

中华绒螯蟹幼蟹维生素 C 营养需求研究

陈立侨¹, 艾春香^{*}, 温小波¹, 刘晓玲¹, 江洪波¹

(1. 华东师范大学 生命科学学院, 上海 200062)

摘要: 在每 100 g 等氮、等能纯化饲料中分别添加 0, 100, 200, 400, 800, 1 000 mg 维生素 C (Vc) 多聚磷酸酯 (LAPP), 用这样配制成的试验饲料饲喂已淡化 5 d 的河蟹大眼幼体及后续幼蟹 25 d 探讨 Vc 对大眼幼体和幼蟹生长、存活、蜕壳频率及抗逆性的影响, 同时探明幼蟹对 Vc 的适宜需求量, 结果表明, 饲料 Vc 添加量为 100~400 mg/100 g 时, 可以保证幼蟹正常生长、存活和蜕皮, 尤其以投喂添加 Vc 200 mg/100 g (C₂ 组) 和 400 mg/100 g (C₃ 组) 饲料的 III 期幼蟹增重率、存活率和平均蜕皮频率较高, 其中 C₂ 组 (上述各指标值) 分别为 516.18%, 62.83%, 2.58; C₃ 组分别为 458.89%, 66.17%, 2.61; 饲料中缺少 Vc 时 (如 C₀ 组), III 期幼蟹的增重率、存活率和平均蜕皮频率最低, 分别为 265.31%, 26.67% 和 2.26; 饲料中 Vc 的添加量达到 800 mg/100 g (C₄) 和 1 000 mg/100 g (C₅) 时, 幼蟹的蜕皮反而受到抑制, 平均蜕皮频率降低, 蜕皮周期延长, 且存活率降低, 到 III 期幼蟹的增重率、存活率和平均蜕皮频率在 C₄ 组分别为 355.7%, 31.33%, 2.39; 在 C₅ 组分别为 307.53%, 28.56%, 2.19。此外, 各处理组幼蟹对抗逆性影响的试验表明, 在一定的范围内, 饲料中添加 Vc 能提高幼蟹的耐低氧能力和耐 pH 突变能力, 而对耐盐度突变能力没有明显的影响。综合上述结果可以得出, 为保持幼蟹良好生产性能, 饲料中添加的 Vc 应为 200~400 mg/100 g。

关键词: 中华绒螯蟹 幼蟹; 维生素 C; 营养需求; 抗逆性

中图分类号: Q55

文献标识码: A

文章编号: 0253-4193(2005)01-0130-07

1 引言

维生素 C (Vitamin C, Vc) 是水产动物饲料中不可缺少的维生素之一, 它不但是动物生长、代谢及维持正常生理机能所必需的营养素, 而且在恢复组织创伤和抵御疾病侵袭等方面具有重要的作用^[1]。中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis* Milne Edwards 1853 河蟹) 在体内不能合成 Vc, 它们所需的 Vc 必须从饲料中获得。至今有关河蟹幼蟹对 Vc 的需求量以及饲料中 Vc 添加量对其生长、蜕皮和存活等的影响尚未见报道。本实验以维生素 C 多聚磷酸酯 (L-ascobyl-2- polyphosphate, LAPP) 作为 Vc 源, 以幼

蟹的增重率、平均蜕壳频率、存活率以及抗逆性为判据, 探讨了 Vc 对幼蟹的生理作用和幼蟹对 Vc 的营养需求量, 以期为幼蟹研制营养平衡的人工配合饲料以及维生素预混饲料提供参考资料。

2 材料和方法

2.1 实验用蟹、实验饲料和饲养管理

2.1.1 实验用蟹

实验于 2000 年 4 月 29 日至 5 月 26 日在上海市浦东新区孙桥名特水产开发有限公司进行。实验用蟹取自该公司大规模亲蟹 (雌蟹平均体重为 200 g/只, 雄蟹平均体重为 300 g/只) 人工半咸水繁

收稿日期: 2002-04-10 修订日期: 2002-06-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30271012); 高等学校博士点专项基金资助项目 (2000026903); 教育部回国留学人员科研启动基金部分资助项目。

作者简介: 陈立侨 (1962-), 男, 广东省梅县人, 教授, 博士, 从事水生动物营养生理和种质遗传学研究。E-mail: lqcher@b.cn.ecnu.edu.cn

* 现在厦门大学海洋与环境学院工作。

育苗,为已淡化 5 d 体色呈淡黄色、有光泽和透明感、活力强的大眼幼体。

2.1.2 实验饲料配制

以不含维生素的原料来配制基础饲料(表 1),其中酪蛋白由美国进口,上海新兴化学试剂研究所分装, Vc 源为 LAPP. 实验饲料为在基础饲料中分别添加不同含量的 LAPP 配制而成,以不含 LAPP 为对照组(表 2).

表 1 基础饲料的组成

组成	含量 (%)	组成	含量 (%)
酪蛋白	41.0	复合维生素 ¹⁾	3.0
糊精	25.0	复合无机盐 ²⁾	2.0
明胶	15.0	氯化胆碱	0.5
纤维素	8.0	甘氨酸	0.5
鱼鱼油	3.0	甲壳素	0.5
卵磷脂	0.5	黏合剂	1.0

1) 复合维生素(不含 Vc)每 100 g 饲料中含: V_{B1} 0.15 g V_{B2} 0.375 g V_{B3} 1.0 g V_{B5} 1.0 g V_{B6} 0.4 g V_{B7} 0.04 g V_{B11} 0.1 g V_{B12} 0.01 g V_A 0.004 g V_{D3} 0.0 875 g V_E 1.125 g V_K 0.05 g 肌醇 10.0 g 纤维素 85.66 g

2) 复合无机盐每 100 g 饲料中含: N aH₂PO₄ 10.0 g KH₂PO₄ 21.5 g Ca (H₂PO₄)₂ · 2H₂O 26.5 g CaCO₃ 10.5 g KC12.8 g MgSO₄ · 7H₂O 10.0 g AlCl₃ · 6H₂O 1.2 g ZnSO₄ · 7H₂O 0.511 g MnSO₄ · 4H₂O 至 MnSO₄ · 6H₂O 0.143 g KI 0.058 g CuCl₂ 0.051 g CoCl₂ · 6H₂O 0.176 g 乳酸钙 16.50 g 柠檬酸铁 0.061 g

表 2 不同试验饲料中 LAPP 的添加量 (mg/100 g 饲料)

组别	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
Vc(LAPP)	0	100	200	400	800	1 000

将各种饲料的原料分别粉碎,按设计量准确称重后逐级均匀混合,然后加鱼油和 LAPP 重新混匀,以宝牌 HJ-I 水产饲料为黏合剂,用小型绞肉机挤压制备成颗粒饲料,于 50~60 °C 烘干至水分含量在 10% 以下,置于 4 °C 通风条件下保存备用。

2.1.3 饲养管理

将实验蟹用 Sartorius 牌电子天平称(精度为 0.01 mg)准确称重后分成 6 组,随机放入规格为 45 cm × 30 cm × 15 cm 的无毒聚乙烯塑料箱中,每箱盛水 13.5 dn³,水深为 10~12 cm,每只箱为一个实验组,放养已淡化 5 d 的大眼幼体 200 只,对每一处理组设 3 个平行组。

每天早上剔除死蟹和残饵,换水 1/3 间歇充气,日投饲料量为蟹体重的 5% 左右,每天 08:00 16:30 各投喂一次. 养殖水体水质条件:水温为 (21

±2) °C,溶解氧为 7.90~8.49 mg/dm³,pH 值为 7.2 ± 0.3 NH₃-N 为 0.009~0.001 3 mg/dm³. 饲养 25 d 后大眼幼体发育变态成 II 期幼蟹。

大眼幼体经过第一次蜕皮,当 50% 发育变态为 I 期幼蟹后分别统计 I 期幼蟹和未蜕皮的大眼幼体个数,并准确称取幼蟹体重;当 I 期幼蟹再次蜕皮成为 II 期幼蟹后,分别统计 I 期和 II 期幼蟹数,并且称取它们的体重,计算平均体重,余此类推. 根据所得结果计算出幼蟹的体重增长率、存活率和平均蜕皮频率. 平均蜕皮频率的计算公式如下:

$$F = \frac{\sum nI_n}{N}$$

式中, F 为平均蜕皮频率; n 为存活幼蟹发育期数; I_n 为对应发育时期的存活幼蟹个数; N 为各期存活的幼蟹总数。

2.2 样品采集和分析

实验结束时,采用高压液相色谱 (HPLC) 法分析测定各处理组幼蟹全蟹的 Vc 含量. 具体操作参照 Wang 等^[2]和 Nelis 等^[2]所用方法. 将样品加重蒸水研磨后离心,将分离、提取的上清液以 0.22 μm 微孔滤膜过滤,上机测定。

2.3 抗逆性实验

在饲养 25 d 后,以幼蟹的存活率为指标,开始进行缺氧耐力、耐盐度突变和耐 pH 值突变能力的实验. 耐低氧能力试验操作为:从各个处理组随机抽取 10 只活泼、健康的 II 期幼蟹,放入不充气的水簇箱中饲养 48~72 h,观察幼蟹存活情况;耐 pH 值突变和盐度突变的能力试验操作为:从各个处理组随机抽取 10 只活泼、健康的 II 期幼蟹,放入不同盐度或 pH 值的水簇箱中饲养,观察其对 pH 值(由 7.23 骤然下降至 4.35)和盐度(由 5.475 骤然上升到 11.246)突变的反应,对每一处理组设 3 个重复组。

2.4 数据统计分析

对所有的实验数据资料采用 SPSS 系统进行单因素方差分析,若存在显著差异,则用 Duncan's 多重比较法进一步确定组间差异。

3 结果和分析

3.1 Vc 对幼蟹增重率的影响

大眼幼体发育变态为 I 期幼蟹时,各处理组幼蟹的增重率差异不显著 (P > 0.05); 饲养 25 d 后,各处理组幼蟹的增重率见表 3 以 C₂ 组幼蟹增重率最大,为 516.18%; C₃ 组次之,为 458.89%; C₀ 组最

低, 仅为 265.31%。统计分析表明, C_0 与 C_1 , C_2 , C_3 , C_4 和 C_5 组间差异显著或极显著 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$), 其中 C_1 与 C_2 , C_5 两组间、 C_3 与 C_4 , C_5 两组间有显著性差异 ($P < 0.05$), C_2 与 C_4 , C_5 两组间有极显著差异 ($P < 0.01$), 而 C_1 与 C_3 , C_4 两组间、 C_2 与 C_3 组间以及 C_4 与 C_5 组间差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 3 饲料中 Vc(LAPP)含量对幼蟹增重率 (%) 的影响

组别	平均初体重加或	平均终体重加或	平均增重率加或
	减标准差 /mg	减标准差 /mg	减标准差 (%)
C_0	6.86±0.34	25.06±1.64	265.31±23.85 ¹⁾
C_1	6.86±0.34	32.33±2.14	371.33±31.08 ^{bc)}
C_2	6.86±0.34	42.27±1.80	516.18±26.30 ^{a)}
C_3	6.86±0.34	38.53±2.37	458.89±30.59 ^{ab)}
C_4	6.86±0.34	31.27±1.20	355.78±17.49 ^{b)}
C_5	6.86±0.34	27.96±1.59	307.53±32.41 ^{b)}

注: 同一项目不同均值上标字母相同表明组间差异不显著 ($P > 0.05$); 上标字母不同表明组间差异显著或极显著 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。

表 4 饲料中 Vc(LAPP)含量对幼蟹存活率 (%) 的影响

组别	放养数 / 只	I 期幼蟹平均存活率	II 期幼蟹平均存活率	III 期幼蟹平均存活率
		加或减标准差 (%)	加或减标准差 (%)	加或减标准差 (%)
C_0	600	94.67±0.76 ^{a)}	58.67±1.76 ^{b)}	26.67±2.57 ^{d)}
C_1	600	95.00±0.50 ^{a)}	80.33±1.76 ^{a)}	55.50±4.58 ^{b)}
C_2	600	94.67±0.76 ^{a)}	84.67±1.26 ^{a)}	62.83±4.16 ^{a)}
C_3	600	94.83±0.76 ^{a)}	86.50±1.32 ^{a)}	66.17±3.51 ^{a)}
C_4	600	95.17±0.76 ^{a)}	68.50±1.32 ^{c)}	31.33±2.75 ^{c)}
C_5	600	94.83±0.76 ^{a)}	65.83±1.61 ^{c)}	28.56±1.91 ^{cd)}

注: 上标字母说明同表 3。

表 5 饲料中 Vc(LAPP)含量对幼蟹蜕皮的影响

组别	M / 只	第一次蜕皮后			第二次蜕皮后			第三次蜕皮后			
		M	C_I	MF	C_I	C_{II}	MF	C_I	C_{II}	C_{III}	MF
		C_0	27	534	0.95 ^{a)}	78	189	1.71 ^{bc)}	36	46	78
C_1	32	532	0.94 ^{a)}	61	380	1.86 ^{a)}	35	86	209	2.53 ^{a)}	
C_2	26	529	0.95 ^{a)}	79	410	1.84 ^{a)}	33	93	251	2.58 ^{a)}	
C_3	24	534	0.96 ^{a)}	59	448	1.88 ^{a)}	31	91	275	2.61 ^{a)}	
C_4	37	527	0.93 ^{a)}	67	242	1.78 ^{b)}	27	58	102	2.39 ^{b)}	
C_5	35	526	0.94 ^{a)}	97	206	1.68 ^{c)}	41	56	74	2.19 ^{c)}	

注: M 为大眼幼体; C_I 为 I 期幼蟹个数; C_{II} 为 II 期幼蟹个数; C_{III} 为 III 期幼蟹个数; MF 为蜕皮频率。上标字母说明同表 3。

知, 大眼幼体蜕皮变态成 I 期幼蟹时, Vc 对其蜕皮频率的影响不明显, 各处理组间差异不显著 ($P > 0.05$); 发育变态到 II 期、III 期幼蟹时影响才开始表现出来。III 期幼蟹平均蜕皮频率以 C_3 组最高, 为

3.2 Vc 对幼蟹存活的影响

对不同处理组各期幼蟹的存活率见表 4。由表 4 可知, 大眼幼体变态成 I 期幼蟹时, 各组的幼蟹存活率均很高, 6 个处理组平均存活率高达 94.86%, 且差异不显著 ($P > 0.05$); 发育到 II 期幼蟹时, 各处理组幼蟹存活率开始出现明显的差异 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$), 其中 C_3 组的成活率最高, 达 86.50%; C_2 组次之, 为 84.67%; C_0 组最低, 为 58.67%; 25 d 后各组间差异更显著 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$), 仍以 C_3 处理组为最高, 达 66.17% C_0 组最低, 仅为 26.67%。 C_5 处理组幼蟹的存活率比 C_3 组的低了 131.69%, 仅比 C_0 组的高了 7.10%。

此外, 实验过程中观察到, 各期死亡的幼蟹均为个体较小或刚蜕皮的幼蟹, 同时饲料 Vc 添加量为 400 mg/100 g 以内时, 各期存活幼蟹的活力呈现出随 Vc 添加量增加而增强的趋势。

3.3 Vc 对幼蟹的平均蜕皮频率的影响

幼蟹平均蜕皮频率结果见表 5。由表 5 数据可

2.61; 其次是 C_2 组; C_5 组最低, 仅为 2.19。统计分析发现, C_0 组与 C_1 , C_2 , C_3 组间有显著性差异 ($P < 0.05$), 而与 C_4 和 C_5 组间差异不显著 ($P > 0.05$)。

观察发现 C_1 , C_2 , C_3 三个组幼蟹蜕皮同步率高、发育较整齐, C_4 和 C_5 组幼蟹蜕皮同步性差、个体大

小相差较大,而 C_0 和 C_5 组幼蟹的蜕皮次数减少,蜕皮周期相对延长。

3.4 饲料中不同浓度 Vc(LAPP)对幼蟹 Vc含量的影响

对各组幼蟹 Vc含量的测定结果见表 6 由表 6 可看出,幼蟹体内 Vc浓度呈现出随饲料中 LAPP水

表 6 饲料中 Vc(LAPP)浓度对幼蟹 Vc含量($\mu\text{g/g}$)的影响

组别	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
Vc含量	$39.34 \pm 3.1^{d)}$	$79.87 \pm 5.2^{c)}$	$139.21 \pm 8.7^{b)}$	$158.81 \pm 8.9^{a)}$	$161.23 \pm 10.2^{a)}$	$163.24 \pm 11.4^{a)}$

注:上标字母说明同表 3

3.5 Vc对幼蟹耐低氧能力、抗 pH 值突变、抗盐度突变能力的影响

在饲料中添加 Vc对幼蟹抗逆性能影响的结果见表 7。停止充氧 48 h后,各组幼蟹死亡率以 C_0 组为最高, C_4 组为最低,其余从高到低依次是 C_1 , C_5 , C_2 , C_3 组,统计分析表明,幼蟹的存活率在 C_0 , C_1 , C_2 , C_3 和 C_5 组与 C_4 组间有显著差异 ($P < 0.05$),而

平升高而增加的趋势。统计结果表明, C_0 组与 C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 组间差异显著 ($P < 0.05$), C_1 , C_2 两组与 C_3 , C_4 , C_5 3组间存在显著性差异 ($P < 0.05$),而 C_1 与 C_2 组间以及 C_3 , C_4 和 C_5 3组间差异不显著 ($P > 0.05$)。

存活个体活力以 C_2 , C_3 和 C_4 组较强, C_0 组活力最差。停止充氧时间延长至 72 h时,水体中溶解氧下降至 0.76 mg/dm^3 ,各处理组幼蟹的死亡率均很高, C_0 , C_1 , C_2 , C_3 , C_4 和 C_5 组幼蟹的死亡率分别高达 100%, 100%, 90%, 90%, 90%, 100%,各处理组间幼蟹存活率差异不显著 ($P > 0.05$),且幼蟹存活的活动能力也很弱。

表 7 不同 Vc浓度处理组停止充氧 48 h后幼蟹耐缺氧、耐 pH 值突变和耐盐度突变能力的观测结果

组别	放养数 / 只	耐氧试验幼蟹平均死亡率 (%)	pH 值突变幼蟹平均死亡率 (%)	盐度突变幼蟹平均死亡率 (%)
C_0	30	$80.00 \pm 10.00^{b)}$	$63.33 \pm 15.28^{b)}$	$40.00 \pm 10.00^{a)}$
C_1	30	$73.33 \pm 5.77^{b)}$	$60.00 \pm 10.00^{b)}$	$40.00 \pm 10.00^{a)}$
C_2	30	$66.67 \pm 5.77^{b)}$	$40.00 \pm 10.00^{b)}$	$33.33 \pm 5.77^{a)}$
C_3	30	$60.00 \pm 10.00^{b)}$	$43.33 \pm 11.55^{a)}$	$30.00 \pm 10.00^{a)}$
C_4	30	$56.67 \pm 5.77^{a)}$	$56.67 \pm 15.28^{b)}$	$30.00 \pm 10.00^{a)}$
C_5	30	$70.00 \pm 10.00^{b)}$	$60.00 \pm 10.00^{b)}$	$36.67 \pm 5.77^{a)}$

注:上标字母说明同表 3。

在水体 pH 值由 7.23突然降至 4.35的 3 d后, C_0 , C_1 , C_4 , C_5 四个处理组幼蟹的死亡率较高,而 C_2 , C_3 两处理组的较低,并且这两组幼蟹的活力最强。统计结果表明, C_3 组与 C_0 , C_1 , C_2 , C_4 , C_5 组间死亡率差异显著 ($P < 0.05$),而 C_0 , C_1 , C_2 , C_4 , C_5 组间差异不显著 ($P > 0.05$)。此外,各组幼蟹的体色均有一定的变化。

在饲料中 Vc添加量对幼蟹耐盐度突变的能力影响不明显,盐度由 5.475迅速上升到 11.246 变幅达 5.771,各处理组幼蟹 5 d内均能正常存活,且均有幼蟹蜕皮。各处理组之间差异不显著 ($P > 0.05$),但饲喂添加了 Vc饲料组的幼蟹活力相对较强。

4 讨论

Vc是甲壳类必不可少的营养素,在饲料中添加

适量的 Vc有助于甲壳类动物的生长、存活和健康^[1]。在机体代谢过程中, Vc参与体内的羟基化反应以及物质代谢中氧化还原体系的构成,保护酶系统中的活性巯基,进而参与机体代谢,促进细胞间质合成,降低毛细血管的通透性,促进伤口愈合,增强机体免疫功能和抗病能力。此外, Vc参与铁的吸收和叶酸的还原。大多数陆生动物能由葡萄糖醛酸合成 Vc,但绝大部分水生动物(包括虾蟹类),由于在这一生物合成过程中最后的阶段缺乏所需要的古洛糖酸内酯氧化酶(gulonolactone oxidase)而不能合成 Vc^[4-5],所以虾蟹要得到充足的 Vc需靠饲料的不断供应。

实验结果表明,处理组中大眼幼体变态成 I 期幼蟹时的增重率、平均蜕皮率、存活率等指标的差异

不显著 ($P > 0.05$), 其原因可能是大眼幼体变态成 I 期幼蟹的时间较短, 体内积累的 Vc 尚未耗尽, 外源 Vc 的作用未充分发挥的缘故, 而 I 期幼蟹继续发育至 II 期、II 期时, 各处理组幼蟹的生长率、平均蜕皮率和存活率出现了显著性差异 ($P < 0.05$). 在适宜范围内, 随着添加 Vc 量的增加, 幼蟹的增重率、平均蜕皮率和存活率均呈上升趋势, 如 C₂、C₃ 组. Vc 能促进幼蟹生长发育和存活, 是由于它能调节机体的新陈代谢, 加速体内积累的营养物质的分解, 转化为机体生长所需的物质和能量, 从而促进幼蟹的生长发育. 此外, 幼蟹是河蟹快速发育阶段之一, 它需要很高的能量, 处于一种代谢需要状态, 而 Vc 作为这一过程中的必需组分, 适量添加 Vc 有助于其健康生长, 增强体质, 同时 Vc 参与机体的羟基化反应, 能将脯氨酸和赖氨酸转变成羟脯氨酸和羟赖氨酸, 而后两者是构成胶原蛋白的主要物质, 适量添加 Vc 能促进幼蟹胶原蛋白和几丁质的生物合成, 有利于外壳的硬化. 若 Vc 缺乏、不足或过量均会引起机体新陈代谢紊乱, 影响幼蟹的正常生理生化过程, 进而显著影响其生长发育和存活 ($P < 0.05$), 如 C₀、C₄ 和 C₅ 组, 其幼蟹的增重率、平均蜕皮率和存活率均较低.

其他研究者研究甲壳类动物的 Vc 营养需求时也得出相似结果. 适量添加 Vc 能促进对虾幼体变态、生长, 增强对虾的抗病力、抗应激能力和抗低氧能力以及提高其存活率等^[6-12], 而 Vc 缺乏或不足或过量时会影响对虾的生长发育、蜕皮和存活, 并出现“黑死病 (black death)”^[12-21]. 本实验还发现, 饲料中缺乏 Vc 时, 虽然幼蟹的增重率和成活率均较低, 却没有出现类似海水虾类中所表现的 Vc 缺乏症状, 如黑斑病等, 这可能与本实验期较短以及淡水与海水甲壳类动物的种间差异、生长环境不同有关, 这与刘永坚等^[22] 和吴锐全等^[23] 对罗氏沼虾的研究结果较一致.

实验发现, 饲料中的 Vc 水平会影响幼蟹全蟹中的 Vc 含量, 随着饲料中 Vc 添加量的增加, 蟹体

内的 Vc 含量升高. A lava 等^[24] 在报道中指出饲料中的 Vc 在一定程度上使日本对虾 (*Penaeus japonicus*) 全虾和卵巢中的 Vc 量增加并达到饱和. Shiao 等^[25] 研究得出, 斑节对虾 (*Penaeus monodon*) 肝胰腺中的 Vc 量随饲料中 Vc 酯 (硫酸酯和单磷酸酯) 水平的升高而增加. 中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 肝胰腺和肌肉中 Vc 浓度也随饲料中 IAPP 含量的增加而升高^[20]. 这与本实验的研究结果是一致的.

耐低氧能力试验表明, 饲料中添加 Vc 可以提高幼蟹耐低氧能力, 延长其存活时间, 且随着饲料中 Vc 浓度的升高幼蟹的存活率也逐步提高, 这说明饲料中的 Vc 能够增强幼蟹的耐低氧能力, 但随着水体中溶氧量的降低, 各组幼蟹的存活率都较低, 这也表明 Vc 提高幼蟹耐低氧能力是有一定限度的. 当水环境中溶解氧降低到一定程度时, 如停止充气 72 h, 水中溶解氧为 0.76 mg/dm³ 时, 则添加 Vc 也不能阻止幼蟹的死亡. Vc 添加量的不同对幼蟹耐低氧能力影响的作用机理是由于适量的添加 Vc 能促进幼蟹的新陈代谢, 改善了幼蟹的生理状况, 从而提高了幼蟹对低氧的耐受能力; 与之相反, Vc 的缺乏影响了幼蟹体内的某些生化代谢过程, 从而使幼蟹对耐低氧抵抗力下降. 这与饲料中适量添加 Vc 能增强对虾的低氧和缺氧耐受力的研究结果是一致的^[8, 26, 27]. 在耐 pH 值突变能力试验中发现, 幼蟹的死亡率, 以 C₀、C₁、C₄ 和 C₅ 四个组较高, C₂ 和 C₃ 两组较低, 且存活幼蟹的活力最强, 这表明添加 Vc 能在一定范围内增强幼蟹对 pH 值突变的耐受力. 耐盐度突变试验表明, 各处理组幼蟹对盐度突变都有较强的耐受力, 且能正常蜕皮, 但投喂添加了 Vc 饲料处理组的幼蟹活动能力相对较强, 这与 Merchie 等^[28] 研究斑节对虾对抗盐度突变能力的结果不同, 他们发现饲料中添加 Vc 可提高对虾抗盐度突变能力, 随饲料中 Vc 含量的增加, 斑节对虾对盐度突变的耐受力也增强, 这是否与河蟹是咸淡水种类有关尚有待于进一步研究.

参考文献:

- [1] LIGHTNER D V, HUNTNER B, MAGARELLI P C Jr et al. Ascorbic acid nutritional requirement and role in wound repair in penaeid shrimp [J]. Proc World Maricult Soc, 1979, 10: 513-528.
- [2] WANG X Y, SEIB P A. Liquid chromatographic determination of a combined form of L-ascorbic acid (L-Ascorbyl-2-sulfate) in fish tissue by L-ascorbic Acid [J]. Aquaculture, 1990, 87: 65-84.
- [3] NELISH J, DE LEENHEER A, MERCHIE G, et al. Liquid chromatographic determination of vitamin C in aquatic organisms [J]. Journal of Chromatographic Science, 1997, 35: 337-341.

- [4] CHATTERJEE IB. Evolution and biosynthesis of ascorbic acid[J]. Science 1973, 182: 1 271—1 272.
- [5] DABROWSKI K. Ascorbic acid status in the early life of whitefish(*Coregonus laurussetus* L.) [J]. Aquaculture 1990, 84: 61—70.
- [6] 马 , 张道波, 王克行. 中国对虾幼体维生素 C 需求量的研究 [J]. 水产学报, 1998, 7(增刊): 118—122.
- [7] 马 , 张道波, 王克行. 饵料添加包膜维生素 C 和维生素 C 磷酸酯镁对中国对虾幼虾的影响 [J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(3): 273—277.
- [8] 王安利, 母学全, 凌利英. 中国对虾配合饲料中维生素 C 添加量的研究 [A]. 91 年全国海水养殖学术讨论会暨海马科技活动会论文集 [C]. 北京: 海洋出版社, 1992, 380—386.
- [9] GUARY M, KANAZAWA A, TANAKA N, et al. Nutritional requirement of prawn VI. Requirements for ascorbic acid [C]. Mem Fac Fish Kagoshima Univ, 1976, 25: 53—57.
- [10] KONTARA E K, MERCHIE G, LAVENS P, et al. Improved production of postlarval white shrimp through supplementation of L-ascorbyl-2-phosphate in their diet [J]. Aquaculture International 1997, 5: 127—136.
- [11] MERCHIE G, LAVENS P, KONTARA E K, et al. Supplementation of ascorbic acid 2-phosphate during the early postlarval stages of penaeid shrimp (*Penaeus monodon* and *Penaeus vannamei*) [J]. Aquaculture Nutr, 1997, 3(3): 254—233.
- [12] LAVENS P, MERCHIE G, RAMOS X, et al. Supplementation of ascorbic acid 2-phosphate during the early postlarval stages of the shrimp, *Penaeus vannamei* [J]. Aquaculture Nutr, 1999, 5: 205—209.
- [13] DESHMARA O, KUROKIK. Adequate dietary levels of ascorbic acid for prawn [J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1976, 72: 571—576.
- [14] DESHMARA O, KUROKIK. Studies on a purified diet for prawn VII. Adequate dietary levels of ascorbic acid and inositol [J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1976, 42: 471—576.
- [15] LIGHTNER D V, COLVIN L B, BRAND C, et al. Black death: a disease syndrome of penaeid shrimp related to a dietary deficiency of ascorbic acid [J]. Proc World Maricult Soc, 1977, 8: 611—618.
- [16] MAGARELLI P C Jr, HUNTER B, LIGHTNER D V, et al. Black death: an ascorbic acid deficiency disease in penaeid shrimp [J]. Comp Biochem Physiol 1979, 63A: 103—108.
- [17] HE Hai LAWRENCE A L. Vitamin C requirements of the shrimp *Penaeus vannamei* [J]. Aquaculture, 1993, 114: 305—314.
- [18] 高振亮, 刘洪尧, 矫举昌, 等. 中国对虾白斑病防治技术研究 [J]. 齐鲁渔业, 1992, 3: 15—17.
- [19] SHIAU S Y, LUNG F L. Ascorbic acid requirement of grass shrimp (*Penaeus monodon*) [J]. Nippon Suisan Gakkaishi 1992, 58: 363.
- [20] 徐志昌, 刘铁斌, 雷清新, 等. 中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 维生素营养的研究: V. 中国对虾维生素 C 营养 [J]. 青岛海洋大学学报, 1994, 24(3): 364—372.
- [21] 韩阿寿, 梁亚全, 高淳仁, 等. 斑节对虾对磷酸酯化维生素 C 的需求量研究 [J]. 水产学报, 1996, 20(1): 88—91.
- [22] 刘永坚, 刘栋辉, 曹俊明, 等. 罗氏沼虾对维生素 C 的需求 [J]. 水产科技情报, 1998, 25(1): 3—9.
- [23] 吴锐全, 肖学铮, 黄樟翰, 等. 饲料中维生素 C 添加量对罗氏沼虾生长的影响 [J]. 中山大学学报, 2000, 39(增刊): 329—333.
- [24] ALAVA V R, KANAZAWA A. Effect of dietary Vitamin A, E and C on the ovarian development of *Penaeus japonicus* [J]. Bull Jap Soc Sci Fish 1993, 59: 1 235—1 241.
- [25] SHIAU S Y, HSU T S. Vitamin C requirement of grass shrimp, *Penaeus monodon*, as determined with L-ascorbyl-2-monophosphate [J]. Aquaculture, 1994, 122: 347—357.
- [26] 王安利, 母学全, 凌利英. 中国对虾配合饲料中维生素 C 添加量的研究 [J]. 海洋与湖沼, 1996, 27(4): 368—371.
- [27] 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.
- [28] MERCHIE G, KONTARA E K, LAVENS P, et al. Effect of vitamin C and astaxanthin on stress and disease resistance of postlarval tiger shrimp *Penaeus monodon* (Fabricius) [J]. Aquaculture Research 1998, 29: 579—585.

Studies on vitamin C requirements of the juvenile crab (*Eriocheir sinensis*)

CHEN Li-qiao¹, AI Chun-xiang¹, WEN Xiao-bo¹, LIU Xiao-ling¹, JIANG Hong-bo¹

(1. College of Life Science, East China Normal University, Shanghai 20062, China)

Abstract L-ascorbyl-2-polyphosphate (LAPP) was used as a vitamin C source to study the dietary Vc requirements of the juvenile crabs *Eriocheir sinensis*. A cultured trial for 25 d was performed using six levels of LAPP at 0 (C₀), 100 (C₁), 200 (C₂), 400 (C₃), 800 (C₄) and 1 000 mg/100 g (C₅) diet in isonitrogen and isoenergy purified diets. Each treatment was run in triplicate. The results show that the normal growth, survival and ecdysis of the juvenile crabs were maintained when purified diets were supplemented with 100~400 mg/100 g diet vitamin C. The weight growth rate, survival rate and average molt frequency of juvenile crabs at Stages II and III fed with C₂ and C₃ are higher than those of crabs fed with C₀, C₁, C₄ and C₅. In the range from 200 mg/100 g diet to 400 mg/100 g diet, the weight growth rate, survival rate and ecdysis frequency of the juvenile crabs at Stages II and III are increased with increase of vitamin C content; when juvenile crabs at Stage III fed with C₂ and C₃, the results are 516.18%, 458.89%, 62.83%, 66.17%, 2.58 and 2.61 respectively. Performance of juvenile crabs at Stage III are significantly reduced by feeding Vc-deficient diets. Those data of the C₀ are 265.31%, 26.67% and 2.26 respectively. Diets that are excessively supplemented in Vc do not perform better. When diets were supplemented Vc at 800~1 000 mg/100 g diet, the weight growth rate, survival rate and ecdysis frequency of the juvenile crabs at Stages II and III are lowered. The results of the juvenile crabs evaluations at Stage III are 355.7%, 307.53%, 31.33%, 28.56%, 2.39 and 2.19 respectively. The anti-stress trial results also demonstrate that when the juvenile crabs fed with the diets supplemented with Vc their ability to endure hypoxia and pH saltation was enhanced ($P < 0.05$). However the Vc levels do not show significant effects on tolerance for salinity saltation of the juvenile crabs ($P > 0.05$).

In conclusion, The optimal vitamin C levels for juvenile crabs are 200~400 mg/100 g diet. Vitamin C can also increase the anti-stress abilities of juvenile crabs.

Key words juvenile crab of (*Eriocheir sinensis*); vitamin C; nutritional requirement; anti-stress