析中的逐步消元法[菲诗松等 1986]进行。以 BASIC 语言编程序, 在 IBM PC/XT 微型计算机上实现。

## 2 实验结果

### 2.1 饵料中铜含量对中国对虾生长的影响

用铜含量不同的饵料饲喂 33.8 ~ 42.3 mm 的对虾结果见表 1。各实验组的存活率均高于或等于对照组(1 组), 其中 2、3、4 组的存活率较高, 但它们之间无显著性差异( $P > 0.05$ ), 而 5 和 6 组的存活率基本一致且较低。就增长率来看, 实验组明显优于对照组(1 组)( $P < 0.05$ ), 且随着饵料中铜浓度的增加而升高并达到峰值, 之后则下降。这说明以含铜 25.27 mg/kg 的饵料投喂中国对虾效果最佳, 高于或低于此值时其体长和体重的增长率均下降。

表 1 中国对虾的存活率、平均增长(重)率和平均特定生长率

Table 1 Survival rates and mean length(weight) increase rate and mean specific rates of *Penaeus chinensis*

实验组	饵料中 Cu 的含量 (mg/kg)	水槽编号	存活率 (%)	平均存活率 (%)	平均体长增长率 (%)	平均体重增长率 (%)	平均特定生长率 (%·d <sup>-1</sup> )																																												
1	15.70	12	76	74.0	5.00 ± 0.32	47.09 ± 3.06	1.49 ± 0.08																																												
		2	72					2	17.00	5	88	86.5	9.02 ± 0.89	81.34 ± 1.06	2.30 ± 0.02	8	85	3	22.90	9	85	84.5	11.58 ± 0.72	64.33 ± 10.16	1.92 ± 0.22	7	84	4	25.27	1	85	85.0	20.11 ± 0.23	86.72 ± 0.42	2.42 ± 0.01	10	85	5	27.53	3	78	76.5	12.10 ± 1.08	83.27 ± 0.17	2.35 ± 0.02	5	75	6	33.47	4	76
2	17.00	5	88	86.5	9.02 ± 0.89	81.34 ± 1.06	2.30 ± 0.02																																												
		8	85					3	22.90	9	85	84.5	11.58 ± 0.72	64.33 ± 10.16	1.92 ± 0.22	7	84	4	25.27	1	85	85.0	20.11 ± 0.23	86.72 ± 0.42	2.42 ± 0.01	10	85	5	27.53	3	78	76.5	12.10 ± 1.08	83.27 ± 0.17	2.35 ± 0.02	5	75	6	33.47	4	76	75.0	11.27 ± 0.56	63.30 ± 7.81	1.87 ± 0.16	6	74				
3	22.90	9	85	84.5	11.58 ± 0.72	64.33 ± 10.16	1.92 ± 0.22																																												
		7	84					4	25.27	1	85	85.0	20.11 ± 0.23	86.72 ± 0.42	2.42 ± 0.01	10	85	5	27.53	3	78	76.5	12.10 ± 1.08	83.27 ± 0.17	2.35 ± 0.02	5	75	6	33.47	4	76	75.0	11.27 ± 0.56	63.30 ± 7.81	1.87 ± 0.16	6	74														
4	25.27	1	85	85.0	20.11 ± 0.23	86.72 ± 0.42	2.42 ± 0.01																																												
		10	85					5	27.53	3	78	76.5	12.10 ± 1.08	83.27 ± 0.17	2.35 ± 0.02	5	75	6	33.47	4	76	75.0	11.27 ± 0.56	63.30 ± 7.81	1.87 ± 0.16	6	74																								
5	27.53	3	78	76.5	12.10 ± 1.08	83.27 ± 0.17	2.35 ± 0.02																																												
		5	75					6	33.47	4	76	75.0	11.27 ± 0.56	63.30 ± 7.81	1.87 ± 0.16	6	74																																		
6	33.47	4	76	75.0	11.27 ± 0.56	63.30 ± 7.81	1.87 ± 0.16																																												
		6	74																																																

## 2.2 饵料中铜含量对中国对虾体内铜、锌和铁含量的影响

养殖实验结束后,分别测定各组对虾头胸部与腹部的铜、锌和铁含量,结果列于表2。

表2 对虾(头胸部和腹部)铜、锌和铁含量(mg/kg干重)

Table 2 Cu, Zn and Fe contents in the prawn (Cephalothorax and abdomen) (mg/kg, dry. w)

实验组	1	2	3	4	5	6
饵料 Cu 浓度	15.17	17.00	22.90	25.27	27.53	33.47
头胸部						
Cu	50.47 ± 1.23	85.90 ± 2.89	84.32 ± 0.89	106.97 ± 3.45	86.37 ± 1.93	91.98 ± 4.55
Zn	100.15 ± 0.98	96.50 ± 0.68	93.77 ± 0.92	92.90 ± 0.79	97.23 ± 0.81	104.63 ± 0.89
Fe	934.05 ± 8.99	797.20 ± 10.78	955.60 ± 6.97	550.00 ± 12.25	254.17 ± 10.11	176.38 ± 12.85
Zn:Cu	1:0.504	1:0.890	1:0.899	1:1.152	1:0.888	1:0.879
腹部						
Cu	45.07 ± 1.45	43.97 ± 1.86	50.47 ± 1.32	52.87 ± 1.04	55.68 ± 1.22	58.00 ± 1.42
Zn	62.67 ± 0.73	67.70 ± 0.84	69.30 ± 0.65	69.03 ± 0.88	72.57 ± 0.56	73.77 ± 0.43
Fe	49.33 ± 2.34	69.17 ± 2.65	112.50 ± 4.28	63.17 ± 9.36	89.67 ± 5.78	40.50 ± 6.32
Zn:Cu	1:0.719	1:0.647	1:0.728	1:0.766	1:0.767	1:0.786

从表2可以看出,对虾头胸部铜的含量以第4组最高,锌的含量以第4组最低,随着饵料中铜含量的增加,头胸部铁的含量呈下降趋势,而锌铜比值出现从高到低又从低到高变化的现象。对虾腹部铜锌的含量与饵料中的铜含量呈正相关。即  $Y_{腹Cu} = 31.730 + 0.817X_{饵Cu}$  ( $R = 0.976, n = 12$ );  $Y_{腹Zn} = 56.995 + 0.514X_{饵Cu}$  ( $R = 0.912, n = 12$ )。

## 2.3 饵料中铜含量与对虾体内铜、锌和铁之间的相互关系

中国对虾体内铜、锌和铁含量与饵料中铜含量之间的关系,从表3可看出,只有方程④成立,而其它方程虽然复相关系数都很高,但从方差分析来看回归在  $\alpha = 0.05$  水平上不显著。方程④的标准回归方程为  $Y_{Cu腹} = 1.352X_{Cu饵} - 0.3968X_{Zn腹} + 0.1444X_{Fe腹}$ 。标准方程由于消除了单位,可以比较自变量对因变量影响的大小。因此,中国对虾腹部的铜含量主要受饵料铜含量的影响,其次受腹部锌含量的影响,对虾腹部铁含量的影响最小。

表3 中国对虾体内铜、锌、铁与饵料中铜的逐步回归分析

Table 3 Stepwise regression analysis of Cu, Zn and Fe contents of *Penaeus chinensis* and Cu contents in feed

	回归方程式	R	F	P
头	① $Y_{Cu头} = 345.373 + 1.568X_{Cu饵} - 2.945X_{Zn头} - 0.018X_{Fe头}$	0.876 2	2.2	> 0.05
胸	② $Y_{Zn头} = 113.106 + 0.266X_{Cu饵} - 0.007X_{Fe头} - 0.208X_{Cu饵}$	0.836 0	1.55	> 0.05
部	③ $Y_{Fe头} = 4493.802 - 28.520X_{Cu饵} - 28.498X_{Zn头} - 5.115X_{Cu头}$	0.894 3	2.66	> 0.05
	④ $Y_{Cu腹} = 61.807 + 1.135X_{Cu饵} - 0.574X_{Zn腹} + 0.031X_{Fe腹}$	0.984 6	21.17	< 0.01
腹	⑤ $Y_{Zn腹} = 72.931 + 1.050X_{Cu饵} - 0.614X_{Cu腹} + 0.040X_{Fe腹}$	0.985 2	4.05	> 0.05
部	⑥ $Y_{Fe腹} = -953.248 - 15.387X_{Cu饵} + 10.250X_{Cu腹} + 12.484X_{Zn腹}$	0.732 5	0.77	> 0.05

## 3 讨论

铁参与能量释放的氧化过程,铜在甲壳动物中主要是结合在血和肝胰脏的超氧化物歧化酶(hepatouprein)中[Spaargaren 1983];铜对细胞色素氧化酶起着激活作用。这种酶是呼吸链末端的特征酶,在氧化磷酸化过程中起着传递电子的作用;此酶位于线粒体内膜上,每分子含

2 个铜原子,因而,其活性与细胞内铜的含量有关。当虾体内铜含量较少时,其活性随铜含量的增加而提高;过量的铜却起到抑制作用,使酶的活性下降,生长受到抑制,以致中毒[刘发义等 1990]。从增加饵料的铜含量对中国对虾养殖实验的结果看,当饵料中铜为 25.27 mg/kg 时,可使体长达 30~40 mm 的对虾增长最快,而且头胸部的铜含量最高。说明此时对虾肝胰脏中能与铜结合的配位体基本饱和,使肝胰脏中细胞色素氧化酶的活性处于最佳状态,因而,使对虾的增长率提高。饵料中含铜量高于和低于该值则不能使肝胰脏的配位体与铜结合达到最佳状态,影响细胞色素氧化酶的活性,这与刘发义等[1990]的实验即对虾肝胰脏细胞色素氧化酶的活性在一定范围内与增长率变化呈正相关的结果是一致的。不过我们实验的饵料中最佳含量(25.27 mg/kg)是对体长 30~40 mm 的早期中国对虾而言,而刘发义等[1990]确定的饵料中最佳铜含量 53 mg/kg 和 67 mg/kg 是对 60~80 mm 的中期对虾实验的结果。这表明中国对虾生长过程中所需饵料中的铜含量是不同的。该研究结果为研制全价高效系列化对虾配合饵料提供了科学依据。

本研究还发现,随饵料中铜含量的增加,对虾头胸部铁含量不断降低,这说明饵料中加铜可抑制中国对虾对铁的吸收,其机制还有待进一步研究。

铜和锌是同一副族的元素,两者的化学性质有很多相似之处。这两种元素在生物体内有拮抗作用,即铜的含量增加,锌含量就会降低[Hilton 1989]。在本实验中对虾头胸部(肝胰脏)的铜与锌含量表现了此种关系,这可能是因为锌铜杂化轨道的化合价相似,使得彼此间产生拮抗作用,致使两种元素在金属酶合成或在吸收金属元素时互相竞争蛋白质的亲和部位[Hilton 1989]。对虾头胸部主要含肝胰脏,而肝胰脏又是含金属酶丰富的部位,因而,在该部位表现出两种元素的拮抗关系。但对虾腹部(肌肉)的铜锌含量则呈正相关,并且都随饵料中铜含量的增加而上升。饵料中增加铜的含量可以促进肌肉对铜和锌的吸收,两者呈现协同关系。并且从复相关分析可以看出,饵料的铜含量、对虾腹部的锌和铁含量都能影响对虾腹部的铜含量,但影响的程度不同,饵料的铜含量为最大,腹部锌含量为次之,腹部铁含量为最小。

## 参 考 文 献

- 王安利等. 1994. 饵料中硒含量对中国对虾生长及其体内含量的影响. 水产学报, 18(3): 245~248.
- 刘发义等. 1990. 饵料中的铜对中国对虾的影响. 海洋与湖沼, 21(5): 49~52.
- 杨顺江. 1980. 动物微量元素. 湖北科学技术出版社. 226.
- 茆诗松等. 1986. 回归分析及其试验设计. 上海: 华东师范大学出版社. 24~108.
- 梁德海等. 1989. 饵料中的锌对中国对虾的影响. 海洋科学, (5): 49~52.
- Hilton J W. 1989. Interrelationship between vitamins, inorganic salts and feed ingredients in feed of fishes. Aquaculture, 79: 223~244.
- Kanazama A, Teshima S, Sasaki M. 1984. Requirements of the juvenile prawn for calcium phosphorus, magnesium potassium copper manganese and iron. MEM FAC FISH KAGOSHIMA UNIV, 33(1): 63~72.
- Spaargaren D H. 1983. Osmotically in copper and iron concentrations in three euryhaline crustacean species. Netherlands Journal of Sea Research, 17(1): 96~105.

# EFFECTS OF COPPER CONCENTRATIONS IN DIETS ON THE GROWTH AND COPPER, ZINC AND IRON CONTENTS OF *PENAEUS CHINENSIS*

WANG Wei-Na, WANG An-Li, LIU Cun-Qi, WANG Suo-An

(Department of Biology, Hebei University, Baoding 071002)

WANG Rong-Duan, MA Zhi-Qiang

(Beidaihe Experimental Centre, CAFS, 066100)

**ABSTRACT** Six diets of different copper concentrations were fed to *Penaeus chinensis*. Growth and survive rates of the shrimp for each diets were compared. Copper, zinc and iron contents of *Penaeus chinensis* were determined. The results of the experiments showed that 25.27 mg/kg copper contained in the diet is suitable to the shrimp of 30 ~ 40 mm length. Copper concentrations in diets have negative correlation with iron concentration in the cephalothorax of the shrimp, but have positive correlation with copper and zinc concentrations in the abdomen of shrimp.

**KEYWORDS** Copper, Zinc, Iron, Diet, *Penaeus chinensis*

## 欢迎订阅 1998 年《应用生态学报》

《应用生态学报》是经国家科委批准、科学出版社出版的国内外公开发行的综合性学术刊物。本刊宗旨是坚持理论联系实际的办刊方向,结合科研、教学、生产实际,报导生态学诸领域在应用基础研究方向具有创新的研究成果,交流基础研究和应用研究的最新信息,促进生态学研究,为国民经济建设服务。

本刊专门登载有关应用生态学(主要包括森林生态学、渔业生态学、自然资源生态学、全球生态学、污染生态学、生态工程学等)综合性论文、创造性研究报告和研究简报等。

本刊读者对象主要是从事生态学、地学、林学、农学和环境科学研究、教学、生产的科技工作者,有关专业的大学生及经济管理和决策部门的工作人员。

本刊与数十家相关学报级期刊建立了长期交换关系,《中国科学引文索引》、中国《生物学文摘》、美国《生物学文摘》(BA)、美国《化学文摘》(CA)和英国《生态学文摘》(EA)等十几种检索刊物均收录本刊的论文摘要(中英文),并被中国科学技术信息研究所列入中国科技论文统计用期刊之一。本刊的整体质量与水平已达到新的高度,1992年荣获全国科技期刊三等奖和中国科学院优秀期刊二等奖,1996年荣获中国科学院优秀期刊三等奖。1993年入选最新“中国自然科学核心期刊”。

本刊为双月刊,16开本,112页,逢双月18日出版,期定价8.00元,全国各地邮政局(所)均可订阅,邮发代号8-98。错过订期也可直接到本刊编辑部邮购。地址:110015辽宁省沈阳市文化路72号《应用生态学报》编辑部。电话:(024)3916250