

# 长江口凤鲚繁殖群体卵巢发育过程中的体内脂肪转移

于晓 唐文乔\* 王磊

上海海洋大学鱼类研究室 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室 上海 201306

**摘要:** 凤鲚 (*Coilia mystus*) 是西太平洋一种短距离江海洄游的重要经济鱼类。为探讨其在溯河产卵洄游过程中卵巢发育的能量来源, 本文对长江口繁殖群体的雌性个体的性腺发育、摄食状况以及肝胰腺、肌肉和卵巢等的粗脂肪含量作了分析。结果显示, (1) 凤鲚的卵巢发育并不同步, 繁殖初期的5月下旬以Ⅲ期和Ⅳ期为主, 两者合占雌性个体的87%; 之后, 成熟个体逐渐增多, 至繁殖期结束前的8月, Ⅴ期个体占44.27%。(2) 77%的Ⅲ期和90%的Ⅳ期以及所有Ⅴ、Ⅵ期个体均为空胃, 但有93%的Ⅱ期个体胃充塞度为1级和2级, 表明凤鲚雌性个体在繁殖期并不摄食, 但产卵不久即开始摄食。(3) Ⅲ期雌性个体的肌肉粗脂肪含量仅1.92% (鲜重, 氯仿-甲醇法), 而卵巢却聚集了身体总脂量的61.88%。这种将有限能量集中于繁殖器官的现象, 可能是小型鱼类难于作长距离溯河产卵洄游的主要原因之一。(4) 自Ⅲ期至Ⅵ期, 雌性个体肌肉和肝胰腺的脂肪含量共下降了12.5%和14.35%, 其中Ⅲ期至Ⅳ期的早期发育阶段分别下降了7.29%和3.65%, 而Ⅳ期至Ⅴ期的晚期发育阶段则分别下降了4.49%和8.63%。这可能预示着肌肉储存的能量首先供给了繁殖活动早期的洄游和代谢, 而肝胰腺储存的营养则可能是完成最后产卵过程的助推器。

**关键词:** 凤鲚; 繁殖群体; 脂肪转移; 能量分配; 长江口

中图分类号: Q955 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263(2014)06-867-08

## Crude Lipid Transition in Tissues during Ovary Development of *Coilia mystus* Living in the Estuary of Yangtze River

YU Xiao TANG Wen-Qiao\* WANG Lei

Laboratory of Ichthyology, Shanghai Ocean University, Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China

**Abstract:** Osbeck's grenadier anchovy (*Coilia mystus*) is an important economic fish with a habit of short distance migration between river and sea, distributing in the western Pacific Ocean. In order to understand the energy transition during ovary development, this study analyzed the ovary development, feeding status, and crude fat contents in hepatopancreas, muscle and ovary of spawning *C. mystus* in the estuary of Yangtze River. The results showed that: (1) oogenesis of *C. mystus* was not synchronous. In the early period of reproduction in late May, 87% of female individuals were in phases III and IV. Then the number of mature female individuals became larger gradually. By the end of spawning in August, the individuals in phase V accounted

基金项目 公益性行业(农业)科研专项(No. 201203065), 高等学校博士学科点专项科研基金项目(No. 20123104110006);

\* 通讯作者, E-mail: wqtang@shou.edu.cn;

第一作者介绍 于晓, 女, 硕士研究生; 研究方向: 鱼类学; E-mail: xiaoyu2795@126.com。

收稿日期: 2014-03-18, 修回日期: 2014-05-29

for 44.27% ; (2) 77% individuals in phase III , 90% individuals in phase IV , and all individuals in phases V , VI had no food in the stomach and gut. In contrast, 93% individuals in phase II showed stomach fullness of classes 1 and 2, suggesting that *C. mystus* fed nothing during spawning period and began to take food soon after spawning; (3) the muscle fat content of female individuals in phase III was only 1.92% (wet weight, chloroform-methanol extraction), however, ovary gathered 61.88% of the total crude fat of the whole body. This phenomenon allocating most energy to propagative organ was possibly one of the main reasons explaining the difficulty for the small fish to go long distance anadromous migration; (4) fat content in muscle and hepatopancreas decreased by 12.5% and 14.35% respectively from phase III to phase VI. The fat content in muscle and hepatopancreas decreased by 7.29% and 3.65% respectively from phase III to phase IV, in comparison with decrease of 4.49% and 8.63% respectively from phase IV to phase V. This result suggested that the nutrition stored in the muscle mainly supplied energy for migration and metabolism during the early period of reproductive activity, while nutrition in hepatopancreas might be a booster for completing the final spawning process.

**Key words:** Osbeck's grenadier anchovy (*Coilia mystus*); Spawning group; Crude lipid transition; Energy allocation; Estuary of Yangtze River

江海洄游鱼类 (diadromous fishes) 在产卵洄游过程中的能量储存、消耗和分配, 一直是鱼类学家关注的重要问题。目前, 已在北极红点鲑 (*Salvelinus alpinus*) (Josrgensen et al. 1997, Jobling et al. 1998)、红大马哈鱼 (*Oncorhynchus nerka*) (Maximenkov et al. 2000, Crossin et al. 2004, Kiessling et al. 2004)、钩吻鲑 (*O. masou*) (Koseki et al. 2002)、马苏大马哈鱼 (*O. keta*) (Mcveigh et al. 2007) 等长距离洄游的种类中, 有许多研究报道。对大西洋鲑 (*Salmo salar*) 的研究表明, 产卵洄游初期的能量储存对亲体随后的性腺发育有重要影响, 能量储存不足可导致性腺不能正常发育。这些能量储存不足的个体即使到了产卵场, 也不能完成产卵活动 (Jonsson et al. 1991, 1997, Arndt 2000, Jonsson et al. 2003, Hendry et al. 2004)。对欧洲鳗 (*Anguilla anguilla*) 和日本鳗 (*A. japonica*) 的研究表明, 肌肉的脂肪积累程度是决定其是否进行生殖洄游的关键因素 (Larsson et al. 1990, Tsukamoto 1992), 而脂肪也是生殖洄游过程中性腺发育、基础代谢以及洄游所需能量的主要来源 (van den Thillart et al. 2004, van Ginneken et al. 2004)。

凤鲚 (*Coilia mystus*) 隶属于鲱形目

(Clupeiformes) 鲱科 (Engraulidea), 是一种分布于亚热带海域的小型鱼类, 具有短距离溯河洄游产卵习性, 繁殖期为 5 月至 8 月 (袁传宓等 1980)。凤鲚在我国沿海均有分布, 并被划分为长江、闽江和珠江 3 个生态型 (袁传宓等 1980, 程启群等 2008)。历史上, 长江口是我国凤鲚的主要产区, 也是目前长江口能形成鱼汛的几种重要经济鱼类之一 (张国祥等 1990)。有关凤鲚的繁殖特征 (袁传宓等 1980, 刘凯等 2004)、摄食习性 (刘守海等 2011, 2012)、生化成分和能量密度 (刘凯等 2009a, b) 等已有许多报道, 但还未对其繁殖过程中体内脂肪含量的变化状况作过研究。本文试图在对不同发育时期的摄食状况以及肝胰腺、肌肉和卵巢脂肪含量测定的基础上, 探讨凤鲚性腺发育过程中不同组织的脂肪含量变化, 以期对长江口凤鲚繁殖群体的健康状况评估提供能量学数据。

## 1 材料与方 法

**1.1 材料** 2013 年 5~9 月, 雇请持有凤鲚捕捞证的上海崇明县渔民, 采用当地常用的凤鲚深水拖网 (网口长 8 m, 网口高 4 m, 网长 15 m, 网孔 1 cm), 在长江口长兴岛青草沙水库的北侧水域 (31°27'N, 121°44'E), 在每月的上旬和下旬以 10 km/h 左右的速度, 每次拖网时间

约为2 h, 随机收集凤鲚样本。样本经冰块包裹后, 带回实验室, 保存于-40℃冰箱。

## 1.2 方法

**1.2.1 性腺发育的分期** 解冻凤鲚样本, 随机抽取雌性个体, 用滤纸吸去体表水分, 测量其体长和体重(精度分别为0.1 cm和0.01 g)。剖开腹腔, 用目测法判断卵巢的发育分期(殷名称1993): III期, 卵巢淡黄色、黄色, 卵粒开始沉积卵黄; IV期, 卵巢占据大部分腹腔, 卵粒大量沉积卵黄, 在卵巢中紧密挤压成多角圆形; V期, 卵粒透明、圆形, 游离在卵巢腔中, 提起头部或轻压腹部, 卵子能自然流出体外; VI期, 卵子排出, 生殖腺重量显著减轻, 生殖腺膜宽松坚韧, 少数个体卵巢中有少量未产卵子; II期, 性腺透明, 较宽大, 扁带状, 肉眼难以鉴定雌雄。

**1.2.2 性体指数( $G_{SI}$ )和肝体指数( $H_{SI}$ )** 性体指数(gonadosomatic index, GSI)是一种描述性腺相对大小的指标, 也可用作衡量性腺发育程度和鱼体能量在性腺和躯体之间分配比例的指标(殷名称1993)。肝体指数(hepatosomatic index, HSI)则用来描述肝胰腺的相对大小。随机取雌性样本, 解剖后用镊子剥离左、右卵巢和肝胰腺, 置于已恒重的离心管中称重(卵巢精度为0.01 g、肝胰腺精度为0.000 1 g), 并称量去内脏体重( $W_b$ , 精度为0.01 g)。性体指数和肝体指数按如下公式计算: 性体指数( $G_{SI}, \%$ ) = 卵巢重/去内脏体重, 肝体指数( $H_{SI}, \%$ ) = 肝胰腺重/去内脏体重。

**1.2.3 食物的充塞度和充塞指数( $K$ )** 食物充塞度(fillness)和充塞指数(fillness index,  $K$ )是衡量鱼类摄食强度的两个指标。凤鲚是有胃鱼类。取出消化道, 用解剖镜观察胃、肠所含食物, 判断胃、肠中食物的充塞情况, 记录摄食等级和消化程度。参照《鱼类生态学》(殷名称1993)的划分方法, 将食物充塞度分为6级。0级: 消化道中没有或仅有极少量食物; 1级: 仅部分消化道中有少量食物, 或食物占消化道的1/4; 2级: 全部消化道有少量食物, 或食物占消化道的1/2; 3级: 食物较多, 充塞度

中等, 食物占消化道的3/4; 4级: 食物多, 充塞全部消化道; 5级: 食物极多, 消化道膨胀。

消化道经10%甲醛固定, 用蒸馏水冲洗其中的食物至已恒重的离心管中, 低速离心(500 r/min)使其沉积在离心管底部。用滤纸吸去表面水分, 电子天平[厂家: 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司, 标准号: JB/T 5374-1991]称量食物重( $W_f$ ) (精度0.000 1 g)。按如下公式计算, 充塞指数( $K, \%$ ) =  $W_f/W_b$ , 式中 $W_f$ 为食物重,  $W_b$ 为去内脏体重。

**1.2.4 粗脂肪含量的测定、计算** 取每尾样本1.0 g左右肌肉、0.5 g左右性腺以及肝胰腺(鲜重), 采用氯仿-甲醇法测定粗脂肪含量(王少梅等1993)。将样品( $m_0$ )放入15 ml的干净离心管中, 加入10 ml氯仿与甲醇比例为2:1的混合液, 摇匀后置于4℃冰箱24 h, 每隔2~3 h摇动片刻。将样品过滤到25 ml锥形瓶( $m_1$ ), 并用0.5 ml氯仿甲醇混合液清洗离心管、玻璃棒和滤纸的残留物, 洗涤2次。向锥形瓶中加入2 ml 4%的 $MgCl_2$ 溶液, 摇匀后静置0.5 h, 弃去上清液。将乳白色的下层悬液置于80℃的真空干燥箱中至恒重( $m_2$ ), 计算粗脂肪含量( $\%$ ) =  $(m_2 - m_1)/m_0$ 。

肝胰腺、卵巢的粗脂肪含量乘以其器官的鲜重, 即可得到不同发育时期肝胰腺、卵巢的粗脂肪量。同时假定, 肌肉的粗脂肪含量为去内脏体重中粗脂肪的平均含量, 两者相乘则可得到躯干粗脂肪量。三者之和, 可近似地看作整个鱼体的粗脂肪总量(Jobling et al. 1998)。

所有数据均用SPSS Statistics 21.0统计并作单因素方差分析。

## 2 结果

**2.1 性腺发育状况** 由于5月下旬以前和9月初没有采集到繁殖群体, 仅随机分析了5月下旬至8月下旬采集的810尾雌性样本。所有样本的体长范围为7.3~20.1 cm, 平均(11.98 ± 1.49) cm; 体重范围为1.72~33.63 g, 平均(7.52 ± 3.29) g。以体长10.0~13.0 cm、体重4.0~10.0 g个体较多, 占总体的比例分别为

77.41% 和 79.51%。

表 1 列出了 810 尾雌性样本的性腺发育状况。可见在长江口凤鲚繁殖群体中, 5 月下旬以 III 期和 IV 期为主, 两者合计占全部样本的 87%; V 期较少, 仅占 13%, 没有发现 VI 期卵巢。6 月上旬以后, III 期和 IV 期的比例逐渐减少, 而 V 期和 VI 期的比例逐渐增多, 8 月上旬分别达 44.27% 和 25.95%。至 8 月下旬, III 期、IV 期和 V 期卵巢消失, 除了少数为 VI 期外, 都恢复到 II 期, 表明此时繁殖期已经结束。

### 2.2 性体指数 ( $G_{SI}$ ) 和肝体指数 ( $H_{SI}$ ) 变化

随机分析了 6 月 (III、IV、V、VI 期) 和 8 月 (II 期) 采集的 5 个发育期共 223 尾雌性样本的性体指数和肝体指数 (表 2)。性体指数从 III 期的  $16.22\% \pm 2.49\%$ , 逐渐增加到 V 期的  $22.90\% \pm 2.87\%$ , III 期、IV 期和 V 期之间的差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 而 VI 期和 II 期的性体指数值均很小。相反, 肝体指数从 III 期的  $1.35\% \pm 0.16\%$ , 逐渐降低至 V 期的  $1.02\% \pm 0.19\%$ , VI 期达到最小值, II 期又有所恢复。III 期、IV

表 1 长江口凤鲚繁殖群体雌性个体的性腺发育状况

Table 1 Gonad development of female spawning *Coilia mystus* in the estuary of Yangtze River

采样时间 Collection time	样本数 Samples (ind)	体长 Body length (cm)		体重 Body weight (g)		卵巢发育期所占比例 Oogenesis stage in total samples (%)				
		范围 Range	平均值 ± 标准差 Mean ± SD	范围 Range	平均值 ± 标准差 Mean ± SD	III	IV	V	VI	II
5 月下旬 Late May	138	9.0~20.1	12.86 ± 2.34	3.06~33.63	9.94 ± 5.86	31.36	55.80	13.04	0.00	0.00
6 月上旬 Early June	117	9.2~14.5	11.11 ± 1.06	3.62~14.14	6.34 ± 1.98	32.48	46.15	16.24	5.13	0.00
6 月下旬 Late June	112	9.7~13.4	11.72 ± 0.81	3.32~9.93	6.71 ± 1.57	32.14	36.61	24.11	7.14	0.00
7 月上旬 Early July	102	10.0~14.8	12.40 ± 0.80	3.87~12.10	7.89 ± 1.64	28.43	31.37	28.43	11.76	0.00
7 月下旬 Late July	142	10.2~13.7	12.10 ± 0.85	3.17~12.60	7.96 ± 1.83	21.83	27.46	26.76	23.94	0.00
8 月上旬 Early August	131	9.7~14.3	11.79 ± 0.90	2.47~12.36	6.72 ± 2.22	5.34	20.61	44.27	25.95	3.82
8 月下旬 Late August	68	7.3~16.1	11.68 ± 2.25	1.72~15.97	5.99 ± 3.08	0.00	0.00	0.00	10.29	89.71

表 2 不同发育期的性体指数  $G_{SI}$  和肝体指数  $H_{SI}$

Table 2  $G_{SI}$  and  $H_{SI}$  of female spawning *Coilia mystus* at different oogenesis stages

卵巢发育期 Oogenesis stage	样本数 Samples (ind)	性体指数 Gonadosomatic index $G_{SI}$ (%)		肝体指数 Hepatosomatic index $H_{SI}$ (%)	
		范围 Range	平均值 ± 标准差 Mean ± SD	范围 Range	平均值 ± 标准差 Mean ± SD
III	43	10.42~21.25	16.22 ± 2.49	1.02~1.55	1.35 ± 0.16
IV	77	12.99~26.55	20.86 ± 2.47	0.84~1.46	1.23 ± 0.19
V	43	17.50~30.66	22.90 ± 2.87	0.49~1.33	1.02 ± 0.19
VI	30	1.01~2.70	1.72 ± 0.45	0.74~1.10	0.94 ± 0.12
II	30	0.33~0.94	0.65 ± 0.14	0.76~1.14	1.04 ± 0.10

期和 V 期之间, 肝体指数差异极显著 ( $P < 0.01$ ); V 期与 VI 期、VI 期与 II 期之间, 肝体指数的差异也显著 ( $P < 0.05$ )。

**2.3 食物充塞度和充塞指数 (K) 变化** 观察显示, III ~ VI 期的雌性样本肠管收缩变细、呈透明状, 整个消化道内很少发现有完整的食物遗骸, 仅在少数个体的胃壁、肠壁发现有极少量的食物残渣或碎屑。表 3 列出了 6 月 (III、IV、V、VI 期) 和 8 月 (II 期) 采集的 5 个发育时期共 185 尾雌性样本的食物充塞度和充塞指数 K。V 期和 VI 期个体的充塞度都为 0 级, 仅有部分 III 期和 IV 期个体处于 1 级; 只有部分 II 期个体的胃内食物稍多, 食物充塞度多为 1 级和 2 级。所有繁殖群体的充塞指数 K 都很低, 其中 III ~ VI 期的充塞指数均值在 2‰ ~ 3‰ 之间, II 期为  $5.94‰ \pm 2.12‰$ 。单因素方差分析显示, II 期与 III、IV、V、VI 期之间的充塞指数差异均极显著 ( $P < 0.01$ )。

#### 2.4 肌肉、肝胰腺、卵巢的粗脂肪含量变化

测定了 5 个发育期共 150 尾样本的肌肉、肝胰腺和卵巢组织 (鲜重) 的粗脂肪含量 (表 4)。单因素方差分析表明, 自 III 期至 V 期, 肌肉和肝胰腺的粗脂肪含量极显著地降低 ( $P < 0.01$ ), 而卵巢粗脂肪含量则极显著地升高 ( $P < 0.01$ )。从 VI 期至 II 期, 肌肉和肝胰腺的粗脂肪含量略有回升, 但前者差异并不显著 ( $P >$

0.05), 后者则差异显著 ( $P < 0.05$ )。

从粗脂肪含量的变动速率看, 自 III 期至 IV 期, 肌肉的粗脂肪含量下降了 7.29%, 而肝胰腺仅下降了 3.65%。但从 IV 期至 V 期的发育过程中, 肌肉的粗脂肪含量仅下降了 4.49%, 而肝胰腺下降则达 8.63%。卵巢的粗脂肪含量自 III 期至 IV 期升高了 1.65%, IV 期至 V 期仅升高了 0.67%。由此可见, 卵巢发育所需的能量, 在 III 期 ~ IV 期的发育早期过程中主要由肌肉提供, 肝胰腺则在性腺成熟的晚期, 贡献出了更多的能量 (表 4)。

总体来讲, 自性腺发育初期的 III 期至产卵完毕的 VI 期, 肌肉的粗脂肪含量共下降了 12.5%, 而肝胰腺的粗脂肪含量下降达 14.35% (表 4)。从体内粗脂肪总量的分布来看, III ~ V 期主要集中在卵巢, 占总脂肪量的 61.88% ~ 72.31%, 躯干占 25.99% ~ 35.19%, 肝胰腺仅占 1.69% ~ 2.93% (表 5)。

### 3 讨论

**3.1 凤鲚生殖洄游期间的摄食状况** 已有的研究表明, 具有长距离江海洄游习性的大型鱼类在生殖洄游期间一般并不摄食, 如红点鲑属 (*Salvelinus*) (Josrgensen et al. 1997, Jobling et al. 1998)、大马哈鱼属 (*Oncorhynchus*) (Maximenkov et al. 2000, Crossin et al. 2004,

表 3 不同发育期食物充塞度和充塞指数 K

Table 3 Fillness and fillness index (K) of female spawning *Coilia mystus* at different oogenesis stages

卵巢发育期 Oogenesis stage	样本数 Samples (ind)	充塞度 Fillness						充塞指数(‰) Fillness index K	
		0 级 Class 0		1 级 Class 1		2 级 Class 2		范围 Range	平均值±标准差 Mean ± SD
		个体数 (尾) Number (ind)	比例(%) Percentage	个体数 (尾) Number (ind)	比例(%) Percentage	个体数 (尾) Number (ind)	比例(%) Percentage		
III	43	33	77	10	23	0	0	0.79~6.73	2.94 ± 1.84
IV	39	30	90	9	10	0	0	0.78~6.67	2.72 ± 1.45
V	43	43	100	0	0	0	0	0.81~3.46	2.01 ± 0.62
VI	30	30	100	0	0	0	0	0.84~3.28	2.05 ± 0.63
II	30	2	7	19	63	9	30	1.64~11.81	5.94 ± 2.12

表 4 不同组织内粗脂肪含量及其变动

Table 4 Crude fat content ( wet weight ) and fluctuation ratio in different tissues of female spawning *Coilia mystus* at different oogenesis stages

卵巢发育期 Oogenesis stage	样本数 Samples (ind)	肌肉粗脂肪 Crude fat in muscle		肝胰腺粗脂肪 Crude fat in hepatopancreas		卵巢粗脂肪 Crude fat in ovary	
		含量 (%) Content	含量变动比 Fluctuate ratio (%)	含量 (%) Content	含量变动比 Fluctuate ratio (%)	含量 (%) Content	含量变动比 Fluctuate ratio (%)
III	30	1.92 ± 0.05	—	11.78 ± 0.09	—	20.55 ± 0.08	—
IV	30	1.78 ± 0.06	-7.29	11.35 ± 0.17	-3.65	20.89 ± 0.06	+1.65
V	30	1.70 ± 0.04	-4.49	10.37 ± 0.06	-8.63	21.03 ± 0.08	+0.67
VI	30	1.68 ± 0.04	-1.18	10.09 ± 0.07	-2.70	—	—
II	30	1.71 ± 0.04	-1.79	10.15 ± 0.10	-0.59	—	—

“含量变动比”即某一组织后一发育期与前一发育期脂肪含量之差与前一发育期脂肪含量的比值。“—”表示在卵巢的某一发育时期时，某一组织的粗脂肪含量无法测定、粗脂肪含量变动比无法计算。

Fluctuate ratio of crude fat content, means the deviation of crude fat content in one tissue from the previous phase to the latter phase divides crude fat content of the previous phase. Horizontal line means in one oogenesis stage, content of crude fat in one tissue can't be determined or its fluctuate ratio can't be calculated.

表 5 不同发育期体内粗脂肪量的分布及其占总粗脂肪量的比例

Table 5 Crude fat distribution in different tissues and its proportion in total body crude fat at different oogenesis stages

卵巢发育期 Oogenesis stages	样本数 Samples (ind)	体重(g) Body weight	躯干粗脂肪 Crude fat in trunk		肝胰腺粗脂肪 Crude fat in hepatopancreas		卵巢粗脂肪 Crude fat in ovary	
			重量(g) Weight	比例(%) Proportion	重量(g) Weight	比例(%) Proportion	重量(g) Weight	比例(%) Proportion
III	30	7.26 ± 1.16	0.12 ± 0.02	35.19 ± 3.85	0.01 ± 0.00	2.93 ± 0.38	0.21 ± 0.05	61.88 ± 4.08
IV	30	8.71 ± 1.33	0.13 ± 0.02	28.69 ± 1.31	0.01 ± 0.00	2.28 ± 0.39	0.30 ± 0.04	69.03 ± 1.48
V	30	8.21 ± 1.10	0.11 ± 0.02	25.99 ± 1.88	0.01 ± 0.00	1.69 ± 0.29	0.30 ± 0.04	72.31 ± 2.03
VI	30	6.96 ± 0.80	0.11 ± 0.01		0.01 ± 0.00			

“粗脂肪比例”即某一组织粗脂肪量占鱼体粗脂肪总量的比例。

Crude fat proportion means the percentage that crude fat in one tissue accounts for crude fat in total body.

Kiessling et al. 2004) 和鳟属 (*Salmo*) (Jonsson et al. 1991, 1997, 2003, Hendry et al. 2004)。本研究 and 文献记录 (张国祥等 1990) 均表明, 凤鲚繁殖群体自 5 月中下旬到达长江口, 6 月上旬以后在长江河口段或近口段开始产卵, 至 8 月下旬繁殖期结束。从充塞度和充塞指数看, 凤鲚在进入淡水后的繁殖阶段 (III ~ VI 期) 并不摄食, 这一结果与袁传宓等 (1980)、倪勇等 (1999)、仲伟等 (2009) 和刘守海等 (2012) 的研究结果基本相同。但本研究结果也表明, 性腺处于 II 期的许多雌性个体, 其胃内食物增多

且肠管变粗, 即产卵不久就开始摄食。因此, 凤鲚虽为溯河洄游鱼类, 但其一生中可能具有多次产卵的能力, 并不像大马哈鱼属鱼类和香鱼 (*Plecoglossus altivelis*) 等在淡水中首次产卵后即死亡的 1 次性产卵鱼类。

### 3.2 凤鲚生殖洄游期间脂肪的积累和转移

脂肪是鱼体储存能量的重要载体, 主要分布在肌肉、内脏、骨髓、血液等组织和器官, 在洄游鱼类繁殖过程中起着关键的作用 (Jonsson et al. 2003)。由于江海洄游型鱼类在生殖洄游过程中一般并不摄食, 依靠体内积累的营养物

质完成溯河洄游的运动、代谢和生殖等过程,因此在生殖洄游开始前需要积累大量的脂肪。长距离降海洄游产卵的欧洲鳗,只有在肌肉脂肪含量达到 28% (干重)左右时才能开始生殖洄游(Larsson et al. 1990)。长距离溯河产卵洄游的大鳞大马哈鱼(*O. tshawytscha*),其肌肉的粗脂肪含量也要达到 7.5% (鲜重)左右时才开始生殖洄游(Mann et al. 2011)。肌肉的脂肪含量被认为是许多鱼类开始生殖洄游的主要诱导因子(inducing factor)之一(Larsson et al. 1990)。

凤鲚虽然也是一种溯河繁殖的洄游鱼类,但本研究表明,其性腺发育初期(Ⅲ期)的肌肉粗脂肪含量仅 1.92% (鲜重),而卵巢却占了粗脂肪总量的 61.88%。而同在长江中下游作溯河繁殖但个体较大的近缘种刀鲚(*C. nasus*),即使在卵巢发育的晚期(V期),其肌肉的脂肪含量还高达 6.78% (鲜重)(刘凯等 2009a)。由此可见,凤鲚在生殖洄游期间将有限的能量集中在了繁殖器官,这可能是这类小型鱼类难于作长距离江海生殖洄游的原因之一。

本研究显示,凤鲚在溯河产卵的过程中,卵巢逐渐膨大,性体指数  $G_{SI}$  由Ⅲ期的 16.22%,逐渐增加到V期的 22.90%;脂肪也同时聚集于卵巢,含量由占身体总脂肪量的 61.88%,逐渐升高到 72.31%。相反,身体其他部位的脂肪含量却在逐渐下降,躯干脂肪量由占身体总脂肪量的 35.19% 下降到 25.99%。肝胰腺不仅体积减小,肝体指数  $H_{SI}$  由Ⅲ期的 1.35% 降低至V期的 1.02%;脂肪量也由占身体总脂肪量的 2.93% 逐渐下降到 1.69%。但这种下降的过程是不同的,在卵巢发育的早期,躯干部脂肪量下降较快,而到了卵巢发育的晚期,则肝胰腺脂肪量下降更快。这种现象表明,肌肉储存的能量可能主要供给了生殖洄游运动、体内代谢和早期的性腺发育,而肝胰腺储存的营养则可能是完成最后产卵过程的重要供能器。因此,在评价和挑选洄游鱼类的亲本时,不仅要考虑肌肉的脂肪含量,肝胰腺等

也是重要的检测指标。

## 参 考 文 献

- Arndt B K A. 2000. Influence of sexual maturity on feeding, growth and energy stores of wild Atlantic Salmon parr. *Journal of Fish Biology*, 57(3): 589–596.
- Crossin G T, Hlinch S G, Farrel L A P, et al. 2004. Somatic energy of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* at the onset of upriver migration: a comparison among ocean climate regimes. *Fisheries Oceanography*, 13(5): 345–349.
- Hendry A P, Beall E. 2004. Energy use in spawning Atlantic salmon. *Ecology of Freshwater Fish*, 13(3): 185–196.
- Jobling M, Johansen S J S, Foshaug H, et al. 1998. Lipid dynamics in anadromous Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.): seasonal variations in lipid storage depots and lipid class composition. *Fish Physiology and Biochemistry*, 18(3): 225–240.
- Jonsson N B, Jonsson B, Hansen L P. 1991. Energetic cost of spawning in male and female Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Journal of Fish Biology*, 39(4): 739–744.
- Jonsson N B, Jonsson B, Hansen L P. 1997. Changes in proximate composition and estimates of energetic costs during upstream migration and spawning in Atlantic salmon. *Journal of Animal Ecology*, 66(3): 425–436.
- Jonsson N, Jonsson B. 2003. Energy allocation among developmental stages, age groups, and types of Atlantic salmon (*Salmo salar*) spawners. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 60(5): 506–516.
- Josrgensen E H, Johansen S J S, Jobling M. 1997. Seasonal patterns of growth, lipid deposition and lipid depletion in anadromous Arctic charr. *Journal of Fish Biology*, 51(2): 312–326.
- Kiessling A, Lindahl-Kiessling K, Kiessling K H. 2004. Energy utilization and metabolism in spawning migrating Early Stuart sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*): the migratory paradox. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61(3): 452–465.
- Koseki Y, Maekawa K. 2002. Differential energy allocation of alternative male tactics in masu salmon (*Oncorhynchus masou*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59(11): 1717–1723.
- Larsson P, Hamrin S, Okla L. 1990. Fat content as a factor inducing migratory behavior in the eel (*Anguilla anguilla*) to the Sargasso Sea. *Naturwissenschaften*, 77(10): 488–490.
- Mann R D, Caudill C C, Keefer M L, et al. 2011. Migration behavior and spawning success of spring Chinook salmon in fall creek and the north fork middle fork Willamette River;

- relationships among fate, fish condition, and environmental factors, 2010 // Idaho Cooperative Fish and Wildlife Research Unit. Technical Report 2011-8-Draft. Moscow: University of Idaho, 1 - 85.
- Maximenkov N N, Tokranov A M. 2000. Energy expenditures of the sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* spawners during spawning period. *Voprosy Ikhhtiologii*, 40(1): 43 - 49.
- Meveigh B R, Healey M C, Wolfe F. 2007. Energy expenditures during spawning by chum salmon *Oncorhynchus keta* (Walbaum) in British Columbia. *Journal of Fish Biology*, 71(6): 1696 - 1713.
- Tsukamoto K. 1992. Discovery of the spawning area for Japanese eel. *Nature*, 356(6372): 789 - 791.
- van den Thillart G, van Ginneken V, Körner F, et al. 2004. Endurance swimming of European eel. *Journal of Fish Biology*, 65(2): 312 - 318.
- van Ginneken V J T, van den Thillart G E E J M. 2000. Physiology: Eel fat stores are enough to reach the Sargasso. *Nature*, 403(6766): 156 - 157.
- 程启群, 马春艳, 庄平, 等. 2008. 基于线粒体 *Cyt b* 基因标记探讨凤鲚 3 种群遗传结构和变化特征. *水产学报*, 32(1): 1 - 7.
- 刘凯, 张敏莹, 徐东坡, 等. 2004. 长江口凤鲚资源变动及最大持续产量研究. *上海水产大学学报*, 13(4): 298 - 303.
- 刘凯, 段金荣, 徐东坡, 等. 2009a. 长江下游产卵期凤鲚、刀鲚和湖鲚肌肉生化成分及能量密度. *动物学杂志*, 44(4): 118 - 124.
- 刘凯, 徐东坡, 段金荣, 等. 2009b. 长江口凤鲚产卵群体肌肉及卵巢生化组成和能量密度. *上海海洋大学学报*, 18(3): 302 - 307.
- 刘守海, 徐兆礼. 2011. 长江口和杭州湾凤鲚胃含物与海洋浮游动物的种类组成比较. *生态学报*, 31(8): 2263 - 2271.
- 刘守海, 徐兆礼, 田丰歌. 2012. 长江口及附近水域凤鲚摄食习性的分析. *上海海洋大学学报*, 21(4): 589 - 597.
- 倪勇, 王云龙, 蒋玫, 等. 1999. 长江口凤鲚的渔业生物学特性. *中国水产科学*, 6(5): 69 - 71.
- 王少梅, 陈少莲, 崔奕波. 1993. 用氯仿-甲醇抽提法测定鱼体脂肪含量的研究. *水生生物学学报*, 17(2): 193 - 196.
- 殷名称. 1993. 鱼类生态学. 北京: 中国农业出版社, 64 - 269.
- 袁传宓, 秦安龄, 刘仁华, 等. 1980. 关于长江中下游及东南沿海各省的鲚属鱼类种下分类的探讨. *南京大学学报*, 3(3): 67 - 82.
- 张国祥, 华家栋. 1990. 长江口凤鲚资源的变动及其最大持续产量的估算. *水产科技情报*, 17(5): 130 - 134.
- 仲伟, 邵鑫斌, 胡利华, 等. 2009. 凤鲚瓯江种群的生物学特性. *温州大学学报: 自然科学版*, 30(4): 14 - 18.