

文章编号: 1004 - 7271(2007)04 - 0341 - 06

池塘养殖斑节对虾卵巢发育过程中的 脂肪酸组成及变化

黄建华, 周发林, 林黑着, 叶乐, 江世贵

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东广州 510300)

摘要:池塘养殖斑节对虾在卵巢发育成熟过程中, 卵巢和肝胰腺中的 EPA(20:5n-3) 的含量呈下降趋势, 在产卵后恢复到未成熟期的水平。18:2n-6 和 20:4n-6 呈现一定幅度上升, 分别在成熟期(V) 达到最高。18:1n-9 在肝胰腺中呈现一定幅度上升, 而在卵巢中则下降。DHA(22:6n-3) 在卵巢中呈现波动, 成熟期最低; 肝胰腺中相对稳定而轻微下降。随产卵次数增加, 卵中的 16:0、总的饱和脂肪酸(SFA) 的含量及 DHA/EPA 的比值呈上升趋势, 18:2n-6, 20:4n-6, 22:6n-3 及总的 n-6 含量保持相对稳定, 而 18:1n-9, 20:5n-3, 22:5n-3 及总的 n-3 含量呈下降趋势。分析结果表明, n-3、n-6 系列脂肪酸, 特别是 DHA、EPA、18:2n-6、20:4n-6 对卵巢和幼体的发育非常重要, 不同脂肪酸之间的平衡也很重要。在斑节对虾亲虾饲料中应提供丰富的高度不饱和脂肪酸, 并保持适宜的 n-3/n-6、PUFA/SFA、DHA/EPA 之比。

关键词:池养斑节对虾; 性成熟; 卵巢; 肝胰腺; 卵; 脂肪酸

中图分类号: S 963.16 文献标识码: A

The variation of fatty acid composition of in pond-reared female *Penaeus monodon* during ovarian maturation

HUANG Jian-hua, ZHOU Fa-lin, LIN Hei-zhao, YE Le, JIANG Shi-gui¹

(Aquaculture and Biotechnology Division, South China Sea Fisheries Research Institute,
Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

Abstract: Female *Penaeus monodon* in pond-culture in different stages of sexual maturation were sampled, including midgut gland, ovary, egg and their nauplii, for determination of fatty acid (FA) composition. During sexual maturation, the percentage of 20:5n-3 in midgut gland and ovary decreased with maturation and recovered the level of immaturated stage after spawning. Some increasing was observed in the percentage of 18:2n-6 and 20:4n-6, the highest percentage presented in midgut gland and ovary in stage V. 18:1n-9 increased in the midgut gland and decreased in the ovary. The percentage of DHA in ovary fluctuated and increased, and the lowest percentage presented in stage V. The percentage of DHA in midgut gland remained roughly stable and decreased slightly with maturation. According to the fatty acid composition of eggs from multiple spawning, the percentage of 16:0, the sum of saturated fatty acid (SFA) and the ratio DHA/EPA in

收稿日期: 2006-10-14

基金项目: 国家高技术发展计划(2001AA621030, 2003AA603120), 国家自然科学基金(NSFC-30571447), 广东省科技计划项目(2006A20204001)

作者简介: 黄建华(1972-), 湖南常宁人, 助理研究员, 从事水产基础生物学研究, Tel: 020-84468240, E-mail: hjh210440@sina.com.cn

通讯作者: 江世贵, Tel: 020-84195176. E-mail: jiangsg@21cn.com

egg increased with increasing spawning numbers of broodstock. 18:2n-6, 20:4n-6, 22:6n-3 and the sum of n-6 FA remained roughly stable. However, the percentage of 18:1n-9, 20:5n-3, 22:5n-3 and the sum of n-3 FA decreased with increasing spawning numbers of broodstock. The result showed the importance of omega-3 (n-3) and omega-6 (n-6) fatty acid families for sexual maturation of *P. monodon* broodstock and larval development and quality, especially of 18:2n-6, 20:4n-6, 20:5n-3, 22:6n-3. The result also showed that the balance between n-3 and n-6 fatty acid families, total PUFA and total saturated fatty acids, and EPA and DHA may play vital roles in maturation and reproductive performance of broodstock. Abundant HUFA should be included at high levels in the broodstock diet and the feasible balance of different fatty acids should be maintained.

Key words: Pond-culture *Penaeus monodon*; sexual maturation; ovary; midgut gland; eggs; fatty acids

斑节对虾是世界三大主要养殖对虾品种之一。目前为止,斑节对虾苗种主要依赖自然海区野生亲虾经人工繁殖获得。然而,野生亲虾通常携带病毒,并导致其所生产苗种具有高的病毒携带率。各种病害,特别是白斑病毒病(WSSV)成为严重阻碍斑节对虾养殖业健康发展的因素。人们意识到人工培育的高健康斑节对虾亲虾对维持和发展斑节对虾养殖非常重要。过去二十年,斑节对虾全人工繁殖技术已取得突破性进展,然而,其繁殖机理仍未十分清楚,尤其对亲虾繁殖的营养与生理机制仍缺乏了解。

成熟雌虾卵巢的重量能在一周内增加4~8倍^[1-4],因此,及时提供充足的营养以保证卵黄的营养积累和维持正常胚胎发育及幼体早期发育非常重要^[1]。亲虾对脂类的高需求有助于产卵前卵巢脂类的大量积累^[5]。对虾只对一些脂肪酸具有有限的合成能力,而高度不饱和脂肪酸不能在对虾体内合成,主要通过食物获得^[4]。国内外对中国对虾^[6-7]、日本对虾^[8-9]、凡纳滨对虾^[4]卵巢发育过程中的脂肪酸组成和需求进行了报道。亲虾饲料的脂肪酸对池塘养殖斑节对虾卵的受精率和孵化率的影响^[10]及野生亲虾组织的脂肪酸组成^[11]国外已有报道,而对池塘养殖斑节对虾卵巢发育过程的脂肪酸组成的研究则未见报道。

通过研究亲虾的脂肪酸组成及其在卵巢成熟过程中的变化,仍然是亲虾脂肪酸需求研究的有效方法^[4]。本研究目的是通过分析池塘养殖斑节对虾在卵巢发育不同阶段的卵巢、肝胰腺、卵、无节幼体的脂肪酸组成来评估池塘养殖斑节对虾在性成熟过程中对脂肪酸的需求,为池塘养殖斑节对虾亲虾全人工繁殖技术提供理论基础,并为斑节对虾亲虾人工配合饵料研制提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

用三亚海区野生斑节对虾亲虾培育的苗种,在三亚红沙池塘养殖12个月以上,挑选达到成熟个体规格的子一代池塘养殖亲虾67♀:31♂,用专门亲虾运输袋,充氧运回室内,暂养3~5 d后,镊烫亲虾单侧眼柄,按斑节对虾亲虾强化培育方法促熟。利用外观、解剖、性成熟指数(GSI),确定亲虾的卵巢发育期,将亲虾卵巢发育分为6期,每期取样3~5尾,解剖后将卵巢、肝胰腺迅速取出放入样品瓶,置于-70℃冰箱保存至样品分析。

1.2 实 验 方 法

1.2.1 脂 肪 酸 的 制 备

样品解冻后,分别剪取不同发育期卵巢、肝胰腺样本2~3 g(至少3个样本)置于研钵中,以1:15(g·mL⁻¹)量加入甲醇-氯仿(1:2)混合液,充分捣碎(可先加5 mL混合液捣碎,在捣碎过程中不断加入混合液,直至组织充分捣碎,最后再加5 mL混合液完全浸泡组织30 min以上,使其充分溶解)。将研钵内所有的内容物置砂芯漏斗(4G)抽滤,用混合液洗涤3次,收集抽滤液。移入具塞三角烧瓶,用旋转蒸发仪抽干有机溶剂,水温55℃,加入2.0 mL无水酒精,继续抽干,重复2次以除去残余水分。用氯仿

将瓶中脂质溶解,并移入带刻度的试管中,定容至 5 mL。

1.2.2 脂肪酸甲酯的制备

采用氢氧化钾-甲醇室温酯化法:将已定容的脂质溶液在 DZF-3 真空干燥器(康乐牌,上海)中抽干。取 3 滴(约 40 mg)油脂,置入 10 mL 容量瓶内,加入 2 mL 沸程 30~60 °C 的石油醚和苯的混合溶剂(1:1),轻轻摇动使油脂溶解。加入 2 mL 0.4 N 氢氧化钾-甲醇溶液,混匀,在室温静置 10 min 后,加蒸馏水使全部石油醚苯甲酯溶液升至瓶颈上部,放置待澄清,吸取上清液,用纯氮吹去大部分溶剂,所得到的溶液即可用于气相色谱分析。

1.2.3 计算方法

取制备好的脂肪酸甲酯化溶液 2 μ L 进入气相色谱仪进行分析,定量采用面积归一化法。

某组份 A 含量(%) = 100 \times A 组份的峰面积 \div 脂肪酸各组份峰的面积总和。

1.2.4 气相色谱分析仪器及条件

采用安捷伦 5890 气相色谱仪,用 10% DEGS 4.1 m 玻璃填充柱。色谱条件:HP-5 毛细管色谱柱(25 m \times 0.32 mm \times 0.25 μ m),柱前压 15 psi,分流比 100:1, FID 检测器。脂肪酸甲酯在初始温度 120 °C 5 min 后,以每分钟 5 °C 逐步提高到 200 °C 条件下被分离,最后温度保持 200 °C 40 min,峰值面积用浙江大学色谱 N2000 气相色谱数据系统确定,脂肪酸甲酯通过比较标准保持时间确定^[12]。

2 结果

2.1 卵巢成熟系数(GSI)、肝胰腺系数(MGI)变化

池塘养殖斑节对虾卵巢不同发育时期的个体大小与肝胰腺指数及性腺指数变化见表 1。不同成熟期的亲虾大小存在细微差异,肝胰腺指数无明显差异,但性腺指数存在显著差异。池塘养殖斑节对虾卵巢成熟过程中,性腺指数(GSI)增加了 5~6 倍,从 I 期的 1.7% 增加到 V 期的 8.6%, II 期与 VI 期的性腺指数无显著差异。随着卵巢发育,肝胰腺系数(MGI)略有下降,但其下降并不始于性腺成熟初期。

表 1 池塘养殖斑节对虾卵巢不同发育时期的肝胰腺指数及性腺指数
Tab. 1 Midgut gland index (MGI) and gonadosomatic index (GSI) in midgut glands and ovaries of pond-culture female *P. monodon* broodstock in different stages of sexual maturation

	发育阶段					
	I 期	II 期	III 期	IV 期	V 期	VI 期
甲长 (cm)	5.5 \pm 0.2 ^{ab}	5.8 \pm 0.2 ^{ab}	5.7 \pm 0.2 ^{ab}	5.4 \pm 0.1 ^{ab}	5.8 \pm 0.2 ^b	5.5 \pm 0.4 ^a
体长 (cm)	18.1 \pm 0.6	18.3 \pm 0.6	17.8 \pm 0.9	18.1 \pm 0.5	18.5 \pm 0.5	18.3 \pm 0.5
体重 (g)	89.9 \pm 10.0 ^{ab}	91.1 \pm 7.4 ^{ab}	86.8 \pm 10.7 ^a	88.0 \pm 5.9 ^{ab}	98.1 \pm 5.1 ^b	95.3 \pm 5.0 ^{ab}
GSI (%)	1.7 \pm 0.2 ^a	2.7 \pm 0.5 ^b	4.0 \pm 0.4 ^c	6.8 \pm 0.5 ^d	8.6 \pm 0.4 ^e	2.9 \pm 0.7 ^b
MGI (%)	3.0 \pm 1.0	3.2 \pm 0.4	3.3 \pm 0.6	2.7 \pm 0.3	2.8 \pm 0.2	3.0 \pm 0.6

注:表中的值为平均数 \pm 标准差(n=5);同一行中具不同字母标记的值表示差异显著(Duncan 多重比较, $P < 0.05$);GSI(%) = 性腺重/体重 \times 100;MGI(%) = 肝胰腺重/体重 \times 100

2.2 肝胰腺的脂肪酸组成

卵巢不同发育阶段肝胰腺的脂肪酸组成见表 2。肝胰腺中主要脂肪酸为 16:0、18:2n-6、18:1n-9、18:0、20:4n-6(ARA)、20:5n-3(EPA)、22:6n-3(DHA),其中 n-3 PUFA 约占 40%~60%, n-3 FA 为 n-6 FA 的 2~5 倍(表 2)。肝胰腺中的 14:0、16:1n-7 两种脂肪酸的含量很低。16:0、18:2n-6、ARA 和总的饱和脂肪酸(SFA)的含量呈现波浪式上升,在成熟期(V)达到最高,分别为 21.4%、5.5%、9.2%、28.6%;18:1n-9、18:0 的含量起伏波动,在成熟前期(IV)达到最大值,分别为 8.3% 和 9.0%。随着卵巢发育成熟,肝胰腺中 EPA 与总 n-3 FA 的含量呈下降趋势,在成熟期(V)最低,分别为 11.7% 和 43.8%,产卵后,其含量又恢复到未成熟期的水平;DHA 相对稳定而轻微下降,在 30%~37% 之间波动。总的 PUFA、n-3/n-6 及 PUFA/SFA 的比值波动变化,总体呈下降趋势,在成熟期达到最低。DHA/EPA 比值在 1~3 之间波动,成熟期(V)最高(2.6)。

表2 池塘养殖斑节对虾亲虾卵巢不同发育期肝胰腺中脂肪酸的组成(占总脂肪酸的百分数)
 Tab.2 Fatty acids composition (in% of total FA) in midgut glands of pond-culture
 female *P. monodon* broodstock in different stages of sexual maturation

脂肪酸	发育阶段					
	I期	II期	III期	IV期	V期	VI期
14:0	0.8	0.3	0.5	0.2	0.7	1.1
16:1	1.3	1.7	1.7	2.3	1.5	0.6
16:0	10.7	17.8	10.7	10.2	25.6	8.8
18:2n-6	4.2	4.5	5.1	18.7	5.5	4.6
18:1n-9	5.2	5.7	6.8	8.3	5.9	6.2
18:0	8.8	7.7	8.3	20.8	6.5	7.1
20:5n-3	19.9	17.6	16.2	9.7	11.7	18.7
20:4n-6	7.3	4.6	7.9	5.4	9.2	6.6
20:2n-6	2.1	1.3	6.4	-	-	4.9
22:5n-6	1.5	0.8	1.6	1.0	1.3	1.1
22:6n-3	33.7	34.9	31.2	22.2	30.2	36.7
22:5n-3	2.3	2.8	3.6	1.0	1.9	2.4
ΣSFA ¹	20.3	25.8	19.5	31.2	32.8	17.0
ΣMUFA ²	6.5	7.4	8.5	10.6	7.4	6.8
ΣPUFA ³	71.0	66.5	72.0	58.0	59.8	75.0
Σn-3	55.9	55.3	51.0	32.9	43.8	57.8
Σn-6	15.1	11.2	21.0	25.1	16.0	17.2
Σn-3/Σn-6	3.7	4.9	2.4	1.3	2.7	3.4
ΣPUFA/ΣSFA	3.5	2.6	3.7	1.9	1.8	4.4
DHA/EPA	1.7	2.0	1.9	2.3	2.6	2.0

注:表中数值为3个样本混合后测定值;-表示脂肪酸含量没有检测出;SFA:饱和脂肪酸,C14:0,C16:0,C18:0;MUFA:单不饱和脂肪酸,16:1n-7,C18:1n-9;PUFA:多不饱和脂肪酸,18:2n-6,C20:5n-3,C20:4n-6,C20:5n-6,C22:6n-3,C22:5n-6,C22:5n-3

2.3 卵巢、卵及无节幼体的脂肪酸组成

卵巢、卵和无节幼体中脂肪酸的组成与肝胰腺相似(见表3)。所有组织及无节幼体总的 *n*-3 FA 含量要大于 *n*-6 FA 含量;除无节幼体外,DHA 的含量大于 EPA 的含量。卵巢中的 *n*-3 FA、EPA、DHA、*n*-3/*n*-6 及 DHA/EPA 比值明显低于肝胰腺。卵巢中的 14:0、16:0、16:1n-7 的含量逐渐上升,成熟期达到最高;三者 在 卵巢 中的 含量 高于 肝 胰 腺,近 似 于 无 节 幼 体,而 明 显 低 于 卵 中 含 量。卵 巢、卵 及 无 节 幼 体 中 的 18:2n-6 的 含 量 相 对 稳 定,在 9.4%~12.7% 之 间 波 动。卵 巢 中 的 18:1n-9、18:0、EPA、22:5n-3、*n*-3 FA、*n*-3/*n*-6 及 PUFA/SFA 的 比 值 呈 现 出 一 定 程 度 下 降,在 成 熟 期(V) 接 近 最 低。卵 巢 中 20:2n-6 与 ARA 的 含 量 呈 波 动 变 化,ARA 在 成 熟 期 最 高。卵 巢 中 的 DHA 含 量 相 对 稳 定,在 20%~30% 之 间 波 动。SFA 含 量 逐 渐 上 升,成 熟 期 达 到 最 高;单 不 饱 和 脂 肪 酸(MUFA)和 多 不 饱 和 脂 肪 酸(PUFA)呈 现 波 动 变 化;*n*-3/*n*-6 和 PUFA/SFA 的 比 值 在 成 熟 期 最 低,在 1~3 之 间 波 动;DHA/EPA 的 比 值 随 卵 巢 发 育 而 上 升,在 1~3 之 间 波 动,成 熟 前 期 最 高(2.7)。

从池塘养殖斑节对虾亲虾卵的脂肪酸组成中,可以看出,随着产卵次数增加,卵中的 16:0 和 SFA 的百分含量呈上升趋势,DHA/EPA 的比值也呈现上升趋势;卵中的 18:2n-6、ARA、DHA 及总的 *n*-6 FA 含量保持相对稳定,而 18:1n-9、EPA、22:5n-3 及总的 *n*-3 FA 含量呈下降趋势。

3 讨论

现有的研究表明,脂类在许多甲壳动物繁殖过程中起着极其重要的作用。脂类积累对雌虾性成熟早期卵巢体积增大起明显作用^[4]。肝胰腺是甲壳动物脂类吸收、加工、储存的主要器官^[10]。繁殖期间,肝胰腺中的中性脂和磷脂消耗殆尽,日粮中的脂类很快经肝胰腺加工,输送到卵巢。卵巢由此也变成另一个脂类代谢中心。

表3 池塘养殖斑节对虾亲虾不同成熟期卵巢、卵和无节幼体中脂肪酸的组成(占总脂肪酸的百分数)
 Tab.3 Fatty acids composition (in % of total FA) in ovaries of pond-culture female *P. monodon* broodstock in different stages of sexual maturation, and in eggs and nauplii

脂肪酸	卵巢 I	卵巢 II	卵巢 III	卵巢 IV	卵巢 V	卵巢 VI	卵 ¹	卵 ²	卵 ³	无节幼体
14:0	0.9	1	1.6	1.9	2.1	1.4	1.4	2.2	4.6	0.9
16:1	3	3.5	4.8	5.1	6	3.3	9	11	10.3	5.8
16:0	17.3	17.7	19.2	21.1	23.3	17.1	22.9	27.4	36.2	18.7
18:2n-6	10.5	9.1	11.2	11.7	13.1	9.4	12.7	12.6	12.4	11.3
18:1n-9	8.6	9.2	8.9	4	5.7	4.9	9	7.3	4.5	8.6
18:0	6.6	5.8	7.8	5.6	6.1	5.4	6.3	5.8	4.9	5.7
20:5n-3	16.4	15.2	11.9	9.9	9.1	13.8	13.2	12.5	8.6	15.3
20:4n-6	5.4	3.5	4.9	3.7	6.6	6.1	2.4	2.6	2.3	2.2
20:2n-6	5.1	4	3.1	5.9	4.3	4.6	-	-	-	6.7
22:5n-6	1.4	1.8	0.9	1.2	1.1	1.6	1.2	0.9	0.7	1.1
22:6n-3	20.8	25.5	23.3	26.4	19.6	29.8	13.5	12.9	13.5	13.2
22:5n-3	4	3.5	2.4	3.4	2.8	2.3	7.4	4.5	1.8	4.6
ΣSFA	24.8	24.5	28.6	28.6	31.5	23.9	30.6	35.4	45.7	25.3
ΣMUFA	11.6	12.7	13.7	9.1	11.7	8.2	18	18.3	14.8	14.4
ΣPUFA	63.6	62.6	57.7	62.2	56.6	67.6	50.4	46	39.3	54.4
Σn-3	41.2	44.2	37.6	39.7	31.5	45.9	34.1	29.9	23.9	33.1
Σn-6	22.4	18.4	20.1	22.5	25.1	21.7	16.3	16.1	15.4	21.3
Σn-3/Σn-6	1.8	2.4	1.9	1.8	1.3	2.1	2.1	1.9	1.6	1.6
ΣPUFA/ΣSFA	2.6	2.6	2.0	2.2	1.8	2.8	1.6	1.3	0.9	2.2
DHA/EPA	1.3	1.7	2.0	2.7	2.2	2.2	1.0	1.0	1.6	0.9

注:表中数值为3个样本混合后测定值;-:表示脂肪酸含量没有检测出;表中上标数值1、2、3分别表示亲虾第一、二、三次产卵的样本

斑节对虾的卵巢、肝胰腺、卵、无节幼体的主要脂肪酸是 16:0、18:2n-6、18:1n-9、18:0、ARA、EPA 及 DHA,而卵和无节幼体中含较高的 16:1n-7 和较低的 ARA。类似的结果发现于斑节对虾 (*P. monodon*)^[13],白对虾 (*L. setiferus*)^[14],日本对虾 (*M. japonicus*)^[10],米勒腹对虾 (*Ple. muelleri*)^[2]。在卵巢成熟过程中,卵巢和肝胰腺中 16:0 含量不断上升。随着产卵次数增加,卵中的 16:0 呈显著上升。受其影响,SFA 也呈显著上升。可见,16:0 是斑节对虾卵巢发育最重要的饱和脂肪酸。肝胰腺中的 16:1n-7、18:1n-9 呈波动上升,在成熟前期达到最高,而卵巢中,16:1n-7 不断上升,18:1n-9 呈波动变化,成熟期轻微下降,MUFA 呈波动变化。相似的变化规律见于凡纳滨对虾^[4]。Marsden 等^[5]报道较低 18:1n-9 含量(11%)的饵料组比高含量组(18%)明显提高了斑节对虾的产卵频率。本实验中,卵巢和肝胰腺的 18:2n-6 含量均呈波动上升,在成熟期达到最高,卵中的 18:2n-6 含量稳定(12.4%~12.7%),卵巢、卵及无节幼体中的 18:2n-6 含量(9.4%~13.1%)明显要高于肝胰腺(4.2%~5.5%)。Palacios 等^[15]发现具有高成活率的凡纳滨对虾幼体,其卵和幼体中含有较高的 18:2n-6。饲料中高水平的 18:2n-6 和 n-3 HUFA 能够提高罗氏沼虾的繁殖力、卵的孵化率和后代整体质量^[16]。因此,可以推断 16:0、16:1n-7、18:1n-9、18:2n-6 均是斑节对虾卵巢发育和幼体发育所必需的脂肪酸。

肝胰腺的 20:4n-6 (ARA) 的含量高于卵巢,也高于卵和无节幼体,卵巢的 ARA 含量与凡纳滨对虾接近^[4],卵中的 ARA 含量与中国对虾相近^[7],无节幼体的 ARA 含量低于凡纳滨对虾^[4]。ARA 是对虾卵巢中最重要的脂肪酸之一,是对虾前列腺素类物质合成的前体物质^[1,4]。ARA 与 EPA、DHA 是凡纳滨对虾亲体饲料中所必需添加的脂肪酸^[17]。本研究中,ARA 在成熟前的卵巢中呈现小幅波动,先降后升。卵巢和肝胰腺中 EPA、DHA 及总 n-3 FA 的含量在卵巢成熟过程中不断下降,尽管卵巢中的 DHA 呈现相对稳定的波动。这一结果与欧洲对虾 (*P. kerathurus*)^[18]相反,而与凡纳滨对虾^[4]相似。已有研究表明 EPA 与中国对虾亲虾的产卵量有很高的线性关系,而 DHA 则与卵的孵化率有很好的线性关系^[7]。Palacios 等^[15]研究结果表明当凡纳滨对虾幼体 DHA 含量超过 15%,不会对其成活率构成影响。本次试验中,肝胰腺和卵巢的 DHA 含量 >20%,DHA 含量明显高于 EPA,卵和无节幼体中的含量稳定

在13%左右。卵中的EPA含量随产卵次数增加而显著下降。这也许是实验中池塘养殖亲虾所产卵子孵化率低的原因。

一些研究表明对虾在卵巢成熟过程中,其组织中的 $n-3$ 与 $n-6$ 系列脂肪酸存在微妙的平衡关系,亲虾饲料中应含有高的 $n-3/n-6$ 比值^[4,17]。短沟对虾(*P. semisulcatus*)^[3]和凡纳滨对虾^[4]亲虾的成熟卵巢中的 $n-3/n-6$ 比值大约是2:1,而凡纳滨对虾幼体中的比值增加到3:1^[4]。本研究中,池塘养殖斑节对虾成熟卵巢、卵及无节幼体中的 $n-3/n-6$ 比值明显低于短沟对虾^[3]和凡纳滨对虾^[4]。实验发现,池塘养殖斑节对虾亲虾所产的卵具有较低的孵化率,并随着亲虾产卵次数增加孵化率下降。这可能与卵中含有较低的DHA、EPA、PUFA和较高的SFA有关,尤其是随着亲虾产卵次数增加,卵中16:0的急剧上升而18:0明显下降;也可能与 $n-3/n-6$ 、PUFA/SFA及DHA/EPA之间未能达到最佳平衡有关,要确定三者的最佳比例,仍有待进一步通过明确的实验设计进行研究。这也许是提高池塘养殖斑节对虾卵子质量及亲虾人工配合饲料配制的關鍵。

参考文献:

- [1] Wouters R, Lavens P, Nieto J, et al. Penaeid shrimp broodstock nutrition: an updated review on research and development [J]. Aquaculture, 2001, 202: 1-21.
- [2] Jeckel W H, de Moreno J E A and Moreno V J. Biochemical composition, lipid classes and fatty acids in the ovary of the shrimp *Pleoticus muelleri* Bate [J]. Comp Biochem Physiol, 1989, 92B: 271-276.
- [3] Ravid T, Tietz A, Khayat M, et al. Lipid accumulation in the ovaries of a marine shrimp *Penaeus semisulcatus* (De Haan) [J]. J Exp Biol, 1999, 202 (13): 1819-1829.
- [4] Wouters R, Molina C, Lavens P, et al. Lipid composition and vitamin content of wild female *Litopenaeus vannamei* in different stages of sexual maturation [J]. Aquaculture, 2001, 198: 307-323.
- [5] Marsden G E, McGuren J J, Hansford S W, et al. A moist artificial diet for prawn broodstock: its effect on the variable reproductive performance of wild-caught *Penaeus monodon* [J]. Aquaculture, 1997, 149: 145-156.
- [6] 季文娟, 徐学良. 中国对虾卵巢发育过程中脂肪酸组成的分析及比较研究 [J]. 海洋水产研究, 1992, 13: 7-12.
- [7] Xu X L, Ji W J, Castell J D, et al. Influence of dietary lipid sources on fecundity, egg hatchability and fatty acid composition of Chinese prawn (*Penaeus chinensis*) broodstock [J]. Aquaculture, 1994, 119: 359-370.
- [8] Teshima S, Kanazawa A, Koshio S, et al. Lipid metabolism of the prawn *Penaeus japonicus* during maturation: Variation in lipid profiles of the ovary and hepatopancreas [J]. Comp Biochem Physiol, 1989, 92B: 45-49.
- [9] Alava V R, Kanazawa A, Teshima S, et al. Effect of dietary phospholipids and $n-3$ highly unsaturated fatty acids on ovarian development of Kuruma prawn [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1993, 59(7): 345-351.
- [10] Millamena O M. Effect of fatty acid composition of broodstock diet on tissue fatty acid patterns and egg fertilisation and hatching in pond reared *Penaeus monodon* [J]. Asian Fish Sci, 1989, 2: 127-134.
- [11] Millamena O M, Pascual F P. Tissue lipid content and fatty acid composition of *Penaeus monodon* Fabricius broodstock from the wild [J]. J World Aquacult Soc, 1990, 21: 116-121.
- [12] Lin H Z, Li Z J, Chen Y Q, et al. Effect of dietary traditional Chinese medicines on apparent digestibility coefficients of nutrients for white shrimp *Litopenaeus vannamei*, Boone [J]. Aquaculture, 2006, 253: 495-501.
- [13] O'Leary C D, Matthews A D. Lipid class distribution and fatty acid composition of wild and farmed prawn, *Penaeus monodon* Fabricius [J]. Aquaculture, 1990, 89: 65-81.
- [14] Middleditch B S, Missler S R, Hines H B, et al. Metabolic profiles of penaeid shrimp: dietary lipids and ovarian maturation [J]. J Chromatogr, 1980, 195: 359-368.
- [15] Palacios E, Racotta I S, Heras H, et al. Relation between lipid and fatty acid composition of eggs and larval survival in white pacific shrimp (*Penaeus vannamei*, Boone, 1931) [J]. Aquaculture International, 2001, 9: 531-543.
- [16] Cavalli R O, Lavens P, Sorgeloos P. Performance of *Macrobrachium rosenbergii* broodstock fed diets with different fatty acid composition [J]. Aquaculture, 1999, 179: 387-402.
- [17] Lytle J S, Lytle T S, Ogle J T. Polyunsaturated fatty acid profiles as a comparative tool in assessing maturation diets of *Penaeus vannamei* [J]. Aquaculture, 1990, 89: 287-299.
- [18] Mourente G, Rodriguez A. Variation in the lipid content of wild-caught females of the marine shrimp *Penaeus kerathurus* during sexual maturation [J]. Mar Biol, 1991, 110: 21-28.