

维生素 E 对红螯螯虾 (*Cherax quadricarinatus*) 繁殖性能的影响*

罗文 王群 赵云龙¹⁾ 顾志敏²⁾
宓国强²⁾ 黄鲜明²⁾ 刘启文²⁾

(华东师范大学生命科学学院 上海 200062; 绍兴文理学院生物系 绍兴 312000)

¹⁾(华东师范大学生命科学学院 上海 200062)

²⁾(浙江省淡水水产研究所 湖州 313001)

提要 采用单因素方差分析等方法,进行不同 VE 含量的饲料投喂试验研究,以观察其对红螯螯虾繁殖性能的影响。结果表明,红螯螯虾雌虾增重率、性腺指数、单个虾抱卵卵重、单个虾抱卵数量、单个卵卵重及孵化率均以饲料 3 组最高,以上指标分别为 $(30.42 \pm 1.55)\%$ 、 6.55 ± 1.10 、 $(2.86 \pm 0.11) \text{g}$ 、 $(563 \pm 18) \text{ind}$ 、 $(5.08 \pm 0.09) \text{mg/ind}$ 和 $(45.53 \pm 3.88)\%$ 。各组受精卵中,必需氨基酸的总量、总脂的湿重和干重也以饲料 3 组最高,分别为 $(37.23 \pm 0.0207)\%$ 、 $(18.55 \pm 1.14)\%$ 和 $(31.69 \pm 1.04)\%$ 。无论中性脂还是磷脂中,各组受精卵的脂肪酸组成基本相同,均以 C16:0、C16:1、C18:1 ω 9 和 C18:2 ω 6 为主;另饲料 3 组中 C20:4 的含量较低,而 C20:5 ω 3 和 C22:6 ω 3 的含量较高。说明饲料中 VE 含量为 $(0.0192 \pm 0.0023)\%$ 时可明显提高红螯螯虾的繁殖性能。VE 主要是通过提高红螯螯虾受精卵的质量,而进一步提高胚胎发育的成活率和孵化率。

关键词 红螯螯虾, 维生素 E, 繁殖性能, 受精卵

中图分类号 S968

红螯螯虾 (*Cherax quadricarinatus*) 俗称澳洲淡水龙虾,是目前较具增殖潜力的淡水经济虾类之一 (Clive, 1995)。但因其产卵量低、孵化率不高等原因,迄今为止在国内尚未形成规模化养殖。饲料作为亲虾最主要、最直接的营养来源,对亲虾的生长发育至关重要。因此,如何通过强化饲料营养促进亲虾性腺发育、改善卵子质量、提高抱卵量及孵化率已成为甲壳动物繁殖营养学领域的一个热点。维生素 E (Vitamin E, VE) 作为一种天然抗氧化剂,对动物生长发育的影响备受关注。已有研究表明,VE 可有效促进日本对虾 (*Penaeus japonicus*) 和中国对虾 (*P. chinensis*) 的生长发育 (Alava *et al.*, 1993; 陈四清等, 1993); 而饲料中添

加 3% 的 VE 则能促进斑节对虾 (*P. monodon*) 的性腺成熟及产卵,提高受精率和早期幼体的活力;此外,通过高、低剂量 VE 添加组的比较研究发现,高剂量组的印度对虾 (*P. indicus*) 其孵化率显著高于低剂量组 (Cahu *et al.*, 1995); 然而,VE 的缺乏则会使亲虾出现肌肉萎缩、白斑病、性腺发育缓慢、怀卵量低、繁殖力下降等症状 (荣长宽等, 1998)。因此,VE 对虾蟹等甲壳动物的生殖具有重要影响,但上述研究在红螯螯虾中至今仍未见报道。作者通过在饲料中添加不同剂量的 VE, 研究其对红螯螯虾亲虾繁殖性能的影响, 以期对红螯螯虾的营养强化及虾蟹的繁殖营养学研究积累基础资料。

* 上海市教委曙光计划资助, 01SG24 号; 国家自然科学基金项目资助, 30270161 号; 国家农业科技成果转化资金资助, 02EFN21330026 号。罗文, 博士, E-mail: luowenbosi@163.com

1) 通讯作者: 赵云龙, 教授, 博士生导师, E-mail: ylzha@bio.ecnu.edu.cn

收稿日期: 2003-11-10, 收修改稿日期: 2004-08-04

1 材料与方法

1.1 材料

实验于 2002 年 9 月—2003 年 3 月在上海市青浦区商榻镇华东师范大学水产实习基地完成。实验用的红螯螯虾 (*Cherax quadricarinatus*) 亲虾取自浙江省淡水水产研究所养殖场, 为当年由虾苗养成的成虾。经一段时间暂养后, 选取附肢完整、发育完善的 180 只雌虾和 90 只雄虾, 平均体重分别为 (72.41 ± 5.32) g 和 (80.73 ± 6.68) g。亲虾饲养在 $50\text{cm} \times 80\text{cm} \times 50\text{cm}$ 的塑料缸内, 每缸内随机放置 10 雌 5 雄 (2:1)。水温 (28 ± 1) °C, 水深 35cm, 间歇式增氧, 每天 16:30 投喂饵料, 次日上午 9:00 吸去粪便、残饵, 并换水 1/3。

1.2 方法

1.2.1 分组 实验共分为 6 组, 每组设 3 个平行。0 组为对照组, 仅投喂夹碎的螺蛳。1—5 组的实验饲料包括不变成分和可变成分, 可变成分见表 1; 不变成分的干重配比 (% 干重) 分别为: 鱼粉 35.0、豆粉 25.0、糊精 13.0、明胶 10.0、粘合剂

0.5、维生素预混料 3.4、矿物质预混料 2.0、氯化胆碱 0.5、胆固醇 0.5、甘氨酸 0.5、鱼油 6.0、卵磷脂 3.0。其中, 维生素预混料(不含 VE)的成分为: 每 100g 饲料中含 VK 60mg、泛酸 458mg、VB₆ 60mg、VB₂ 200mg、VB₁ 600mg、生物素 120mg、烟酸 600mg、叶酸 120mg、肌醇 600mg、VA 600mg、VD 60mg; 矿物质预混料的成分 (%) 为: NaH₂PO₄ 10、KH₂PO₄ 21.5、Ca(H₂PO₄)·2H₂O 26.5、CaCO₃ 10.5、Ca-lactate 16.5、MgSO₄·7H₂O 10、AlCl₃·2H₂O 1.2、ZnSO₄·7H₂O 0.511、Fe-citrate 0.061、MnSO₄·4H₂O 0.143、KI 0.058、CuCl₂·0.051、CoCl·6H₂O 0.176、KCl 2.8。

表 1 5 组半纯化实验饲料的可变成分 (% 干重)

Tab 1 Variable ingredients of the five semi-purified experimental diets (% DW)

实验饲料组	1	2	3	4	5
维生素 E	0	0.0044	0.022	0.11	0.55
纤维素	0.6	0.5956	0.578	0.49	0.05

各组饲料中 VE 的实际含量见表 2。

表 2 各实验组饲料实际 VE 含量 (% 干重, n = 3)

Tab 2 Factual content of vitamin E in each experimental diets group (% DW, n = 3)

饲料 0	饲料 1	饲料 2	饲料 3	饲料 4	饲料 5
0.0085 ± 0.0005^a	0.0101 ± 0.0012^b	0.0150 ± 0.0018^c	0.0192 ± 0.0024^d	0.0217 ± 0.0019^e	0.0276 ± 0.0026^f

注: 同行数值上标相同, 表明组间差异不显著 ($P > 0.05$); 反之表明差异显著 ($P < 0.05$, a < b < c < d < e)。表 3—表 7 同

1.2.2 取材 定期观察和记录雌虾生长情况, 当发现首只抱卵虾后, 开始计算第一和第二个月的抱卵亲虾数, 并从每个实验组的 3 个平行中分别随机抽取 1 只未抱卵的亲虾, 擦干虾体表水分, 准确称重, 然后迅速取出其肝胰腺和卵巢, 称重并计算性腺指数 (Gonadosomatic index, *GSI*) 和肝体指数 (Hepatopancrea somatic index, *HSI*), 其余亲虾继续饲养至抱卵, 并从各组的 3 个平行中随机抽取 1 只刚抱卵的亲虾, 取其受精卵, 称重后迅速放入 -70 °C 保存, 以备生化测定; 剩余的刚抱卵亲虾称重后, 小心展开其腹部计算抱卵数, 之后单独饲养 (每个亲虾养殖条件相同) 至仔虾孵出, 分别计算其孵化率。

1.2.3 样品测定及分析 维生素 E 测定: 采用高压液相色谱法 (HPLC), 详见 Xu 等 (1994)。

氨基酸测定: 每组取受精卵 0.5g, 样品经真空冷冻干燥后, 用 6mol/L 盐酸 110 °C 水解 18h, 然后用

日立 835-50 型氨基酸分析仪测定氨基酸的含量。

脂类及脂肪酸测定: 采用 Folch 法提取总脂, 采用溶剂法 (液-液分离法) 分离中性脂和磷脂, 脂肪酸组成分析采用毛细管气相色谱法 (APGC), 详见成永旭等 (1998)。

以上数据均用 SPSS 统计软件进行方差分析和多重比较。

2 结果

2.1 VE 对红螯螯虾繁殖性能的影响

由表 3 可见, 添加 VE 后, 饲料 1、2、5 组红螯螯虾雌虾成活率略高, 为 86.67% 左右。雌虾第一个月的抱卵率在各组间无统计差异, 而第二个月的抱卵率则以饲料 3 组最高, 为 (84.00 ± 3.43) %, 且与其它组相比差异显著。从饲料 0 组至 5 组, 雌虾增重率、性腺指数、单个虾抱卵卵重、单个虾抱卵数量、单个卵卵重及孵化率均呈中间高、两端低的变化趋势, 其中以饲料 3 组最高, 分

表3 维生素 E 对红螯螯虾繁殖性能的影响

Tab. 3 Effects of vitamin E on reproductive performance of *C. quadricarinatus*

性能指标	饲料 0	饲料 1	饲料 2	饲料 3	饲料 4	饲料 5
雌虾成活率 (%)	83.33 ± 4.21 ^a	86.67 ± 5.46 ^b	86.67 ± 5.32 ^b	83.33 ± 4.82 ^a	83.33 ± 3.87 ^a	86.67 ± 5.63 ^b
一个月抱卵率 (%)	44.00 ± 2.04 ^a	42.31 ± 1.85 ^a	42.31 ± 1.78 ^a	48.00 ± 2.03 ^a	40.00 ± 1.92 ^a	46.15 ± 1.74 ^a
二个月抱卵率 (%)	72.00 ± 2.94 ^a	73.08 ± 2.87 ^a	76.92 ± 3.15 ^{ab}	84.00 ± 3.43 ^b	72.00 ± 2.74 ^a	76.92 ± 3.09 ^{ab}
雌虾增重率 (%)	17.45 ± 0.76 ^{bc}	14.39 ± 0.73 ^a	19.77 ± 1.24 ^c	30.42 ± 1.55 ^d	14.59 ± 1.96 ^a	15.27 ± 1.25 ^b
性腺指数 (CSI%)	2.04 ± 0.24 ^a	1.75 ± 0.08 ^a	3.76 ± 0.27 ^b	6.55 ± 1.10 ^c	1.96 ± 0.62 ^a	1.76 ± 0.13 ^a
肝体指数 (HS%)	4.96 ± 0.64 ^b	5.24 ± 1.04 ^b	4.34 ± 0.77 ^{ab}	3.25 ± 0.20 ^a	4.76 ± 0.23 ^b	5.35 ± 0.90 ^b
单个虾抱卵卵重 (g)	2.23 ± 0.06 ^a	2.24 ± 0.11 ^a	2.43 ± 0.09 ^{ab}	2.86 ± 0.11 ^b	2.45 ± 0.28 ^{ab}	2.38 ± 0.39 ^{ab}
单个虾抱卵数量 (ind)	492 ± 16 ^{ab}	487 ± 11 ^a	506 ± 15 ^{ab}	563 ± 18 ^c	519 ± 16 ^{ab}	522 ± 18 ^b
单个卵卵重 (mg/ind)	4.53 ± 0.15 ^a	4.59 ± 0.13 ^a	4.80 ± 0.14 ^b	5.08 ± 0.09 ^c	4.72 ± 0.13 ^b	4.56 ± 0.11 ^a
孵化率 (%)	36.66 ± 2.79 ^{ab}	35.38 ± 2.14 ^a	39.84 ± 3.62 ^{ab}	45.53 ± 3.88 ^c	40.99 ± 2.65 ^b	38.66 ± 3.45 ^{ab}

注: (1) 性腺指数 = (卵巢湿重 × 100) / 体湿重; (2) 肝体指数 = (肝胰腺湿重 × 100) / 体湿重; (3) 孵化率 = (仔虾数 / 抱卵数) × 100

别为 (30.42 ± 1.55) %、6.55 ± 1.10、(2.86 ± 0.11) g、(563 ± 18) ind、(5.08 ± 0.09) mg/ind、(45.53 ± 3.88) %。肝体指数则以饲料 3 组最低, 为 3.25 ± 0.20, 其它各组之间无统计差异。

2.2 VE 对红螯螯虾受精卵中氨基酸含量的影响

各组受精卵中必需氨基酸和非必需氨基酸的

总量(干重)基本呈先上升后下降的变化趋势, 结果见表 4。必需氨基酸的总量以饲料 3 组最高, 为 (37.23 ± 0.0207) %; 而非必需氨基酸则以饲料 4 组最高, 为 (31.46 ± 0.0214) %。饲料 3 组中主要必需氨基酸精氨酸(Arg)、亮氨酸(Leu) 以及非必需氨基酸谷氨酸(Glu) 均有显著性增加。

表 4 受精卵中各种氨基酸的含量(%干重, n = 3)

Tab. 4 The contents of different amino acids in fertilized eggs (% DW, n = 3)

氨基酸	饲料 0	饲料 1	饲料 2	饲料 3	饲料 4	饲料 5
EAA						
Thr	2.29 ± 0.0154 ^a	2.32 ± 0.0195 ^a	2.78 ± 0.0201 ^c	3.05 ± 0.0148 ^d	2.84 ± 0.0350 ^e	2.59 ± 0.0153 ^b
Val	3.45 ± 0.0302 ^a	3.40 ± 0.0419 ^a	3.92 ± 0.0190 ^c	4.54 ± 0.0234 ^e	4.18 ± 0.0703 ^d	3.65 ± 0.0204 ^b
Met	1.24 ± 0.0157 ^a	1.32 ± 0.0205 ^a	1.70 ± 0.0300 ^c	1.86 ± 0.0250 ^c	1.65 ± 0.0201 ^{bc}	1.54 ± 0.0351 ^b
Ile	2.81 ± 0.0153 ^a	2.84 ± 0.0208 ^a	3.27 ± 0.0201 ^c	3.24 ± 0.0100 ^d	3.43 ± 0.0153 ^e	3.05 ± 0.0200 ^b
Leu	4.48 ± 0.0153 ^b	4.16 ± 0.0436 ^a	5.05 ± 0.0200 ^d	5.72 ± 0.0252 ^f	5.29 ± 0.0252 ^e	4.73 ± 0.0153 ^c
Phe	3.08 ± 0.0513 ^a	3.27 ± 0.0252 ^b	3.75 ± 0.0265 ^c	4.35 ± 0.0208 ^e	3.92 ± 0.0100 ^d	3.27 ± 0.0200 ^b
His	2.13 ± 0.0116 ^b	2.03 ± 0.0200 ^a	2.24 ± 0.0200 ^c	3.19 ± 0.0252 ^e	2.54 ± 0.0153 ^d	2.13 ± 0.0208 ^{bc}
Lys	3.97 ± 0.0100 ^a	4.08 ± 0.0153 ^a	4.96 ± 0.0361 ^c	5.56 ± 0.0208 ^d	4.97 ± 0.0361 ^c	4.27 ± 0.0153 ^b
Arg	4.16 ± 0.0058 ^a	4.27 ± 0.0116 ^b	5.16 ± 0.0200 ^e	5.72 ± 0.0208 ^f	5.07 ± 0.0058 ^d	4.54 ± 0.0100 ^c
ΣEAA	27.61 ± 0.0124 ^a	27.69 ± 0.0215 ^a	32.83 ± 0.0203 ^c	37.23 ± 0.0207 ^d	33.89 ± 0.0189 ^c	29.77 ± 0.0187 ^b
NEAA						
Asp	5.89 ± 0.0265 ^b	5.24 ± 0.0493 ^a	6.91 ± 0.0153 ^e	6.56 ± 0.0351 ^d	7.39 ± 0.0351 ^f	6.10 ± 0.0158 ^c
Ser	2.81 ± 0.0100 ^a	2.78 ± 0.0200 ^a	3.43 ± 0.0153 ^c	3.46 ± 0.0351 ^c	3.65 ± 0.0153 ^d	3.21 ± 0.0153 ^b

续表

氨基酸	饲料 0	饲料 1	饲料 2	饲料 3	饲料 4	饲料 5
Glu	6.67 ± 0.0208 ^a	7.16 ± 0.0116 ^b	8.72 ± 0.0208 ^c	9.13 ± 0.0265 ^f	8.24 ± 0.0252 ^d	7.69 ± 0.0208 ^c
Gly	2.03 ± 0.0058 ^a	2.03 ± 0.0153 ^a	2.48 ± 0.0351 ^c	2.35 ± 0.0100 ^b	2.65 ± 0.0306 ^d	2.03 ± 0.0153 ^a
Ala	2.38 ± 0.0252 ^a	2.35 ± 0.0100 ^a	2.86 ± 0.0208 ^b	2.84 ± 0.0058 ^b	3.13 ± 0.0153 ^c	2.40 ± 0.0100 ^a
Cys	1.86 ± 0.0208 ^b	1.73 ± 0.0100 ^a	2.27 ± 0.0200 ^c	2.08 ± 0.0058 ^c	2.67 ± 0.0300 ^d	1.97 ± 0.0503 ^{bc}
Tyr	2.81 ± 0.0100 ^a	2.89 ± 0.0153 ^a	3.09 ± 0.0208 ^c	3.29 ± 0.0306 ^d	3.73 ± 0.0351 ^e	3.08 ± 0.0116 ^b
ΣNEAA	24.45 ± 0.0187 ^a	24.18 ± 0.0158 ^a	29.76 ± 0.0201 ^c	29.71 ± 0.0185 ^c	31.46 ± 0.0214 ^d	26.48 ± 0.0206 ^b

注: EAA 为必需氨基酸(essential amino acids); NEAA 为非必需氨基酸(non-essential amino acids)

2.3 VE 对红螯螯虾受精卵中脂类的影响

2.3.1 总脂 各组受精卵中总脂的湿重和干重均呈先上升后下降的变化趋势,其中以饲料 3 组最高,分别为(18.55 ± 1.14)%和(31.69 ± 1.04)%,与其它组相比有显著差异。各组间中性脂和磷脂在总脂中的百分含量均无统计差异,中性脂的含量约为磷脂的 2 倍,结果见表 5。

2.3.2 中性脂 由表 6 可见,各组受精卵中脂肪

酸的种类基本相同,均以 C16:0、C16:1、C18:1 ω 9 和 C18:2 ω 6 为主。其中 C16:0 以饲料 2 组最高,为(22.30 ± 0.36)%; C16:1 以饲料 1 组最高,为(12.90 ± 0.26)%; C18:1 ω 9 和 C18:2 ω 6 的含量以饲料 4 组最高,分别为(28.80 ± 0.61)%和(23.10 ± 0.30)%。但饲料 3 组中 C20:4 的含量较低,仅为(2.79 ± 0.11)%,而 C20:5 ω 3、C22:6 ω 3 的含量则最高,分别为(4.79 ± 0.36)%和(3.89 ± 0.02)%。

表 5 各组受精卵中的脂类含量($n = 3$)

Tab. 5 The contents of lipid in each fertilized eggs group ($n = 3$)

饲料组	总脂/湿重(%)	总脂/干重(%)	中性脂/总脂(%)	磷脂/总脂(%)
饲料 0	15.76 ± 1.23 ^a	28.89 ± 1.09 ^a	58.65 ± 2.12 ^a	32.05 ± 2.45 ^a
饲料 1	15.52 ± 0.92 ^a	28.51 ± 1.56 ^a	58.18 ± 2.74 ^a	31.55 ± 1.24 ^a
饲料 2	17.13 ± 0.98 ^c	29.86 ± 1.95 ^c	59.94 ± 2.94 ^a	32.04 ± 1.44 ^a
饲料 3	18.55 ± 1.14 ^d	31.69 ± 1.04 ^d	59.88 ± 2.01 ^a	32.16 ± 1.58 ^a
饲料 4	17.02 ± 1.08 ^c	29.91 ± 1.13 ^c	59.14 ± 1.96 ^a	31.84 ± 1.34 ^a
饲料 5	15.98 ± 1.02 ^b	29.05 ± 1.87 ^b	59.23 ± 2.16 ^a	32.78 ± 1.19 ^a

表 6 受精卵中中性脂的各种脂肪酸含量(%, $n = 3$)

Tab. 6 The contents of different fatty acid of neutral lipid in fertilized eggs(%, $n = 3$)

脂肪酸	饲料 0	饲料 1	饲料 2	饲料 3	饲料 4	饲料 5
C14:0	0.77 ± 0.02 ^d	0.56 ± 0.02 ^c	0.83 ± 0.03 ^e	0.43 ± 0.02 ^a	0.55 ± 0.01 ^{bc}	0.53 ± 0.02 ^b
C16:0	20.17 ± 0.45 ^b	21.90 ± 0.40 ^c	22.30 ± 0.36 ^c	20.70 ± 0.60 ^b	18.60 ± 0.70 ^a	20.70 ± 0.10 ^b
C16:1	9.69 ± 0.05 ^b	12.90 ± 0.26 ^d	10.70 ± 0.53 ^c	10.77 ± 0.45 ^c	7.79 ± 0.21 ^a	9.52 ± 0.09 ^b
C18:0	4.47 ± 0.08 ^b	4.27 ± 0.21 ^b	3.58 ± 0.31 ^a	4.77 ± 0.09 ^c	3.62 ± 0.05 ^a	4.20 ± 0.06 ^b
C18:1 ω 9	24.83 ± 0.71 ^a	25.73 ± 0.46 ^{ab}	26.50 ± 0.40 ^b	27.43 ± 0.45 ^c	28.80 ± 0.61 ^d	27.67 ± 0.81 ^c
C18:2 ω 6	15.80 ± 0.46 ^a	18.83 ± 0.31 ^c	17.10 ± 0.20 ^b	21.27 ± 0.32 ^d	23.10 ± 0.30 ^f	22.37 ± 0.55 ^e
C20:4	2.69 ± 0.06 ^a	2.75 ± 0.11 ^a	3.35 ± 0.08 ^b	2.79 ± 0.11 ^a	3.31 ± 0.03 ^b	2.84 ± 0.07 ^a
C20:5 ω 3	3.26 ± 0.23 ^a	3.44 ± 0.11 ^a	4.51 ± 0.11 ^{bc}	4.79 ± 0.36 ^c	4.63 ± 0.45 ^c	4.18 ± 0.16 ^b
C22:6 ω 3	2.64 ± 0.07 ^a	2.68 ± 0.09 ^a	3.16 ± 0.11 ^c	3.89 ± 0.02 ^d	2.97 ± 0.13 ^b	2.98 ± 0.18 ^b

2.3.3 磷脂 由表7可见, 磷脂中脂肪酸的种类与中性脂类似, 也以 C16: 0、C16: 1、C18: 1 ω 9 和 C18: 2 ω 6 为主。其中 C16: 0 以饲料3组最高, 为 (18.60 \pm 0.56)%; C16: 1 以饲料1组最高, 为 (9.71 \pm 0.06)%; C18: 1 ω 9 和 C18: 2 ω 6 以饲料3组最高, 分别达到 (26.27 \pm 0.47)% 和 (18.97 \pm 1.36)%。而饲料3组中 C20: 4 的含量亦较低, 仅为 (2.69 \pm

0.17)%。各组间 C20: 5 ω 3 与 C22: 6 ω 3 的百分含量随维生素 E 含量的增加均呈先上升后下降的变化趋势, C20: 5 ω 3 以饲料3组最高, 为 (10.30 \pm 0.28)%, 且与饲料0、1、2、5组差异显著, 而 C22: 6 ω 3 则以饲料4组最高, 为 (6.24 \pm 0.17)%, 与其它组相比均有显著差异。

表7 受精卵中磷脂的各种脂肪酸含量(%, n=3)

Tab. 7 The contents of different fatty acid of polar lipid in fertilized eggs(%, n=3)

脂肪酸	饲料0	饲料1	饲料2	饲料3	饲料4	饲料5
C14: 0	0.87 \pm 0.01 ^c	0.66 \pm 0.02 ^b	0.90 \pm 0.01 ^d	0.42 \pm 0.01 ^a	0.48 \pm 0.02 ^a	0.54 \pm 0.02 ^a
C16: 0	11.36 \pm 1.30 ^b	16.60 \pm 0.36 ^c	18.17 \pm 0.35 ^d	18.60 \pm 0.56 ^d	17.50 \pm 0.76 ^{cd}	8.16 \pm 0.16 ^a
C16: 1	7.19 \pm 0.18 ^c	9.71 \pm 0.06 ^e	8.73 \pm 0.08 ^d	3.77 \pm 0.41 ^a	4.74 \pm 0.11 ^b	8.46 \pm 0.15 ^d
C18: 0	9.70 \pm 0.21 ^e	7.68 \pm 0.16 ^d	6.30 \pm 0.27 ^c	3.45 \pm 0.22 ^a	4.19 \pm 0.13 ^b	7.42 \pm 0.29 ^d
C18: 1 ω 9	15.45 \pm 0.78 ^a	25.10 \pm 0.76 ^d	22.83 \pm 1.01 ^c	26.27 \pm 0.47 ^d	25.13 \pm 0.38 ^d	17.57 \pm 0.96 ^b
C18: 2 ω 6	11.87 \pm 0.45 ^b	8.42 \pm 0.53 ^a	15.73 \pm 0.42 ^d	18.97 \pm 1.36 ^e	15.17 \pm 0.87 ^{cd}	14.30 \pm 0.44 ^c
C20: 4	2.75 \pm 0.14 ^{bc}	3.36 \pm 0.35 ^d	2.52 \pm 0.19 ^b	2.69 \pm 0.17 ^{bc}	2.96 \pm 0.28 ^c	2.18 \pm 0.12 ^a
C20: 5 ω 3	7.93 \pm 0.18 ^a	7.89 \pm 0.22 ^a	8.20 \pm 0.13 ^b	10.30 \pm 0.28 ^c	10.10 \pm 0.23 ^c	8.15 \pm 0.34 ^b
C22: 6 ω 3	4.58 \pm 0.07 ^a	4.54 \pm 0.08 ^a	4.98 \pm 0.17 ^b	5.80 \pm 0.14 ^d	6.24 \pm 0.17 ^e	5.28 \pm 0.04 ^c

3 讨论

3.1 VE 与红螯螯虾繁殖性能间的关系

在饲料中添加适量的 VE, 可促进虾蟹的性腺成熟, 并能有效调控性激素的生物合成, 从而提高其繁殖性能 (Kanazawa, 1985)。本研究中作者发现: 饲料3组中红螯螯虾雌虾第二个月的抱卵率、增重率、性腺指数和孵化率, 均显著高于其它各组, 说明在饲料中添加 VE 不仅能够增加红螯螯虾雌虾的体重、促进卵巢的同步发育, 并加速其交配和抱卵, 而且还能明显提高受精卵的孵化率, 从整体上有效地增进了红螯螯虾雌虾的繁殖性能。但从饲料4和5组红螯螯虾亲虾的大多数繁殖性能指标出现明显下降的现象来看, 饲料中过量添加 VE 反而会影响亲虾繁殖性能的提高。这可能与过量的 VE 会对动物体产生毒害有关, 类似的结果在皱纹盘鲍 (*Haliotis discus hannai* Ino) 中也有报道 (周歧存等, 2001)。因此, VE 的适宜添加量对于有效提高红螯螯虾的繁殖性能具有重要意义。

目前有关甲壳动物 VE 适宜添加量的研究较多, 但大部分集中在 VE 对生长发育的影响上, 这些研究表明其适宜量因种而异, 如中国对虾的最适量为 0.0360—0.0440%, 斑节对虾为 0.0099%, 黑吉对虾 (*P. merguensis*) 为 0.0040% (艾春香, 2001)¹⁾。本研究中作者发现红螯螯虾繁殖的 VE 最适量为 (0.0192 \pm 0.0023)%(饲料3组)。

3.2 VE 对受精卵卵质的影响

饲料3组的单个虾抱卵数量、单个虾抱卵卵重、单个卵卵重均高于其它各组的说明, 适量添加 VE 不仅提高了亲虾的抱卵数量, 而且也增加了每个受精卵的卵重。而该组相关营养物质含量均明显高于其它各组, 说明适量添加 VE 确实促进了卵内营养物质的积累。此外, 从该组最高的孵化率进一步说明, VE 不仅提高了单个卵卵重, 同时也有效提高了亲虾的繁殖性能。

氨基酸和脂肪酸是虾蟹卵黄中的主要营养素, 除了参与细胞的构建外, 还是胚胎发育过程中的主要能源物质。因此, 卵子中氨基酸和脂肪酸

1) 艾春香, 2001. 中华绒螯蟹维生素营养生理研究. 华东师范大学博士学位论文, 9

积累的数量和质量影响着后续胚胎的发育以及苗种的质量(梁军荣等, 2000; 田华梅等, 2002)。就氨基酸而言, Leu 是沟通糖类与脂类代谢的重要中间物质; 而 Arg 在能量代谢中起重要作用; Glu 则与排氨、三羧酸循环及 VE 的抗氧化功能密切相关(沈同等, 1990; 刘丽华等, 1999)。因此, Leu、Arg 和 Glu 对维持虾蟹胚胎发育的正常代谢具有重要的意义(姚翠鸾等, 2000; 田华梅等, 2002)。本研究中发现, 饲料 3 组受精卵的必需氨基酸与非必需氨基酸总量以及 Leu、Arg 和 Glu 均有显著增加, 说明饲料中适量添加 VE 不仅可以促进卵子对氨基酸的积累, 而且明显提高卵内 Leu、Arg 和 Glu 的含量, 保证受精卵的正常代谢, 促进胚胎发育的顺利进行。

就脂肪酸而言, 在高不饱和脂肪酸中 C20: 5 ω 3 (EPA) 和 C22: 6 ω 3 (DHA) 都是重要的 ω 3 系列多不饱和脂肪酸, 在虾蟹胚胎发育过程中可调节神经系统的发育, 以及为胚胎发育提供主要能源(Kanazawa, 1985)。VE 作为一种抗氧化剂, 可减少 EPA 和 DHA 等不饱和脂肪酸的被氧化, 促进动物的性腺成熟、受精、胚胎发育和孵化(He *et al.*, 1992; Jagneshwar *et al.*, 2000)。本研究饲料 3 组中受精卵的总脂含量最高, 且无论中性脂还是磷脂, 其高不饱和脂肪酸 EPA 和 DHA 的含量均较高, 说明 VE 可有效提高卵内脂类的积累, 并通过 VE 的抗氧化特性保护主要高不饱和脂肪酸(EPA 和 DHA), 从而保证胚胎发育顺利进行。

研究证实, C20: 4 具有抑制脂肪分解的功能, 故在虾蟹卵巢成熟期, 该脂肪酸含量较高, 以保证卵子对脂类的有效积累(成永旭等, 1998)。本研究中发现, 饲料 3 组中性脂和磷脂中 C20: 4 的含量均较低, 这可能与胚胎发育的特性有关。在胚胎发育期, 卵内物质的分解加剧, 因而高含量的 C20: 4 对胚胎发育不利。C20: 4 是花生四烯酸及前列腺素 E₂ 的前体, 其含量会因 VE 解除前列腺素 E₂(PGE₂) 对淋巴细胞免疫反应的抑制而下降(庞全海等, 2002)。因此, VE 是通过间接影响胚胎的分解代谢而提高胚胎发育的成功率。

参 考 文 献

- 田华梅, 赵云龙, 李晶晶等, 2002. 中华绒螯蟹胚胎发育过程中主要生化成分的变化. 动物学杂志, 37(5): 18—21 [Tian H M, Zhao Y L, Li J J *et al.*, 2002. Biochemical changes during embryonic development in the crab *Eriocheir sinensis*. Chinese Journal of Zoology, 37(5): 18—21]
- 成永旭, 堵南山, 赖伟等, 1998. 不同阶段中华绒螯蟹肝胰腺的脂类及脂肪酸组成. 动物学报, 44(4): 420—429 [Cheng Y X, Du N S, Lai W *et al.*, 1998. Lipid composition in hepatopancreas of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* at different stages. Acta Zoologica Sinica, 44(4): 420—429]
- 刘丽华, 呼文亮, 曹守义, 1999. 硒与维生素 E 对需谷胱甘肽抗氧化酶的保护作用. 广东微量元素科学, 6(4): 8—11 [Liu L H, Hu W L, Cao S Y, 1999. Protective effect of Selenium and vitamin E on GSH-requiring antioxidative enzymes. Guangdong Trace Elements Science, 6(4): 8—11]
- 沈同, 王镜岩主编, 1990. 生物化学. 北京: 高等教育出版社, 74—79
- 陈四清, 李爱杰, 1993. 中国对虾对维生素 E、K 营养需要的研究. 海洋科学, 5: 1—4 [Chen S Q, Li A J, 1993. Studies on the requirements of vitamins E and K for *Penaeus chinensis*. Marine Sciences, 5: 1—4]
- 周歧存, 麦康森, 谭北平等, 2001. 维生素 E 对皱纹盘鲍幼鲍生长、存活及体成分的影响. 海洋与湖沼, 32(2): 125—131 [Zhou Q C, Mai K S, Tan B P *et al.*, 2001. The effects of vitamin E on growth, survival and carcass composition of juvenile abalone (*Haliotis discus hannai* Ino). Oceanologia et Limnologia Sinica, 32(2): 125—131]
- 庞全海, 张焕杰, 王永生等, 2002. 维生素 E 在动物营养中的研究进展. 动物医学进展, 23(3): 36—38 [Pang Q H, Zhang H J, Wang Y S *et al.*, 2002. Advances of vitamin E research in the health and nutrition of animals. Progress in Veterinary Medicine, 23(3): 36—38]
- 荣长宽, 甄如林, 梁素秀, 1998. 中国对虾对脂溶性维生素 A、D₃、E 和 K₃ 的营养需求初探. 动物营养学报, 10(3): 62 [Rong C K, Zhen R L, Liang S X, 1998. Studies on the requirements of fat-soluble vitamins A, D₃, E and K₃ for *Penaeus orientalis*. Acta Zoonutrientia Sinica, 10(3): 62]
- 姚翠鸾, 王维娜, 王安利, 2000. 虾体内氨基酸含量变化及影响因素的研究进展. 海洋科学, 24(9): 39—42 [Yao C L, Wang W N, Wang A L, 2000. Advance in the research on the influence of amino acid content variations in the body of shrimps. Marine Sciences, 24(9): 39—42]
- 梁军荣, 王军, 苏永全等, 2000. 中国鲎胚胎发育过程主要生化成分分析. 中国水产科学, 7(2): 113—115 [Liang J R, Wang J, Su Y Q *et al.*, 2000. Biochemical compositions of *Tachyplesus tridentatus* at embryonic development stage. Journal of Fishery Sciences of China, 7(2):

113—115]

- Alava V R, Kanazawa A, Teshima S, 1993. Effects of dietary vitamins A, E and C on the ovarian development of *Penaeus japonicus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59(7): 1235—1241
- Cahu C L, Cuzon G, Quazuguel L, 1995. Effect of highly unsaturated fatty acids, α -tocopherol and ascorbic acid in broodstock diet on egg composition and development of *Penaeus indicus*. *Comp Biochem Physiol*, 112A(3—4): 417—424
- Clive M J, 1995. Production of Juvenile redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Von Martens) (Decapoda, Parastacidae) I. Development of hatchery and nursery procedures. *Aquaculture*, 138, 221—238
- He H, Lawrence A L, Liu R, 1992. Evaluation of dietary

essentiality of fat-soluble vitamins A, D, E, and K for Penaeid shrimp. *Aquaculture*, 103: 177—185

- Jagneshwar Dandapat, Gagan B N, Chainy K, 2000. Dietary vitamin-E modulates antioxidant defence system in giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Comp Biochem Physiol*, 127C: 101—115
- Kanazawa A, 1985. Nutrition of Penaeid Prawn and Shrimp. In: *Proceedings of the First International Conference on the Culture of Penaeid Prawns/ Shrimps*. Aquaculture Development of Southeast Asian Fisheries Development Center. Iloilo City, Philippines, 123—130
- Xu Lihong, Chen Zhuan, Xu Ying, 1994. Measurement of vitamin D₃ and vitamin E of fish samples by HPLC. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 18(2): 192—193

征集《海洋与湖沼》封面彩色图片

为了使《海洋与湖沼》期刊封面能更好地与国际期刊接轨, 又能体现出其学科特色, 起到美化封面的效果, 自 2004 年第 1 期开始, 拟定每期更换一个彩色封面图片, 故向广大海洋湖沼科技工作者组约附有较高学术价值的质优彩色图版的稿件, 一旦选用, 稿件优先发表。欢迎积极投稿。

来稿请寄: 青岛市南海路 7 号《海洋与湖沼》编辑部收

E-mail: pychen@ms.qdio.ac.cn 电话(0532) 2898753

EFFECTS OF DIETARY VITAMIN E ON REPRODUCTION OF REDCLAW CRAYFISH *CHERAX QUADRICARINATUS*

LUO Wen, WANG Qun⁻, ZHAO Yun-Long⁻, GU Zhi-Min⁻,

MI Guo-Qiang⁻, HUANG Xia-Ming⁻, LIU Qi-Wen⁻

(School of Life Sciences, East China Normal University, Shanghai, 200062; Department of Biology, Shaoxing
College of Arts and Sciences, Shaoxing, 312000)

⁻(School of Life Sciences, East China Normal University, Shanghai, 200062)

⁻(Institute of Freshwater Fisheries, Zhejiang Province, Huzhou, 313001)

Abstract In this paper, the effects of dietary vitamin E on the reproduction of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* and accumulation of common biochemical components in the fertilized eggs were analyzed using single factor analysis of variance and other methods. Samples were taken at average weight of (72.41 ± 5.32) g for females and (80.73 ± 6.68) g for males. All samples were divided into six groups with group 0 as the control and groups 1—5 as the samples. Each group contains 30 females and 15 males chosen randomly. The experiment was conducted from September 2002 to March 2003. The amount of average vitamin E input was 0.0085% for the control and 0.0101%, 0.0150%, 0.0192%, 0.0217%, 0.0276% in average for the groups 1 to 5 respectively. Results showed that the survival rate (about 87.67%) in groups 1, 2 and 5 were slightly higher than those in other groups. The one-month period spawning rate had no significant difference among each groups. All the curves of weight gain rate of the female, gonadosomatic index, total weight of eggs per female, average spawning number, average weight of individual eggs per female and hatching rate were bell-shaped curves for groups 0—5. Group 3 had the greatest values in two-month period spawning rate (84.00%), weight gain rate (30.42%), gonadosomatic index (6.55), total weight of eggs per female (2.86g), average spawning number (563 ind.), average weight of individual eggs (5.08mg), and hatching rate (45.53%), whereas the hepatopancrea somatic index was the lowest for group 3. Gross weight of essential and non-essential amino acids (dry weight) in the fertilized eggs of each group increased firstly and then decreased from groups 0—5. The crayfishes of group 3 showed the greatest gross weight of essential amino acids in the fertilized eggs, which was 37.23%, whereas the maximum gross weight of non-essential amino acids, 31.46%, was found in group 4. The contents of leucine and arginine in essential amino acids and the content of glutamine in non-essential amino acids, were significantly increased in group 3. Total lipids of the fertilized eggs (dry weight and wet weight) also increased firstly and then decreased. The lipid contents in dried and fresh fertilized eggs of crayfishes in group 3 were 18.55% and 31.69% respectively, which are the highest among all the groups. There was no significant difference in content percentage of neutral lipids and phospholipids in total lipids between all the groups. The content of neutral lipids was as about twice as that of phospholipids. The main fatty acids that make up both neutral lipids and phospholipids of the fertilized eggs were C18:1 ω 9, C18:2 ω 6, C16:0 and C16:1. Content of C20:4 was lower in group 3, and the contents of C20:5 ω 3 and C22:6 ω 3 in group 3 were higher than those in other groups. The results indicated that the excessive vitamin E would be harmful to redclaw crayfish and the optimal content of vitamin E was 0.0192%. Vitamin E could protect C20:5 ω 3 and C22:6 ω 3 from oxidizing, improved the accumulation of important amino acids and fatty acids in fertilized eggs. C20:5 ω 3 and C22:6 ω 3 were necessary to the development of nervous system, and glutamine, leucine, arginine were important for the metabolism of redclaw crayfish. From above results, it is concluded that appropriate amount of vitamin E in diet can significantly improve the reproduction of redclaw crayfish via improving the quality of their fertilized eggs.

Key words Redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus*, Vitamin E, Reproduction, Fertilized egg