

日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼发育过程中 脂肪及脂肪酸特性变化

黄旭雄^{1*}, 冯隆峰¹, 温文¹, 陈庆凯², 危立坤¹

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;

2. 福建省宁德市水产技术推广站, 福建 宁德 352000)

摘要: 以野生日本鬼鲉人工催产获得的受精卵为实验材料, 定量检测了日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼发育过程中脂肪组成及脂肪酸含量。结果表明: 日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼的总脂肪含量为 13.85%~11.66%, 极性脂肪占总脂肪含量为 75.39%~72.20%。总脂肪及极性脂肪含量在胚胎发育阶段无显著变化, 在卵黄囊仔鱼阶段随发育而显著下降。中性脂肪含量在胚胎发育阶段有显著变化, 在卵黄囊仔鱼阶段其含量相对稳定。野生日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼总脂肪的主要脂肪酸为 DHA(22:6n-3), 16:0, ARA(20:4n-6), EPA(20:5n-3), 18:0 和 18:1n-9。总脂肪及极性脂肪的 DHA, ARA, EPA 含量(mg/gDW)均随胚胎和卵黄囊仔鱼的发育而显著下降, 且 DHA 和 ARA 含量均在胚胎囊胚期至尾芽期大幅降低。中性脂 EPA 和 DHA 含量随发育呈先升后降, 其峰值分别出现在初孵仔鱼和 2 日龄(2DPH)卵黄囊仔鱼。中性脂 ARA 含量随发育逐步升高, 峰值出现在 3 日龄(3DPH)卵黄囊仔鱼。在胚胎发育前期, 总脂肪 DHA 和 ARA 相对 EPA 被选择性消耗, 饱和脂肪酸(SFAs)和多不饱和脂肪酸(PUFAs)相对单不饱和脂肪酸(MUFAs)被机体选择性消耗, N-6PUFA 相对 N-3PUFA 被选择性消耗; 在胚胎发育后期及卵黄囊仔鱼阶段, 总脂肪 EPA 相对 DHA 和 ARA 被选择性消耗。在胚胎和卵黄囊仔鱼发育过程中, SFAs 中 16:0 相对 18:0 被选择性消耗。胚胎发育后期阶段和卵黄囊仔鱼阶段, 总脂肪 MUFAs 中 16:1 相对 18:1 被选择性消耗。实验表明日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼发育阶段极性脂肪中 DHA、ARA 和 EPA 可以向中性脂肪中转移, 胚胎和卵黄囊仔鱼对不同类别脂肪中的重要脂肪酸的消耗具有选择性, 且其选择性与发育阶段相关。

关键词: 日本鬼鲉; 胚胎; 卵黄囊仔鱼; 总脂肪; 极性脂肪; 中性脂肪; 脂肪酸

中图分类号: Q 175; S 917.4

文献标志码: A

鱼类胚胎及仔鱼营养生理是鱼类营养学研究的前沿领域之一。脂类作为卵黄中的主要营养物质, 在胚胎和卵黄囊仔鱼发育过程中发挥重要的生理作用, 不仅为胚胎发育提供能量, 还参与构建机体组织及调节生理活动^[1]。脂肪酸营养对海水仔鱼的生长发育和生理机能的正常发挥具有决定性意义^[2], 22:6n-3(DHA), 20:5n-3(EPA)和 20:4n-6(ARA)是海水鱼类仔鱼正常发育的必需脂肪酸^[3], 且 DHA 与 EPA、EPA 与 ARA 之间存

在代谢上的竞争性关系^[4]。不同海水鱼类胚胎及仔鱼发育过程中对各必需脂肪酸的需求不尽相同^[5-7]。Rainuzzo 等^[8]认为对于开始外源性营养的仔鱼而言, 饵料中理想的脂肪酸组成应与受精卵或卵黄囊仔鱼的脂肪酸组成相近。评估胚胎及早期仔鱼发育过程中内源性卵黄囊营养物质的利用程度是研究仔鱼营养需求的有效方法^[9]。因此, 研究海水鱼类胚胎期和卵黄囊仔鱼发育过程中脂肪及脂肪酸特性的变化, 有助于了解海水鱼

收稿日期:2012-09-14 修回日期:2013-01-16

资助项目:上海市教育委员会科研创新项目(12ZZ166)

通信作者:黄旭雄, E-mail:xxhuang@shou.edu.cn

类早期幼体对饵料脂肪酸的需求特点。

日本鬼鲉 (*Inimicus japonicus*) 俗称“虎鱼”, 隶属于鲉形目 (Scorpaeniformes)、毒鲉科 (Synanceiidae), 为近海底栖肉食性经济鱼类, 我国福建沿海及朝鲜、日本沿海均有分布^[10]。因其肉质细嫩, 味道极其鲜美, 在日本已经是一种重要的经济鱼类^[11]。沙学绅等^[12]、刘振勇等^[13]、林小金^[14] 分别对日本鬼鲉早期发育进行了研究, 发现日本鬼鲉不同于大多数产含油球浮性卵的海水鱼类, 其受精卵不含油球但在正常海水中依然为浮性卵。实验表明, 鱼类早期幼体发育阶段的营养物质代谢特点与卵内是否含有油球关系密切^[15]。有关日本鬼鲉早期发育过程中营养物质的代谢未见报道, 实验研究了日本鬼鲉早期内源性营养阶段的脂肪组成及脂肪酸含量的变化, 旨在深入开展日本鬼鲉早期发育过程中的营养代谢研究及为苗种培育中仔鱼开口饵料的营养强化积累基础资料。

1 材料与方 法

1.1 样品采集与处理

实验用日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼采自福建省宁德市横屿水产养殖公司育苗池。繁殖季节捕获的日本鬼鲉野生亲鱼经 LHRH-A₃ 激素人工催产后, 在 20 °C 水温下, 40 h 后开始产卵排精, 获得受精卵。受精卵呈圆球形, 浮性无油球。将受精卵在水温 20 °C, 盐度为 29, pH 值 7.9 的砂滤海水中微充气孵化。孵化 62 h 后仔鱼出膜, 出膜后 3 日龄, 仔鱼具有能活动的颌, 肛门与外界相通, 但残留有缩小的卵黄囊。胚胎孵化期间, 分别于囊胚期和尾芽期采集样品。自初孵仔鱼出膜后, 分别定时采集初孵仔鱼 (0DPH)、1 日龄仔鱼 (1DPH)、2 日龄仔鱼 (2DPH) 和 3 日龄仔鱼 (3DPH) (投饵前) 样品, 样品用蒸馏水漂洗, 沥干后冻存。并于冷冻干燥机 -46 °C 冷冻干燥, 冻干样品粉碎均匀后, 用于脂肪及脂肪酸特性分析。

1.2 总脂及总脂的分离

样品总脂肪含量的测定采用氯仿甲醇浸提法^[16], 用含有 0.01% BHT (Sigma) 的氯仿-甲醇 (2:1) 浸提^[17]。提取液经旋转蒸发后于真空干燥箱中烘干至恒重。样品平行测定 2 次。

中性脂和极性脂的分离采用石油醚和 95% 甲醇水溶液组成的液-液分离系统^[18] 于分液漏

斗中进行, 将等体积的两种溶剂加入到提取的总脂肪中, 充分振荡后静置片刻, 清晰分层后移去下层甲醇, 再用等量的甲醇溶液重复萃取上层溶液两次; 移去的甲醇再加入同量的石油醚重复萃取两次。溶于石油醚中的为中性脂, 溶于甲醇中的为极性脂。分离液经旋转蒸发后于真空干燥箱中烘干至恒重, 计算中性脂和极性脂的含量。

1.3 脂肪酸甲酯化与定量检测

脂肪酸的甲酯化采用三氟化硼甲酯化法^[19], 采用 C19 烷酸 (Sigma) 作为内标测定脂肪酸绝对量。用 1 mL 正己烷溶解圆底烧瓶中已经真空干燥的脂肪样品并转移到甲酯化瓶中, 再用 1 mL 正己烷漂洗圆底烧瓶并转移到甲酯化瓶中, 加入 C19 内标后抽真空去除正己烷; 加入 14% BF₃-甲醇 (Sigma) 溶液 (含 0.01% BHT) 2 mL, 100 °C 水浴 25 min; 冷却后取出第一步甲酯化的样品, 加入 2 mL 苯和 2 mL 甲醇继续 100 °C 水浴 25 min; 将甲酯化产物完全转移到 10 mL 离心管中, 加入 2 mL 蒸馏水和 2 mL 正己烷, 充分震荡后 3 000 r/min 离心 10 min, 取上清液待测。

采用 Agilent-6890A 型气相色谱仪分析脂肪酸。毛细管柱为 30.0 m × 0.32 mm × 0.25 μm, 型号为 Omegawax 320。FID 检测器进样口温度 260 °C; 载气为高纯度氮, 流量为 1.9 mL/min, 氢气流量为 30 mL/min, 空气流量为 300 mL/min。起始温度 60 °C, 以 50 °C/min 的速度提至 170 °C, 再以 2.0 °C/min 的速度提至 180 °C, 保留 2 min, 然后以 2.0 °C/min 的速度提至 230 °C, 保持 1 min, 再以 1.0 °C/min 的速度提至 240 °C, 保持 1 min, 共计 46.2 min。进样量 1 μL, 分流比为 5:1, 进样口压力为 60 kPa。

样品平行测定 2 次, 根据脂肪酸标准品 (Sigma) 的分析图谱和保留时间对样品脂肪酸进行定性, 按内标法计算各脂肪酸的绝对值:

$$C_x (\text{mg/g}) = (C_{19} \times V_{19} \times M_x \times S_x) \div (M_{19} \times S_{19} \times m)$$

式中, C_x 表示某脂肪酸在冻干样品中的含量 (mg/g); C_{19} 为内标物浓度 (mg/mL); V_{19} 为内标物加入的体积 (mL); M_{19} 为内标物甲酯分子量; S_{19} 为内标物的峰面积; M_x 为某脂肪酸甲酯的分子量; S_x 为某脂肪酸的峰面积; m 为冻干样品质量 (g)。每个样品平行测定 2 次, 取平均值。

1.4 数据处理

测定结果以平均值 ± 标准差 (mean ± SD) 表

示。实验数据用 SPSS 17.0 软件进行 ANOVA 单因子方差分析,并用 Duncan 检验进行多重比较, $P < 0.05$ 即认为有显著性差异。

2 结果

2.1 不同发育阶段的日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼的总脂肪含量及组成

日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼的总脂肪占干物

质总量的 13.85%~11.66%。脂类以极性脂为主,占总脂肪含量的 75.39%~72.20%。随着发育的进行,总脂肪含量及极性脂含量依次下降,但总脂含量及极性脂含量在胚胎发育阶段变化不显著 ($P > 0.05$),极性脂含量在孵化后 2 d 的卵黄囊仔鱼中显著下降 ($P < 0.05$)。中性脂含量在胚胎发育阶段呈现先上升后降低 ($P < 0.05$),而在卵黄囊仔鱼阶段相对稳定,维持在 3% DW 左右(表 1)。

表 1 不同发育阶段日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼的总脂肪含量及组成(干重)
Tab.1 The contents and compositions of total lipid in embryos and yolk-sac larvae of *I. japonicus*

	总脂/% total lipid	中性脂肪/% neutral lipid	极性脂肪/% polar lipid	中性脂/极性脂的百分比 proportion of neutral lipid/polar lipid
囊胚期 blastula stage	13.85 ± 0.25 ^a	3.55 ± 0.00 ^b	10.30 ± 0.09 ^a	25.64/74.36
尾芽期 tail-bud stage	13.70 ± 0.37 ^a	3.81 ± 0.20 ^a	9.89 ± 0.57 ^a	27.80/72.20
初孵仔鱼 newly hatched larvae	12.64 ± 0.81 ^{ab}	3.17 ± 0.02 ^c	9.47 ± 0.44 ^a	25.07/74.93
孵化后 1 天仔鱼 1 DPH larvae	12.40 ± 0.14 ^b	3.05 ± 0.03 ^d	9.35 ± 0.20 ^a	24.61/75.39
孵化后 2 天仔鱼 2 DPH larvae	11.82 ± 0.10 ^{bc}	3.05 ± 0.00 ^d	8.76 ± 0.16 ^b	25.85/74.15
孵化后 3 天仔鱼 3 DPH larvae	11.66 ± 0.19 ^c	3.04 ± 0.03 ^d	8.62 ± 0.18 ^b	26.07/73.93

注:同一列数值上标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Notes: the figures in the same row superscripted with different small letters mean significant differences ($P < 0.05$).

2.2 不同发育阶段的日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼的脂肪酸含量

表 2 所示为不同发育阶段日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼总脂肪的主要脂肪酸含量 (mg/g DW)。总脂肪含量高的脂肪酸为 DHA (22:6n-3)、16:0、ARA (20:4n-6)、EPA (20:5n-3)、18:0 和 18:1n-9。14:0、16:0、20:2n-3、ARA、EPA、22:4n-6、22:5n-3 和 DHA 含量 (mg/gDW) 均随胚胎及卵黄囊仔鱼的发育显著降低,其中 ARA 和 DHA 在胚胎由囊胚期向尾芽期发育过程中大幅下降;而 16:1n-5、18:1n-9 及 20:1 含量随发育先升高后降低 ($P < 0.05$),其峰值均出现在 1DPH 卵黄囊仔鱼。相应的,随胚胎及卵黄囊仔鱼发育,总脂的饱和脂肪酸 (SFAs)、多不饱和脂肪酸 (PUFAs)、N-3PUFAs 和 N-6PUFAs 含量显著下降 ($P < 0.05$),而单不饱和脂肪酸 (MUFAs) 含量随发育先升高后降低 ($P < 0.05$),其峰值出现在 1DPH 卵黄囊仔鱼阶段。

从表 3 可知,日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼极性脂肪内含量较高的脂肪酸为: DHA, 16:0, ARA, EPA 和 18:0。随着早期发育的进行,极性脂肪内 14:0, 16:0, ARA, EPA, 22:4n-6, 22:5n-3 和 DHA 的含量 (mg/gDW) 均呈现显著下降 ($P < 0.05$)。20:2n-6, ARA, 22:4n-6 和 DHA 的含量

从囊胚期发育到尾芽期下降幅度很大。18:0 在胚胎发育阶段呈现先降后升的变化 ($P < 0.05$),最小值出现在尾芽期胚胎。16:1n-5, 18:1n-9 和 20:1 随发育而呈现先升后降的变化 ($P < 0.05$),16:1n-5 峰值出现在尾芽期胚胎,18:1n-9 和 20:1 的峰值出现在 1DPH 卵黄囊仔鱼。相应的,极性脂内 SFAs、PUFAs、N-3PUFAs 和 N-6PUFAs 含量在胚胎及卵黄囊仔鱼发育过程中呈显著下降 ($P < 0.05$),而 MUFAs 含量在发育过程中呈先升后降的变化 ($P < 0.05$),峰值出现在初孵仔鱼阶段。

表 4 为不同发育阶段日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼中性脂肪主要脂肪酸含量。随着胚胎及卵黄囊仔鱼的发育,中性脂肪内 16:0 和 14:0 含量呈现显著下降 ($P < 0.05$); 18:0, 20:2n-6, EPA 和 DHA 含量呈现先升后降的变化 ($P < 0.05$); 而 ARA 含量则随发育进行而逐步升高 ($P < 0.05$); 16:1n-5 及 18:1n-9 含量则随发育而波动变化。中性脂肪内 SFAs、PUFAs、n-3PUFAs 和 n-6PUFAs 含量随日本鬼鲉早期发育呈先升后降的变化,在 2DPH 卵黄囊仔鱼向 3DPH 卵黄囊仔鱼发育过程中,中性脂肪 SFAs 和 MUFAs 含量均出现大幅下降 ($P < 0.05$)。

表 2 不同发育阶段日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼的总脂肪的主要脂肪酸含量 (mg/g DW)
 Tab. 2 The contents of main fatty acids in total lipid in developmental embryo and yolk-sac larvae of *I. japonicus*

脂肪酸 fatty acids	囊胚期 blastula stage	尾芽期 tail-bud stage	初孵仔鱼 newly hatched larvae	孵化 1 d 仔鱼 1DPH larvae	孵化 2 d 仔鱼 2DPH larvae	孵化 3 d 仔鱼 3DPH larvae
14:0	0.77 ± 0.04 ^a	0.68 ± 0.04 ^{ab}	0.61 ± 0.09 ^{bc}	0.59 ± 0.05 ^{bc}	0.51 ± 0.01 ^c	0.37 ± 0.02 ^d
16:0	14.07 ± 0.37 ^a	11.28 ± 0.55 ^b	11.65 ± 0.78 ^b	11.07 ± 0.67 ^b	10.36 ± 0.18 ^c	8.62 ± 0.16 ^d
16:1n-5	2.41 ± 0.08 ^b	3.11 ± 0.31 ^a	2.37 ± 0.06 ^b	2.47 ± 0.07 ^b	1.84 ± 0.01 ^c	1.56 ± 0.04 ^d
16:2n	0.29 ± 0.00	0.32 ± 0.07	0.29 ± 0.02	0.33 ± 0.04	0.27 ± 0.01	0.26 ± 0.01
16:3n	0.25 ± 0.04	0.29 ± 0.11	0.26 ± 0.06	0.22 ± 0.08	0.15 ± 0.00	0.21 ± 0.01
18:0	4.37 ± 0.00 ^b	3.99 ± 0.06 ^c	4.49 ± 0.32 ^{ab}	4.68 ± 0.21 ^a	4.59 ± 0.03 ^a	4.49 ± 0.06 ^a
18:1n-9	3.44 ± 0.09 ^c	4.04 ± 0.40 ^b	3.87 ± 0.49 ^{bc}	4.79 ± 0.22 ^a	4.23 ± 0.00 ^b	4.07 ± 0.14 ^b
18:1n-7	1.28 ± 0.28	1.36 ± 0.14	1.88 ± 0.52	1.57 ± 0.12	1.37 ± 0.02	1.44 ± 0.04
18:2n-3	0.23 ± 0.00 ^c	0.41 ± 0.05 ^a	0.35 ± 0.03 ^b	0.42 ± 0.02 ^a	0.36 ± 0.01 ^b	0.35 ± 0.03 ^b
18:4n-6	0.34 ± 0.01 ^a	0.15 ± 0.05 ^c	0.32 ± 0.09 ^a	0.28 ± 0.02 ^{ab}	0.23 ± 0.01 ^{ab}	0.10 ± 0.07 ^c
18:4n-3	0.33 ± 0.04 ^{ab}	0.25 ± 0.09 ^b	0.46 ± 0.12 ^a	0.46 ± 0.08 ^a	0.17 ± 0.02 ^b	0.25 ± 0.05 ^b
20:1	0.24 ± 0.00 ^c	0.37 ± 0.06 ^{ab}	0.34 ± 0.02 ^b	0.44 ± 0.02 ^a	0.38 ± 0.01 ^{ab}	0.33 ± 0.01 ^b
20:2n-6	2.11 ± 0.03 ^a	0.36 ± 0.28 ^c	1.24 ± 0.71 ^b	0.38 ± 0.08 ^c	0.37 ± 0.02 ^c	0.13 ± 0.06 ^c
20:2n-3	0.70 ± 0.14 ^a	0.94 ± 0.55 ^a	0.59 ± 0.28 ^a	0.69 ± 0.06 ^a	0.56 ± 0.01 ^a	0.08 ± 0.00 ^b
20:4n-6	5.26 ± 0.02 ^a	3.97 ± 0.09 ^c	3.89 ± 0.14 ^c	4.18 ± 0.05 ^b	3.87 ± 0.04 ^c	3.86 ± 0.01 ^c
20:5n-3	5.26 ± 0.03 ^a	4.69 ± 0.20 ^b	3.94 ± 0.39 ^c	3.65 ± 0.11 ^c	3.05 ± 0.02 ^d	2.48 ± 0.01 ^e
22:4n-6	1.50 ± 0.02 ^a	0.98 ± 0.05 ^c	0.84 ± 0.06 ^c	0.97 ± 0.04 ^b	0.88 ± 0.03 ^c	0.88 ± 0.01 ^c
22:5n-3	1.95 ± 0.05 ^a	1.85 ± 0.16 ^a	1.44 ± 0.10 ^c	1.87 ± 0.05 ^a	1.60 ± 0.07 ^b	1.44 ± 0.07 ^c
22:6n-3	16.67 ± 0.01 ^a	13.40 ± 0.72 ^b	13.25 ± 0.63 ^b	13.11 ± 0.27 ^b	11.85 ± 0.01 ^c	11.60 ± 0.12 ^d
SFAs	19.53 ± 0.41 ^a	16.21 ± 0.60 ^b	17.02 ± 1.13 ^b	16.62 ± 0.93 ^b	15.74 ± 0.15 ^b	13.72 ± 0.23 ^c
MUFAs	7.50 ± 0.30 ^c	9.07 ± 0.93 ^{ab}	8.66 ± 1.01 ^{ab}	9.48 ± 0.35 ^a	8.06 ± 0.06 ^b	7.56 ± 0.16 ^c
PUFAs	35.04 ± 0.38 ^a	27.82 ± 1.67 ^b	27.02 ± 0.21 ^b	26.74 ± 0.35 ^b	23.50 ± 0.11 ^c	21.80 ± 0.31 ^d
N-3PUFAs	25.28 ± 0.27 ^a	21.74 ± 1.69 ^b	20.18 ± 0.72 ^b	20.39 ± 0.34 ^b	17.73 ± 0.08 ^c	16.36 ± 0.20 ^d
N-6PUFAs	9.22 ± 0.07 ^a	5.47 ± 0.19 ^{bc}	6.28 ± 0.59 ^b	5.81 ± 0.14 ^b	5.35 ± 0.03 ^c	4.97 ± 0.13 ^d

注:同一行数值上标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。总脂肪 SFAs 包含 14:0, 16:0, 17:0 和 18:0; MUFAs 包含 16:1n-5, 17:1, 18:1n-9, 18:1n-7 和 20:1; PUFAs 包含 16:2n, 16:3n, 16:4n-3, 18:2n-3, 18:4n-6, 18:4n-3, 20:2n-6, 20:2n-3, 20:4n-6, 20:5n-3, 22:4n-6, 22:5n-3 和 22:6n-3。

Notes: the figures in the same line superscripted with different small letters mean significant differences ($P < 0.05$). SFAs in total lipid contain 14:0, 16:0, 17:0 and 18:0. MUFAs in total lipid contain 16:1n-5, 17:1, 18:1n-9, 18:1n-7 and 20:1. PUFAs in total lipid contain 16:2n, 16:3n, 16:4n-3, 18:2n-3, 18:4n-6, 18:4n-3, 20:2n-6, 20:2n-3, 20:4n-6, 20:5n-3, 22:4n-6, 22:5n-3 and 22:6n-3.

表 3 不同发育阶段日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼极性脂肪的主要脂肪酸含量 (mg/g DW)
 Tab. 3 The contents of main fatty acids in polar lipid in developmental embryo and yolk-sac larvae of *I. japonicus*

脂肪酸 fatty acids	囊胚期 blastula stage	尾芽期 tail-bud stage	初孵仔鱼 newly hatched larvae	孵化 1 d 仔鱼 1DPH larvae	孵化 2 d 仔鱼 2DPH larvae	孵化 3 d 仔鱼 3DPH larvae
14:0	0.52 ± 0.03 ^a	0.45 ± 0.01 ^b	0.44 ± 0.04 ^b	0.41 ± 0.03 ^b	0.36 ± 0.02 ^c	0.28 ± 0.00 ^d
16:0	11.84 ± 0.42 ^a	8.90 ± 0.49 ^b	9.31 ± 0.43 ^b	8.64 ± 0.54 ^{bc}	8.11 ± 0.27 ^c	7.05 ± 0.13 ^d
16:1n-5	1.42 ± 0.10 ^c	2.20 ± 0.06 ^a	2.06 ± 0.10 ^a	1.80 ± 0.09 ^b	1.24 ± 0.04 ^d	1.19 ± 0.01 ^d
16:2n	0.22 ± 0.00 ^a	0.24 ± 0.06 ^{ab}	0.20 ± 0.01 ^{ab}	0.22 ± 0.02 ^{ab}	0.17 ± 0.00 ^c	0.19 ± 0.00 ^b
16:3n	0.16 ± 0.02 ^a	0.21 ± 0.10 ^{ab}	0.12 ± 0.02 ^b	0.17 ± 0.06 ^{ab}	0.08 ± 0.02 ^b	0.14 ± 0.02 ^{ab}
18:0	3.62 ± 0.02 ^d	3.09 ± 0.08 ^c	3.34 ± 0.07 ^b	3.52 ± 0.22 ^{ab}	3.39 ± 0.01 ^b	3.42 ± 0.05 ^b
18:1n-9	1.94 ± 0.02 ^d	2.69 ± 0.06 ^c	2.99 ± 0.18 ^{ab}	3.20 ± 0.19 ^a	2.81 ± 0.01 ^b	3.00 ± 0.08 ^a
18:1n-7	0.90 ± 0.22 ^{bc}	1.00 ± 0.05 ^{ab}	1.07 ± 0.05 ^a	1.05 ± 0.08 ^{ab}	0.88 ± 0.02 ^c	0.96 ± 0.04 ^b
18:2n-3	0.14 ± 0.00 ^c	0.30 ± 0.01 ^a	0.31 ± 0.03 ^a	0.30 ± 0.01 ^a	0.25 ± 0.00 ^b	0.25 ± 0.01 ^b
18:4n-6	0.14 ± 0.01 ^a	0.06 ± 0.01 ^{bc}	0.08 ± 0.03 ^{bc}	0.05 ± 0.01 ^{bc}	0.08 ± 0.00 ^b	0.04 ± 0.02 ^c
18:4n-3	0.14 ± 0.02 ^{bc}	0.09 ± 0.05 ^{bcd}	0.17 ± 0.08 ^{ab}	0.22 ± 0.03 ^a	0.05 ± 0.01 ^d	0.19 ± 0.01 ^{ab}
20:1	0.14 ± 0.00 ^c	0.26 ± 0.02 ^{ab}	0.25 ± 0.01 ^b	0.29 ± 0.02 ^a	0.25 ± 0.01 ^b	0.22 ± 0.02 ^b
20:2n-6	1.77 ± 0.12 ^a	0.08 ± 0.02 ^c	0.12 ± 0.04 ^c	0.08 ± 0.02 ^c	0.25 ± 0.00 ^b	0.09 ± 0.04 ^c

续表 3

脂肪酸 fatty acids	囊胚期 blastula stage	尾芽期 tail-bud stage	初孵仔鱼 newly hatched larvae	孵化 1 d 仔鱼 1DPH larvae	孵化 2 d 仔鱼 2DPH larvae	孵化 3 d 仔鱼 3DPH larvae
20:2n-3	0.31 ± 0.11 ^a	0.35 ± 0.32 ^{ab}	0.08 ± 0.05 ^b	0.06 ± 0.02 ^b	0.20 ± 0.02 ^a	0.04 ± 0.01 ^b
20:4n-6	4.98 ± 0.00 ^a	3.58 ± 0.06 ^b	3.32 ± 0.14 ^{bc}	3.56 ± 0.10 ^b	3.21 ± 0.04 ^c	3.27 ± 0.01 ^c
20:5n-3	4.82 ± 0.01 ^a	4.11 ± 0.08 ^b	3.20 ± 0.39 ^c	2.97 ± 0.06 ^d	2.40 ± 0.00 ^e	2.03 ± 0.03 ^f
22:4n-6	1.43 ± 0.01 ^a	0.87 ± 0.01 ^b	0.78 ± 0.06 ^b	0.81 ± 0.02 ^b	0.70 ± 0.02 ^c	0.71 ± 0.00 ^c
22:5n-3	1.69 ± 0.02 ^a	1.57 ± 0.04 ^b	1.37 ± 0.09 ^c	1.49 ± 0.04 ^{bc}	1.21 ± 0.08 ^{cd}	1.13 ± 0.04 ^d
22:6n-3	15.68 ± 0.08 ^a	11.83 ± 0.09 ^b	11.00 ± 0.64 ^c	10.84 ± 0.15 ^c	9.44 ± 0.08 ^d	9.42 ± 0.08 ^d
SFAs	16.24 ± 0.47 ^a	12.64 ± 0.56 ^{bc}	13.29 ± 0.55 ^b	12.77 ± 0.77 ^{bc}	12.07 ± 0.28 ^c	10.94 ± 0.18 ^d
MUFAs	4.49 ± 0.10 ^c	6.28 ± 0.12 ^a	6.52 ± 0.13 ^a	6.49 ± 0.36 ^a	5.36 ± 0.07 ^b	5.51 ± 0.14 ^b
PUFAs	31.56 ± 0.24 ^a	23.39 ± 0.34 ^b	20.84 ± 1.29 ^{bc}	20.87 ± 0.39 ^c	18.15 ± 0.25 ^d	17.64 ± 0.22 ^e
N-3PUFAs	22.86 ± 0.09 ^a	18.35 ± 0.27 ^b	16.22 ± 1.13 ^c	16.00 ± 0.27 ^c	13.66 ± 0.18 ^d	13.19 ± 0.17 ^e
N-6PUFAs	8.32 ± 0.13 ^a	4.58 ± 0.07 ^b	4.30 ± 0.14 ^c	4.49 ± 0.10 ^{bc}	4.25 ± 0.05 ^c	4.12 ± 0.06 ^c

注:同一行数值上标不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。极性脂 SFAs 包含 14:0,16:0,17:0 和 18:0;MUFAs 包含 16:1n-5,17:1,18:1n-9,18:1n-7 和 20:1;PUFAs 包含 16:2n,16:3n,16:4n-3,18:2n-3,18:4n-6,18:4n-3,20:2n-6,20:2n-3,20:4n-6,20:5n-3,22:4n-6,22:5n-3 和 22:6n-3。

Notes:the figures in the same line superscripted with different small letters mean significant differences($P < 0.05$). SFAs in polar lipid contain 14:0,16:0,17:0 and 18:0. MUFAs in polar lipid contain 16:1n-5,17:1,18:1n-9,18:1n-7 and 20:1. PUFAs in polar lipid contain 16:2n,16:3n,16:4n-3,18:2n-3,18:4n-6,18:4n-3,20:2n-6,20:2n-3,20:4n-6,20:5n-3,22:4n-6,22:5n-3 and 22:6n-3.

表 4 不同发育阶段日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼中性脂肪内主要脂肪酸含量(mg/g DW)

Tab.4 The contents of main fatty acids in neutral lipid in developmental embryo and yolk-sac larvae of *I. japonicus*

脂肪酸 fatty acids	囊胚期 blastula stage	尾芽期 tail-bud stage	初孵仔鱼 newly hatched larvae	孵化 1 d 仔鱼 1DPH larvae	孵化 2 d 仔鱼 2DPH larvae	孵化 3 d 仔鱼 3DPH larvae
14:0	0.25 ± 0.00 ^a	0.23 ± 0.04 ^{ab}	0.17 ± 0.06 ^{bc}	0.18 ± 0.03 ^{bc}	0.16 ± 0.01 ^c	0.09 ± 0.01 ^d
16:0	2.23 ± 0.05 ^a	2.38 ± 0.13 ^a	2.34 ± 0.39 ^a	2.43 ± 0.17 ^a	2.24 ± 0.09 ^a	1.57 ± 0.03 ^b
16:1n-5	0.99 ± 0.01 ^a	0.91 ± 0.31 ^{ab}	0.30 ± 0.05 ^c	0.67 ± 0.08 ^b	0.60 ± 0.02 ^b	0.37 ± 0.02 ^c
16:2n	0.07 ± 0.00 ^b	0.08 ± 0.01 ^b	0.09 ± 0.02 ^{ab}	0.11 ± 0.02 ^a	0.10 ± 0.01 ^a	0.07 ± 0.01 ^b
16:3n	0.09 ± 0.03 ^{ab}	0.08 ± 0.03 ^b	0.14 ± 0.04 ^a	0.06 ± 0.04 ^b	0.06 ± 0.02 ^b	0.06 ± 0.00 ^b
18:0	0.75 ± 0.01 ^d	0.90 ± 0.05 ^c	1.15 ± 0.26 ^{ab}	1.15 ± 0.02 ^a	1.19 ± 0.02 ^a	1.07 ± 0.01 ^b
18:1n-9	1.50 ± 0.11 ^a	1.35 ± 0.45 ^{abc}	0.88 ± 0.34 ^c	1.60 ± 0.06 ^a	1.42 ± 0.01 ^{ab}	1.06 ± 0.06 ^c
18:1n-7	0.37 ± 0.07	0.36 ± 0.17	0.81 ± 0.57	0.51 ± 0.06	0.49 ± 0.01	0.48 ± 0.01
18:2n-3	0.09 ± 0.00 ^b	0.11 ± 0.05 ^{ab}	0.04 ± 0.00 ^c	0.12 ± 0.00 ^a	0.11 ± 0.01 ^a	0.10 ± 0.01 ^{ab}
18:4n-6	0.20 ± 0.01 ^a	0.10 ± 0.04 ^b	0.24 ± 0.07 ^a	0.23 ± 0.03 ^a	0.15 ± 0.01 ^b	0.06 ± 0.05 ^c
18:4n-3	0.19 ± 0.02 ^a	0.16 ± 0.06 ^{ab}	0.29 ± 0.15 ^a	0.24 ± 0.06 ^a	0.12 ± 0.01 ^b	0.06 ± 0.06 ^c
20:1	0.09 ± 0.00 ^c	0.11 ± 0.05 ^{ab}	0.08 ± 0.02 ^c	0.15 ± 0.02 ^a	0.14 ± 0.00 ^a	0.11 ± 0.00 ^b
20:2n-6	0.34 ± 0.09 ^b	0.28 ± 0.27 ^{bc}	1.12 ± 0.66 ^a	0.30 ± 0.08 ^b	0.12 ± 0.02 ^c	0.04 ± 0.02 ^d
20:2n-3	0.40 ± 0.03 ^b	0.59 ± 0.23 ^{ab}	0.51 ± 0.24 ^{ab}	0.63 ± 0.06 ^a	0.36 ± 0.01 ^b	0.03 ± 0.01 ^c
20:4n-6	0.28 ± 0.02 ^b	0.39 ± 0.12 ^b	0.57 ± 0.02 ^a	0.63 ± 0.06 ^a	0.66 ± 0.00 ^a	0.59 ± 0.00 ^a
20:5n-3	0.44 ± 0.02 ^{bc}	0.57 ± 0.25 ^{ab}	0.74 ± 0.03 ^a	0.68 ± 0.14 ^{ab}	0.64 ± 0.02 ^{ab}	0.45 ± 0.02 ^{bc}
22:4n-6	0.07 ± 0.01 ^b	0.11 ± 0.05 ^{ab}	0.06 ± 0.03 ^b	0.16 ± 0.03 ^a	0.18 ± 0.01 ^a	0.17 ± 0.00 ^a
22:5n-3	0.25 ± 0.03 ^b	0.28 ± 0.14 ^{ab}	0.07 ± 0.02 ^c	0.38 ± 0.08 ^a	0.39 ± 0.01 ^a	0.31 ± 0.02 ^a
22:6n-3	0.99 ± 0.07 ^c	1.57 ± 0.74 ^{abc}	2.24 ± 0.03 ^b	2.27 ± 0.36 ^{ab}	2.41 ± 0.06 ^a	2.17 ± 0.04 ^b
SFAs	3.29 ± 0.06 ^b	3.58 ± 0.20 ^{ab}	3.74 ± 0.63 ^{ab}	3.85 ± 0.21 ^a	3.67 ± 0.13 ^{ab}	2.79 ± 0.05 ^c
MUFAs	3.01 ± 0.20 ^a	2.80 ± 0.98 ^a	2.14 ± 0.95 ^{ab}	2.99 ± 0.09 ^a	2.70 ± 0.01 ^a	2.05 ± 0.03 ^b
PUFAs	3.48 ± 0.14 ^d	4.43 ± 1.36 ^{abcd}	6.17 ± 1.13 ^a	5.87 ± 0.51 ^{ab}	5.34 ± 0.13 ^{abc}	4.16 ± 0.09 ^{bcd}
N-3PUFAs	2.42 ± 0.18 ^c	3.39 ± 1.45 ^{ab}	3.96 ± 0.41 ^a	4.39 ± 0.51 ^a	4.07 ± 0.10 ^a	3.17 ± 0.02 ^b
N-6PUFAs	0.90 ± 0.07 ^c	0.89 ± 0.13 ^c	1.98 ± 0.73 ^a	1.32 ± 0.08 ^{ab}	1.10 ± 0.02 ^b	0.85 ± 0.07 ^c

注:同一行数值上标不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。中性脂 SFAs 包含 14:0,16:0,17:0 和 18:0;MUFAs 包含 16:1n-5,17:1,18:1n-9,18:1n-7 和 20:1;PUFAs 包含 16:2n,16:3n,16:4n-3,18:2n-3,18:4n-6,18:4n-3,20:2n-6,20:2n-3,20:4n-6,20:5n-3,22:4n-6,22:5n-3 和 22:6n-3。

Notes:the figures in the same line superscripted with different small letters mean significant differences($P < 0.05$). SFAs in neutral lipid contain 14:0,16:0,17:0 and 18:0. MUFAs in neutral lipid contain 16:1n-5,17:1,18:1n-9,18:1n-7 and 20:1. PUFAs in neutral lipid contain 16:2n,16:3n,16:4n-3,18:2n-3,18:4n-6,18:4n-3,20:2n-6,20:2n-3,20:4n-6,20:5n-3,22:4n-6,22:5n-3 and 22:6n-3.

3 讨论

海水鱼类在胚胎发育和开口摄食前的卵黄囊仔鱼发育过程中完全依赖内源性营养物质维持正常的生理活动^[20],受精卵包含着胚胎和卵黄囊期仔鱼发育所必需的全部营养。已有的研究表明:在鱼类胚胎发育阶段,胚胎发育过程中一般依次利用碳水化合物(糖原)-蛋白(游离氨基酸)-脂肪(脂肪酸)作为发育所需的能量来源^[8]。脂类(含脂肪酸)和蛋白(氨基酸)是支持鱼类早期发育最重要的两类营养物质。脂类包括甘油三酯、磷脂、固醇和脂蛋白,甘油三酯是鱼类中性脂肪的主要成分,而磷脂则是鱼类极性脂肪的主要成分。生物体内磷脂的重要生物学功能是构成细胞膜的基本结构。中性脂的主要生物学功能是能量存贮和构建细胞组分^[21]。

日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼的总脂肪以极性脂类为主,占总脂肪含量为 75.39%~72.20%,其脂肪组成特性与同样不含油球的黑线鲷(*Melanogrammus aeglefinus*)及大西洋鲑鱼(*Gadus morhua*)的胚胎脂肪组成相近,均表现为极性脂比例大于中性脂比例^[15],而与一些卵中带有油球的种类,如细点牙鲷(*Dentex dentex*)、狼鲈(*Dicentrarchus labrax*)和大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)的胚胎脂肪组成有较大差异,后三者中性脂的比例会达到 50% 以上^[15]。表明海水鱼类胚胎和卵黄囊仔鱼的脂肪组成因种类及卵内是否含油球而异。实验中,随着日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼发育,总脂含量逐步降低,表明在早期发育过程中,脂类物质作为新陈代谢的底物被逐步消耗。然而中性脂含量在胚胎发育前期显著增加,在胚胎发育后期显著降低。表明在胚胎发育前期阶段,胚胎中存在中性脂的合成代谢。这种合成可能是由于极性脂向中性脂转化的结果,也可能是其他营养物质(蛋白,碳水化合物)向脂肪转化的结果,然而日本鬼鲉胚胎发育前期中性脂增加的生物学意义尚不清楚。在胚胎发育后期中性脂含量的急剧下降则表明胚胎发育后期随胚胎运动加剧,其能量消耗增加,中性脂作为代谢能源被消耗。根据表 1 各类脂肪随幼体发育而下降的程度还可知,相对于中性脂而言,日本鬼鲉早期发育主要利用极性脂作为主要能源物质。在大西洋鲑鱼的早期发育过程中,磷脂在胚胎发育及早期仔鱼

阶段均有被消耗^[22]。但在真鲷(*Pagrus major*)和美洲拟鲈(*Pseudopleuronectes americanus*)的卵黄囊仔鱼发育过程中,中性脂肪作为能量来源并消耗^[23]。而在鲱鳅(*Coryphaena hippurus*)的发育过程中,脂肪在整个早期发育阶段(胚胎和仔鱼)均有分解消耗^[23]。上述研究表明鱼类在早期发育阶段的脂肪代谢特点也因鱼种而异。Sargent 等^[15]认为,海水鱼类发育早期阶段,根据卵内脂肪组成的特性,脂肪的分解代谢总体上存在两种主要的方式:在富含磷脂的鱼卵中优先分解磷脂,特别是磷脂酰胆碱;而在富含中性脂的鱼卵中优先分解甘油三酯及蜡酯。本文结论与此观点基本一致。

脂肪酸在鱼类胚胎和仔鱼发育过程中起着十分重要的作用,日本鬼鲉胚胎和卵黄囊仔鱼内 PUFAs 含量高于 MUFAs 和 SFAs,这与半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)^[24]、黑线鲷(*Melanogrammus aeglefinus*)^[25]等海水鱼类研究结果相一致。淡水种类黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)^[26]的受精卵各类脂肪酸含量则呈现出 SFAs > MUFAs > PUFAs。这表明不同鱼类胚胎及卵黄囊仔鱼中脂肪酸组成有所差别。

DHA、EPA 和 ARA 是海水鱼类生长发育的必需脂肪酸,DHA 的缺乏不仅会导致鱼类视觉与神经系统发育障碍^[15,27],还会使鱼类色素沉积出现异常^[28-29]。ARA 和 EPA 是类二十烷酸的主要前体物,两者之间存在竞争关系,ARA 与鱼类抗应激能力也有关系^[30]。

从总脂肪的脂肪酸绝对含量(mg/gDW)看,ARA、EPA、DHA 等大多数脂肪酸均随早期发育而逐步下降,其中 ARA、DHA 及 PUFA 含量在胚胎发育前期降幅大,而 16:0 含量在胚胎发育前期及 2DPH 卵黄囊仔鱼向 3DPH 卵黄囊仔鱼发育过程中均出现大幅下降(表 2)。极性脂肪的脂肪酸绝对含量(mg/gDW)的变化与总脂脂肪酸含量变化相似(表 3)。但中性脂脂肪酸绝对含量(mg/gDW)的变化有明显差异。中性脂的 ARA 含量随发育而增加,EPA 及 DHA 含量随发育呈先升后降的变化(表 4)。由于 ARA、EPA 和 DHA 是海水鱼类的必需脂肪酸,其在中性脂中绝对含量的增加证实了日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼发育过程中存在极性脂向中性脂的转化。而 ARA、EPA 和 DHA 在总脂含量中绝对含量(mg/

gDW)下降,表明这些必需脂肪酸也参与了日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼发育过程中的能量供给或物质转化。其他学者发现在白鲷(*Diplodus sargus*)^[17]和金头鲷(*Sparus aurata*)^[31]的早期发育过程中,DHA也被分解供能。但塞内加尔鲷(*Solea senegalensis*)早期发育过程中DHA得到完全保留^[20]。

已有的研究表明,某些鱼类在发育过程中对脂肪酸的利用存在一定的选择性^[8]。如鲢仔鱼在早期发育阶段主要消耗16C:0作为能量代谢的基质^[32];而黄颡鱼^[26]、突吻鲳鲈(*Maccullochella macquariensis*)^[33]和金头鲷^[34]的仔鱼则优先利用MUFAs作为能量基质被消耗。从日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼发育过程中总脂内各类脂肪酸比值的相对变化看,DHA/EPA比值在胚胎发育前期下降,在胚胎发育后期及卵黄囊仔鱼阶段逐渐上升,表明在日本鬼鲉胚胎发育前期阶段,DHA相对EPA被选择性消耗;而在胚胎发育后期及卵黄囊仔鱼阶段,EPA相对DHA被选择性消耗(图1)。同样,在胚胎发育前期,ARA相对EPA被选择性消耗,而在胚胎发育后期及卵黄囊仔鱼阶段,EPA相对ARA被选择性消耗(图1)。在胚胎发育早期,SFAs和PUFAs相对MUFAs被机体选择性消耗,N-6PUFAs相对N-3PUFAs被选择性消耗(图1)。而在胚胎发育后期及卵黄囊仔鱼阶段,机体并不表现出倾向性的消耗SFAs、PUFAs和MUFAs,以及N-6PUFAs和N-3PUFAs(图1)。在主要的SFAs中,日本鬼鲉胚胎和卵黄囊仔鱼选择性消耗16:0,18:0相对得到保留;在主要的MUFAs中,胚胎后期阶段和卵黄囊仔鱼选择性消耗16:1,18:1相对得到保留(图1)。表明不同发育阶段的日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼对总脂肪中各脂肪酸的消耗具有不同的选择性。Cejas等^[17]发现白鲷胚胎及卵黄囊仔鱼发育过程中,在三种必需脂肪酸(DHA,EPA和ARA)中,只有ARA占总脂肪酸的百分含量得到保留,并把ARA得到相对保留归因于其重要的生物学作用(二十碳烷酸的重要前体)。实验中,从绝对含量的角度,日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼中的ARA含量是逐步下降的,但其占总脂肪酸的百分含量确是相对稳定的,囊胚期、尾芽期、初孵仔鱼及1、2、3日龄仔鱼中,ARA占总脂肪酸的含量分别为8.47%、7.48%、7.38%、7.91%、8.18%和8.98%。这与Cejas等^[17]发现的规律相一致。

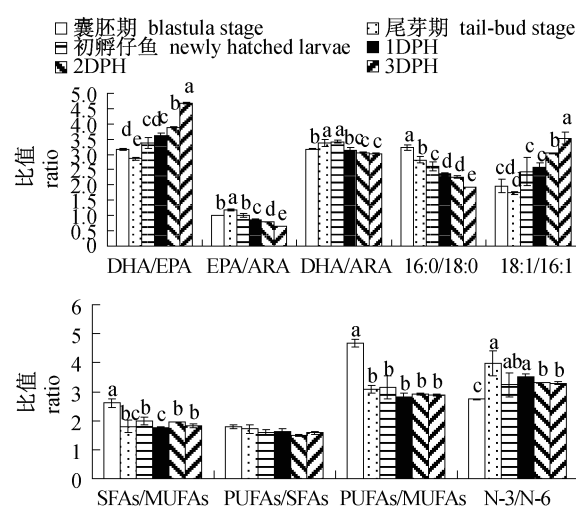


图1 日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼发育过程中总脂内主要脂肪酸含量比值变化

同一组别上标不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。以下注释同此图。

Fig. 1 The changes in ratio among the contents of main fatty acids in total lipid in developmental embryo and yolk-sac larvae of *I. japonicus*

The columns in the treatment superscripted with different small letters mean significant differences ($P < 0.05$). The same as the following.

从极性脂各类脂肪酸比值的相对变化看,日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼发育过程中对各类脂肪酸的消耗规律与总脂脂肪酸消耗规律基本一致(图2)。但中性脂各类脂肪酸在发育过程中呈现不同消耗规律(图3)。在日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼发育过程中,中性脂肪的EPA相对DHA被选择性消耗(图3),胚胎发育阶段中性脂肪MUFAs相对PUFAs被选择性消耗(图3)。在主要的SFAs中,日本鬼鲉胚胎和卵黄囊仔鱼选择性消耗中性脂16:0,中性脂18:0相对得到保留;在主要的中性脂MUFAs中,胚胎后期阶段选择性消耗16:1,18:1相对得到保留(图3)。表明相同的脂肪酸在不同脂肪类别(中性脂和极性脂)中的利用顺序和规律也是不一样的。

综上所述,日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼发育过程中,其脂肪组成主要以极性脂为主,总脂肪及极性脂肪含量在胚胎发育阶段无显著变化,在卵黄囊仔鱼阶段随发育而显著下降。中性脂肪含量在胚胎发育阶段有显著变化,在卵黄囊仔鱼阶段其含量相对稳定。日本鬼鲉早期发育阶段的脂肪组成及代谢特点与其他已报道的卵不含油球的鱼

类相类似。同时,极性脂肪中 DHA、ARA 和 EPA 可以向中性脂肪转移,胚胎和卵黄囊仔鱼对不同类别脂肪中的重要脂肪酸的消耗具有选择性,且其选择性与发育阶段相关。总脂 DHA、ARA 和 EPA 的绝对含量(mg/gDW)在发育过程中逐步下降,ARA 的相对含量在发育过程中得到保留。

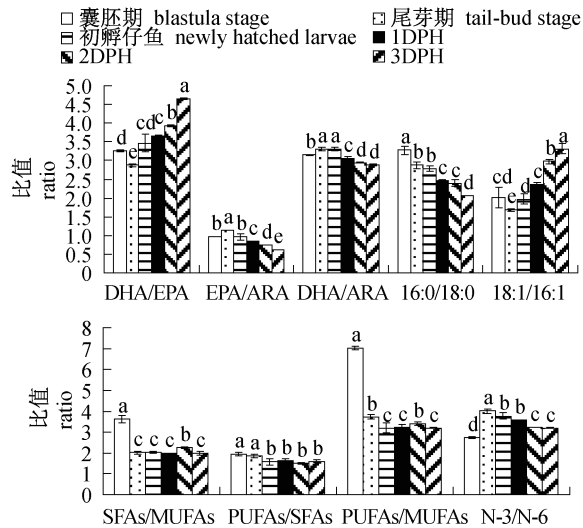


图2 日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼发育过程中极性脂内主要脂肪酸含量比值变化

Fig.2 The changes in ratio among the contents of main fatty acids in polar lipid in developmental embryo and yolk-sac larvae of *I. japonicus*

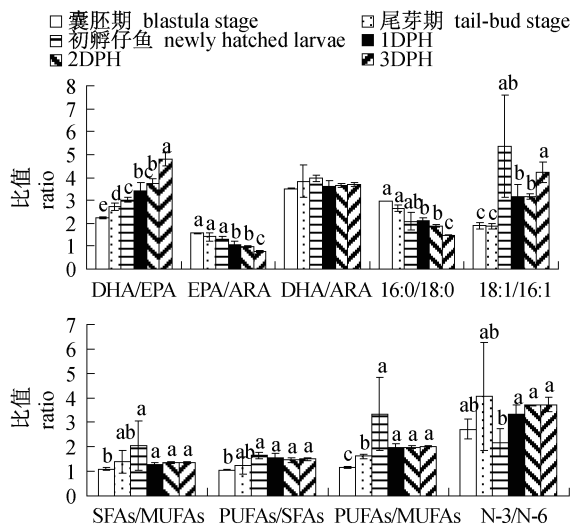


图3 日本鬼鲉胚胎及卵黄囊仔鱼发育过程中中性脂内主要脂肪酸含量比值变化

Fig.3 The changes in ratio among the contents of main fatty acids in neutral lipid in developmental embryo and yolk-sac larvae of *I. japonicus*

参考文献:

- [1] 张其永,洪万树.海洋养殖鱼类仔稚鱼摄食和营养研究的进展[J].台湾海峡,2001,20(增刊):1-10.
- [2] Robin J H, Vincent B. Microparticulate diets as first food for gilthead sea bream larval (*Sparus aurata*): study of fatty acid incorporation [J]. Aquaculture, 2003, 225: 463-474.
- [3] Castell J D, Bell J G, Tocher D R, et al. Effects of purified diets containing different combinations of arachidonic and docosahexaenoic acid on survival, growth and fatty acid composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. Aquaculture, 1994, 128(3-4): 315-333.
- [4] Bell M V, Henderson R J, Sargent J R. The role of polyunsaturated fatty acids in fish [J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Comparative Biochemistry, 1986, 83(4): 711-719.
- [5] Sargent J, McEvoy L, Estevez A, et al. Lipid nutrition of marine fish during early development: current status and future directions [J]. Aquaculture, 1999, 179(1-4): 217-229.
- [6] Sargent J, Bell G, McEvoy L, et al. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish [J]. Aquaculture, 1999, 177(1-4): 191-199.
- [7] Castell J, Blair T, Neil S, et al. The effect of different HUFAs enrichment emulsions on the nutritional value of rotifers (*Brachionus plicatilis*) fed to larval haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) [J]. Aquaculture International, 2003, 11(1-2): 109-117.
- [8] Rainuzzo J R, Reitan K I, Olsen Y. The significance of lipids at early stages of marine fish: A review [J]. Aquaculture, 1997, 155(1-4): 103-115.
- [9] Abi-Ayad S M E A, Kestemont P, Méléard C. Dynamics of total lipids and fatty acids during embryogenesis and larval development of Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2000, 23(3): 233-243.
- [10] 朱元鼎,张春霖,成庆泰.东海鱼类志[M].北京:科学出版社,1963:220-261.
- [11] Takushima M, Nozaki R, Kadomura K, et al. Induced ovulation using LHRHa and artificial fertilization in devil stinger, *Inimicus japonicus* [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2003, 28(1-4): 521-522.
- [12] 沙学绅,阮洪超,何桂芬.鬼鲉卵子及仔稚鱼的发育[J].海洋与湖沼,1981,12(4):365-371.

- [13] 刘振勇,全汉锋. 鬼鲇人工育苗技术研究[J]. 上海水产大学学报,2005,14(1):30-34.
- [14] 林小金. 盐度对日本鬼鲇受精卵发育及仔鱼生长的影响[J]. 福建水产,2008(4):24-26.
- [15] Sargent J R, Tocher D R, Bell J G. The lipids[M]// Halver J E, Hardy R W. Eds. Fish nutrition. 3rd ed. USA:Elsevier,2002:181-257.
- [16] Folch J, Lees M, Stanley G H S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. The Journal of Biological Chemistry,1957,226(1):497-509.
- [17] Cejas J R, Almansa E, Jerez S. Changes in lipid class and fatty acid composition during development in white sea bream (*Diplodus sargus*) eggs and larvae [J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part B; Biochemistry & Molecular Biology, 2004, 139(2):209-216.
- [18] 刘书成,李德涛,高加龙,等. 三种贝类的脂类成分及其营养价值评价[J]. 营养学报,2009,31(4):414-416.
- [19] Morrison W R, Smith L M. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethyl acetals from lipids with boron trifluoride methanol [J]. Journal of Lipid Research,1964,5:600-608.
- [20] Mourente G, Vázquez R. Changes in the content of total lipid, lipid classes and their fatty acids of developing eggs and unfed larvae of the Senegal sole, *Solea senegalensis* Kaup [J]. Fish Physiology and Biochemistry,1996,15(3):221-235.
- [21] National research council. Nutrient requirements of fish and shrimp [M]. Washington; The National Academies Press,2011:102.
- [22] Fraser A J, Gamble J C, Sargent J R. Changes in lipid content, lipid class and fatty acid composition of developing eggs and unfed larvae cod (*Gadus morhua*) [J]. Marine Biology, 1988, 99(3):307-313.
- [23] Rainuzzo J R, Reitan K I, Jørgensen L. Comparative study on the fatty acid and lipid composition of four marine fish larvae [J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Comparative Biochemistry, 1992,103(1):21-26.
- [24] 常青,梁萌青,陈四清,等. 半滑舌鳎受精卵、卵黄囊仔鱼和开口仔鱼氨基酸及脂肪酸的变化[J]. 水生生物学报,2007,31(6):767-773.
- [25] Plante S, Pernet F, Haché R, et al. Ontogenetic variations in lipid class and fatty acid composition of haddock larvae *Melanogrammus aeglefinus* in relation to changes in diet and microbial environment [J]. Aquaculture,2007,263(1-4):107-121.
- [26] 卢素芳,赵娜,刘华斌,等. 黄颡鱼早期发育阶段受精卵和鱼体脂肪酸组成变化[J]. 水产学报,2008,32(5):711-716.
- [27] Koven W M, Tandler A, Kissil G W, et al. The effect of dietary (n-3) polyunsaturated fatty acids on growth, survival and swim bladder development in *Sparus aurata* larvae [J]. Aquaculture, 1990, 91:131-141.
- [28] Bell M V, Henderson R J. Effects of dietary polyunsaturated fatty acid deficiencies on mortality, growth and gill structure in the turbot *Scophthalmus maximus* [J]. Fish Biology,1985,26(2):181-191.
- [29] Reitan K I, Rainuzzo J R, Olsen Y. Influence of lipid composition of live feed on growth, survival and pigmentation of turbot larvae [J]. Aquaculture International,1994,2(1):33-48.
- [30] Koven W, Barr Y, Lutzky S, et al. The effect of dietary arachidonic acid (20:4n-6) on growth, survival and resistance to handling stress in gilthead seabream (*Sparus aurata*) larvae [J]. Aquaculture, 2001,193:107-122.
- [32] Ronnestad I, Koven W M, Tandler A, et al. Energy metabolism during development of eggs and larvae of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) [J]. Marine Biology,1994,120(2):187-196.
- [33] 朱邦科,曹文宣. 鲢早期发育阶段鱼体脂肪酸组成变化[J]. 水生生物学报,2002,26(2):130-135.
- [34] Rasanthi M, Gunasekera, DeSilva S S, et al. Chemical changes in fed and starved larval trout cod, *Maccullochella macquarensis* during early development [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2001,25(4):255-268.
- [35] Koven W M, Kissil G W, Tandler A. Lipid and n-3 requirement of *Sparus aurata* larvae during starvation and feeding [J]. Aquaculture, 1989, 79(1-4):185-191.

The changes in lipid and fatty acid profiles of devil stinger *Inimicus japonicas* during the development of embryo and yolk-sac larvae

HUANG Xuxiong^{1*}, FENG Longfeng¹, WEN Wen¹, CHEN Qingkai², WEI Likun¹

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Fisheries Technology Extension Station of Ningde Municipality, Ningde 352000, China)

Abstract: wild-caught broodstocks of devil stinger *Inimicus japonicas* were induced with LHRH-A₃ to spawn and the fertilized eggs were incubated artificially in seawater with salinity 29 at 20 °C. The lipid compositions and fatty acid profiles of the embryos (blastula stage to tail-bud stage) and yolk-sac larvae [newly hatched, 1 day post hatching (DPH), 2 DPH, 3 DPH (unfed)] were investigated. The results indicated that the total lipid content of devil stinger decreased from 13.85% of the blastula stage embryos to 11.66% of 3 DPH larvae. Polar lipid accounted for 72.20% – 75.39% of total lipid during the early development. There was no significant difference in total lipid and polar lipid contents during embryogenesis. The total lipid and polar lipid contents declined significantly during the development of yolk-sac larvae. The neutral lipid content first increased, then decreased significantly during embryogenesis and kept stable during the development of yolk-sac larvae. DHA (22:6n-3), 16:0, ARA (20:4n-6), EPA (20:5n-3), 18:0 and 18:1n-9 were the dominant fatty acids in total lipid of embryos as well as of yolk-sac larvae. The contents (mg/gDW) of DHA, ARA and EPA in total lipid as well as in polar lipid declined significantly during the early development of the devil stinger. There was sharp declining in contents of DHA and ARA in total lipid as well as in polar lipid when the embryo developed from blastula stage to tail-bud stage. The EPA and DHA contents in neutral lipid first increased, then decreased during the early development and the peak appeared at newly-hatched larvae stage and 2 DPH larvae respectively. The ARA content in neutral lipid increased step by step during the early development. DHA and ARA to EPA, saturated fatty acids (SFAs) and polyunsaturated fatty acids (PUFAs) to mono-unsaturated fatty acids (MUFAs) as well as N-6 PUFA to N-3 PUFA were preferentially utilized in total lipid during the early embryonic development. While EPA to DHA and EPA to ARA in total lipid were preferentially utilized during the later embryogenesis and development of yolk-sac larvae. Among the SFAs, 16:0 to 18:0 was preferentially utilized during the whole early development. Among the MUFAs, 16:1 to 18:1 was preferentially utilized during the later embryogenesis and development of yolk-sac larvae. It was therefore suggested that DHA, EPA and ARA in polar lipid could be transferred into neutral lipid during the early development of devil stinger. And the preferential utilization of some fatty acids depended on the lipid class and the development stage of the embryo and yolk-sac larvae.

Key words: *Inimicus japonicas*; embryos; yolk-sac larvae; total lipid; polar lipid; neutral lipid; fatty acid

Corresponding author: HUANG Xuxiong. E-mail: xxhuang@shou.edu.cn