

文章编号: 1000-0615(2017)02-0212-09

DOI: 10.11964/jfc.20160310330

从体内脂肪的转移过程探讨凤鲚和刀鲚溯河产卵 洄游距离的差异性

吴利红^{1,2}, 唐文乔^{1,2*}, 张亚^{1,2}

(1. 上海海洋大学鱼类研究室, 上海 201306;

2. 海洋动物系统分类与进化上海高校重点实验室, 上海 201306)

摘要: 为探讨凤鲚和刀鲚溯河产卵洄游距离差异的可能原因, 本研究从雌性繁殖群体体内脂肪储备和转移的角度, 对这两个近缘种进行了分析。对凤鲚的研究结果显示, 到达产卵场的个体中, 5月份个体的体长、体质量和肌肉脂肪含量均显著大于6、7、8月份的个体, 表明个体大、肌肉脂肪积累多的个体较早地完成了生殖洄游过程。与同一发育时期的刀鲚相比, 凤鲚的平均肝体指数相对较大, III、IV期卵巢指数GSI高出约5倍。表明在繁殖季节, 凤鲚体内更多的能量集中到卵巢及更容易被转移的器官。脂肪含量分析显示, 凤鲚的肌肉和肝脏脂肪含量分别约是刀鲚相同发育阶段脂肪含量的1/3和1/2, 但卵巢脂肪含量则相反。表明凤鲚将更多的脂肪积聚在繁殖器官中, 而刀鲚则主要积聚在运动器官中。从躯干脂肪总量的变化分析, 刀鲚躯干脂肪总量从II期的97.73%下降至IV期的91.02%, 凤鲚则从II期的91.02%迅速下降至V期的34.69%。二者的肝胰脏脂肪含量较稳定, 但凤鲚的卵巢脂肪含量要明显地高于刀鲚。研究表明, 这种将体内大部分脂肪用于性腺发育, 躯干脂肪又很快耗尽的现象, 可能是小型短距离溯河产卵洄游鱼类的共有特征。

关键词: 凤鲚; 刀鲚; 溯河洄游; 习性差异; 性腺发育; 脂肪含量与分配; 长江

中图分类号: Q 178.1; S 931.1

文献标志码: A

凤鲚(*Coilia mystus*)和刀鲚(*C. nasus*)隶属于鲱形目(Clupeiformes)、鲱科(Engraulidae), 是长江口重要的经济鱼类。分布于长江的刀鲚分洄游型和定居型, 洄游型刀鲚与凤鲚都具有在近海索饵与越冬, 春季成鱼溯河洄游至淡水产卵的习性, 并因此形成渔汛^[1-2]。凤鲚和刀鲚虽有溯河产卵的洄游习性, 但凤鲚的产卵场仅在长江口门内侧的崇明岛水域, 是短距离溯河产卵洄游性鱼类; 刀鲚则一般需要上溯到离长江口门600 km以上的安徽及江西江段产卵^[3-4], 最远甚至可上溯至洞庭湖一带^[2], 是中长距离的溯河产卵洄游性鱼类。与许多溯河产卵的其他洄游性鱼类一样, 凤鲚和刀鲚在产卵洄游过程中并不摄食^[1, 5], 而完成产卵洄游则需要较高的能量投入。凤鲚是

小型鱼类, 最大体长一般不足20 cm; 刀鲚的体型相对较大, 体长可达40 cm以上; 体型的大小与溯河产卵洄游距离的远近具有显著的相关性^[1, 3]。

前期的能量储存对生殖洄游过程中不摄食的溯河产卵鱼类的成功繁殖非常重要^[6]。脂肪作为体内重要的能量储备, 可提供大量的运动、代谢能量和性腺发育的结构成分。如果成鱼体内脂肪储备不足, 有可能由于无法到达产卵场而导致繁殖失败^[7-8]。因此, 脂肪在洄游鱼类繁殖过程中的作用已经受到许多学者的重视^[7-9], 特别是对鲑科(Salmonoid)鱼类在溯河产卵洄游过程中的脂肪储存和分配等有较多的研究^[10-13]。

刀鲚和凤鲚的亲缘关系和生态习性接近, 除了体型的大小可在一定程度上预示溯河产卵

收稿日期: 2016-03-29 修回日期: 2016-06-27

资助项目: 国家自然科学基金(31472280); 上海市青草沙水库邻近水域生态修复专项(D8006120082)

通信作者: 唐文乔, E-mail: wqtang@shou.edu.cn

洄游距离的远近,是否还与体内脂肪的储备和利用过程有关值得深入研究。目前虽然有许多有关刀鲚和凤鲚肌肉营养成分的研究报道^[14-16],但涉及营养成分与产卵习性差异的问题研究甚少^[17]。本研究旨在通过这两个近缘种在卵巢发育过程中的体内脂肪储备与分配过程的比较,从能量储备与转移的角度探讨其生殖洄游距离出现差异的原因。

1 材料与方法

1.1 样本采集

凤鲚样本采自上海崇明岛南侧的长江口门水域(31°27'N, 121°41'E)(图1, 采样点1), 2015年5—8月逐月用深水张网(网口长10 m、高3 m, 网长18 m)捕捞。每月随机留存约10 kg渔获物, 经冰鲜保存后带回实验室, 随机分袋包装, 保存于-40 °C冰箱待用。



图1 凤鲚和刀鲚的采样地点

Fig. 1 Sampling sites of *C. mystus* and *C. nasus*

刀鲚样本采自距长江口门240 km左右的江苏靖江江段(31°58'N, 120°11'E)(图1, 采样点2), 跟随两艘持有刀鲚捕捞证的渔船, 采用流刺网在2014年5月初采集。将所有样本打上标签, 冰鲜保存后带回实验室, 保存于-40 °C冰箱待用。

1.2 实验方法

凤鲚样本的处理 样本解冻后, 每月随机选择100尾新鲜、完整的雌性样本, 测量并记录体长(body length, BL)(精确到0.01 cm)、体质量(body weight, BW)、去内脏重(trunk weight, TW)(精确到0.01 g), 采用性腺外表形态特征的目测法, 判断性腺发育分期^[18-19], 计算性体指数

[gonadosomatic index, GSI(%)=性腺重/去内脏重×100]和肝体指数[hepatosomatic index, HSI(%)=肝脏重/去内脏重×100]。依据219尾凤鲚矢耳石磨片所建立的矢耳石重与年龄的关系式鉴定年龄^[20]。

刀鲚样本的处理 由于采集到的样本数量较少, 经解剖仅发现雌性样本46尾。其中Ⅱ、Ⅲ期样本各20尾, Ⅳ期个体仅6尾, 故对此46尾刀鲚样本进行分析。同样测量并记录体长、体质量, 判断性腺发育分期, 计算性体指数和肝体指数。采用本实验室前期建立的矢耳石重与年龄的关系式鉴定年龄:

$$W_0 = -0.7027 + 4.6002A$$

式中, $[W_0$ 为矢耳石重(mg), A 为年龄]^[21]。

脂肪含量的测定 取性腺、肝脏和体侧背部肌肉, 均质后测定水分含量和脂肪含量。称取2 g样品, 采用真空冷冻干燥(-105 °C, 真空度<12 Pa, 24 h)法测定水分含量, 恒重后称重。干燥后的组织样采用氯仿—甲醇($V:V=2:1$)法测定干重脂肪含量(%)^[17, 22], 之后换算成鲜重脂肪含量:

$$LC_{FW} = LC_{DW} \times (1 - M_{ois})$$

式中, LC_{FW} 为鲜重脂肪含量, LC_{DW} 为干重脂肪含量, M_{ois} 为水分含量。

器官间脂肪分配的计算 以肌肉的脂肪含量近似地替代整个躯壳(躯干)的平均脂肪含量^[13]。躯干、卵巢和肝脏的脂肪总量(g)分别为肌肉、卵巢和肝脏的脂肪含量(%)乘以去内脏体质量、卵巢和肝脏重量(g)计算获得。

1.3 数据处理

所有数据均用Excel 2010和SPSS 17.0处理, 所有方差计算均为单因素方差分析(One-Way ANOVA)。

2 结果

2.1 繁殖群体的年龄组成

所分析的400尾凤鲚体长为4.59~16.71 cm, 平均(11.61±1.33) cm, 分布频率最高的体长组为8~12 cm。体质量范围2.07~18.99 g, 平均(6.61±2.65) g, 分布频率最高的体质量组为5~6 g。46尾刀鲚的体长范围18.01~29.51 cm, 平均(24.57±2.71) cm, 分布频率最高的体长组23~24 cm。体质量范围23.91~101.48 g, 平均(60.10±21.18) g, 分布频率最高的体质量组为55~65 g(图2)。

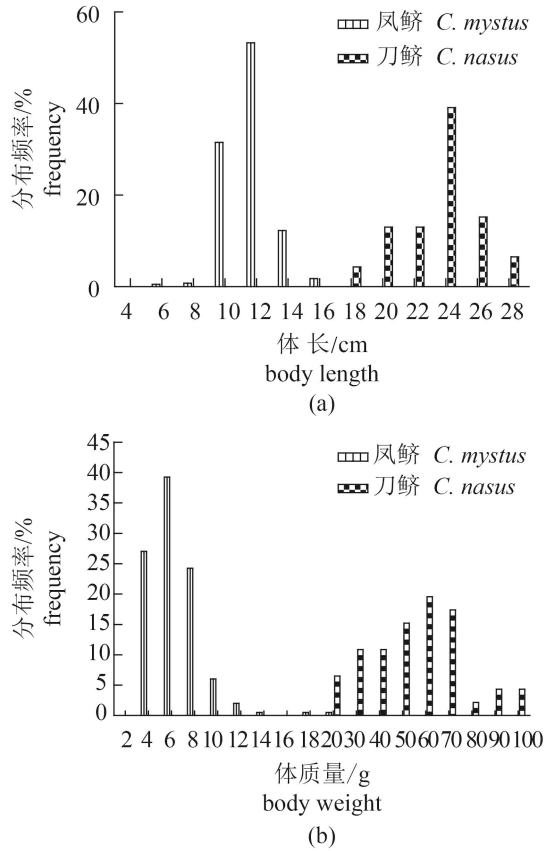


图2 凤鲚和刀鲚的体长(a)和体质量(b)分布
 Fig. 2 The frequency of body length (a) and body weight (b) in *C. mystus* and *C. nasus*

从400尾凤鲚样本中成功磨制219尾矢耳石样本，据轮纹鉴定，包括1~5龄5个年龄组。其中，1龄18尾，2龄117尾，3龄72尾，4龄11尾，5龄1尾。可见，2龄组和3龄组是优势群体，二者合计占整个繁殖群体的86.3%。46尾刀鲚包括

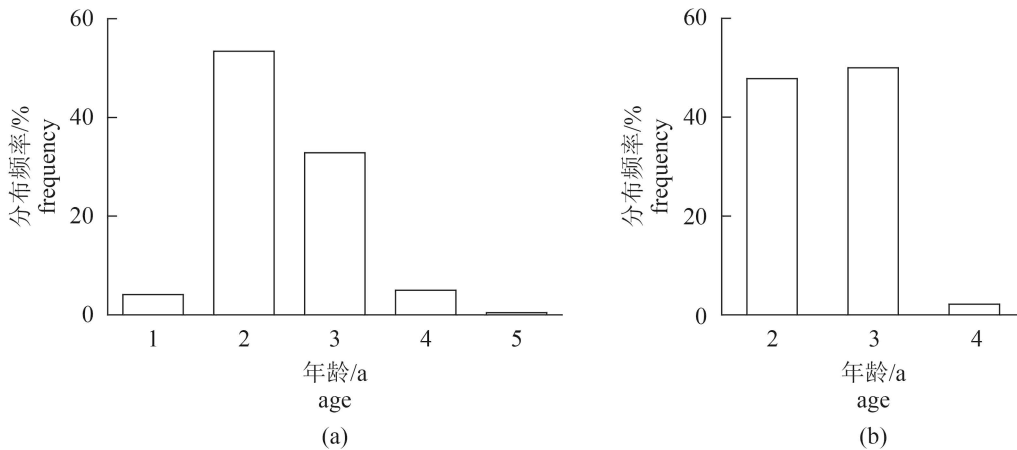


图3 凤鲚(a)和刀鲚(b)的年龄组成及频数

Fig. 3 Age composition and frequency of all age groups of *C. mystus* (a) and *C. nasus* (b)

2~4龄3个年龄组，其中2龄22尾，3龄23尾，4龄仅1尾(图3)。

2.2 肌肉脂肪含量的时间变化

由于刀鲚样本较少，因而只分析凤鲚肌肉脂肪含量的变化。对性腺发育至IV期和V期的凤鲚雌性成熟个体的分析发现，5月份样本体长、体质量均极显著大于6月份($P < 0.01$)，6、7、8月份之间样本体长差异不显著($P > 0.05$)，但体质量差异均显著($P < 0.05$)。可见，到达长江口产卵场的凤鲚繁殖群体，体型较大的个体要早于体型较小的个体(图4)。

对不同性腺发育时期样本的肌肉脂肪含量进行分析，相同月份每个发育时期各分析10尾样本。结果显示，III、IV、V期的肌肉脂肪含量在5月份、6月份均基本相同($P > 0.05$)，7月份样本3个性腺发育时期之间差异显著($P < 0.05$)，表现为III期>V期>IV期，8月份为V期极显著高于IV期($P < 0.01$)，后者又显著高于III期($P < 0.05$)。

对同一性腺发育时期样本的肌肉脂肪含量分析发现，V期、IV期和III期样本在5、6、7月份之间均显著递减($P < 0.05$)，而V期、IV期样本8月份极显著上升($P < 0.01$)，III期样本则8月份与7月份之间无显著性差异($P > 0.05$)(图5)。

2.3 性腺发育过程中的卵巢指数、肝体指数变化

卵巢指数(GSI)可用来描述性腺的相对大小及能量的储存状况，肝体指数(HSI)可用来描述肝胰腺的相对大小。凤鲚在从II期发育到V期

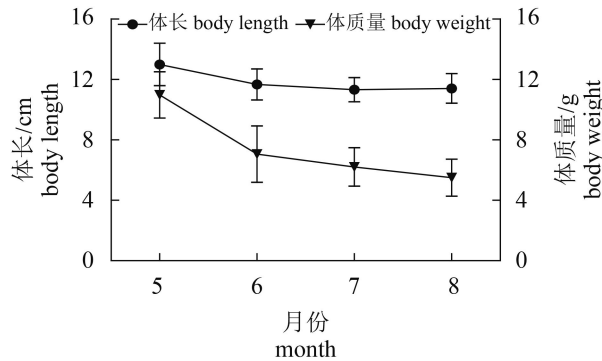


图4 凤鲚成熟个体(IV、V期)体长、体质量

Fig. 4 BL and BW of mature individuals (IV and V) of *C. mystus*

的过程中, 平均GSI值均快速增加, 特别是Ⅲ期和Ⅳ期之间迅速增加; 而到Ⅵ期又急速降低, 基本恢复到Ⅱ期水平。但凤鲚的平均HSI值变化较小, Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ期之间基本相同, 仅稍大于Ⅱ期和Ⅵ期(表1)。凤鲚GSI平均值的标准差很大, 离散程度很高, 变异系数平均为65.3%, 最大的Ⅱ期达98.7%, 最小的Ⅴ期也有38.6%。这表明即使处于同一个发育时期, 不同个体之间的GSI值也有很大的差异。

刀鲚的平均GSI值从Ⅱ期到Ⅲ期稍有增加, 但Ⅲ期、Ⅳ期之间的增加很明显。与凤鲚相比, 刀鲚的平均GSI值在总体上很小。同一发育时期, 刀鲚的平均GSI值明显小于凤鲚, 特别是处于主要繁殖时期的Ⅲ期和Ⅳ期。但刀鲚GSI平均值的标准差较小, Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ期的变异系数分别仅为30.0%、29.7%和23.0%。表明同一个发育

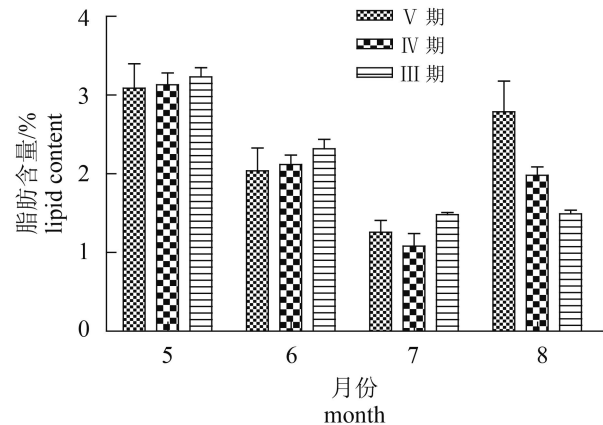


图5 凤鲚Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ期个体肌肉脂肪含量

Fig. 5 Lipid content in muscle of *C. mystus* individuals in phase III, IV and V

时期的不同刀鲚个体之间GSI值差异较小。刀鲚的平均HSI值变化也较小, Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ期之间基本相同, 接近于凤鲚的Ⅱ期和Ⅵ期, 但明显小于凤鲚的Ⅲ期和Ⅳ期。

2.4 性腺发育过程中体内脂肪含量的变化

对120尾凤鲚、46尾刀鲚肌肉、肝脏、卵巢样本脂肪含量进行测定, 发现各个发育阶段凤鲚的肌肉平均脂肪含量均较低, 从Ⅱ期发育到Ⅲ期增加了12.5%, 但Ⅳ期和Ⅴ期有所下降(表2)。肝脏脂肪的平均含量相对较高, 从Ⅱ期发育到Ⅴ期的变化趋势与肌肉类似, 但变化幅度较大。卵巢的平均脂肪含量很高, 其在性腺发育过程中的变化趋势与肌肉和肝脏的完全相反, 变化幅度也更大。肌肉和肝脏的平均脂肪含量均以

表1 凤鲚和刀鲚不同发育时期的卵巢指数及肝体指数

Tab. 1 GSI and HSI of *C. mystus* and *C. nasus* at different oogenesis stages

种类 species	发育时期 ovarian development stage	样本数/尾 samples	卵巢指数/% GSI		肝体指数/% HSI	
			范围 range	平均值±标准差 mean±SD	范围 range	平均值±标准差 mean±SD
凤鲚 <i>C. mystus</i>	Ⅱ	30	0.18~4.17	0.75±0.74	0.1~2.26	0.95±0.24
	Ⅲ	30	0.29~10.05	3.06±2.04	0.11~2.89	1.48±0.44
	Ⅳ	30	1.77~25.18	14.15±7.50	0.11~3.17	1.57±0.78
	Ⅴ	30	5.40~39.59	17.96±6.93	0.19~3.01	1.42±0.69
	Ⅵ	30	0.16~3.34	1.24±0.85	0.09~2.57	0.87±0.54
刀鲚 <i>C. nasus</i>	Ⅱ	20	0.21~0.41	0.30±0.09	0.53~1.24	0.84±0.30
	Ⅲ	20	0.37~0.96	0.64±0.19	0.75~1.23	0.90±0.17
	Ⅳ	6	2.25~3.13	2.69±0.62	0.86~1.10	0.98±0.16

表 2 凤鲚和刀鲚不同组织的脂肪含量及变化情况

Tab. 2 Lipid content and fluctuation in different tissues of *C. mystus* and *C. nasus*

种类 species	卵巢发育期 ovarian development stage	样本数/尾 samples	卵巢脂肪/% lipid content in ovary		肝脏脂肪/% lipid content in liver		肌肉脂肪/% lipid content in muscle	
			含量 content	含量变动比 fluctuation ratio	含量 content	含量变动比 fluctuation ratio	含量 content	含量变动比 fluctuation ratio
			凤鲚 <i>C. mystus</i>	II	30	28.43±7.15	—	9.66±2.45
	III	30	18.43±3.27	-35.17	10.62±0.36	+9.94	3.78±0.83	+12.5
	IV	30	28.70±0.73	+55.72	9.33±0.59	-12.15	3.52±0.43	-6.88
	V	30	33.68±2.08	+17.35	7.98±0.60	-22.75	3.23±0.61	-8.24
刀鲚 <i>C. nasus</i>	II	20	20.68±4.24	—	19.09±6.44	—	10.59±1.99	—
	III	20	14.10±4.51	-31.82	19.96±4.66	+4.56	11.30±4.18	+6.70
	IV	6	26.99±3.06	+91.42	15.62±3.59	-21.74	9.13±1.02	-19.20

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

Notes: fluctuation ratio of lipid content, means the deviation of lipid content in one tissue between the previous phase and the next phase divides the lipid content of the previous phase. Horizontal line means that lipid content in one phase of one tissue can't be determined and fluctuation ratio can't be calculated

Ⅲ期最大，但卵巢在这一时期反而最小，到Ⅳ期和Ⅴ期则显著增加。

刀鲚的肌肉平均脂肪含量约为凤鲚相同发育阶段脂肪含量的3倍，二者在Ⅱ期、Ⅲ期、Ⅳ期之间的变化情况基本一致。刀鲚肝脏脂肪的平均含量约是凤鲚相同发育阶段脂肪含量的2倍，但刀鲚Ⅳ期的含量下降明显，二者仅相差1.67倍。而刀鲚卵巢的平均脂肪含量却低于凤鲚的相同发育阶段，二者在Ⅱ期、Ⅲ期、Ⅳ期之间的变化趋势虽然一致，但刀鲚在Ⅳ期时的增加程度更加明显。

2.5 性腺发育过程中脂肪总量的分配

凤鲚躯干部聚集了体内大多数脂肪，比例

从Ⅱ期的91.02%下降至Ⅴ期的34.69%，每一发育时期的下降结果均极显著($P<0.01$)。肝脏脂肪占体内总脂肪含量的比例很低，从Ⅱ期的2.55%略微上升至Ⅲ期的2.88%，之后下降至Ⅴ期的1.2%。卵巢的脂肪随发育时期增加明显，从Ⅱ期的6.43%急剧升高至Ⅴ期的64.11%，每一阶段的增加均极显著($P<0.01$)(图6)。

刀鲚躯干部的脂肪比例更高，但从Ⅱ期的97.73%逐渐下降至Ⅳ期的91.02%，每一阶段的下降程度均显著($P<0.05$)。肝脏脂肪的比例变动不大($P>0.05$)，3个发育阶段基本保持在1.5%。卵巢脂肪在Ⅱ期和Ⅲ期之间变化不大，但到Ⅳ期急剧升高至7.50%。

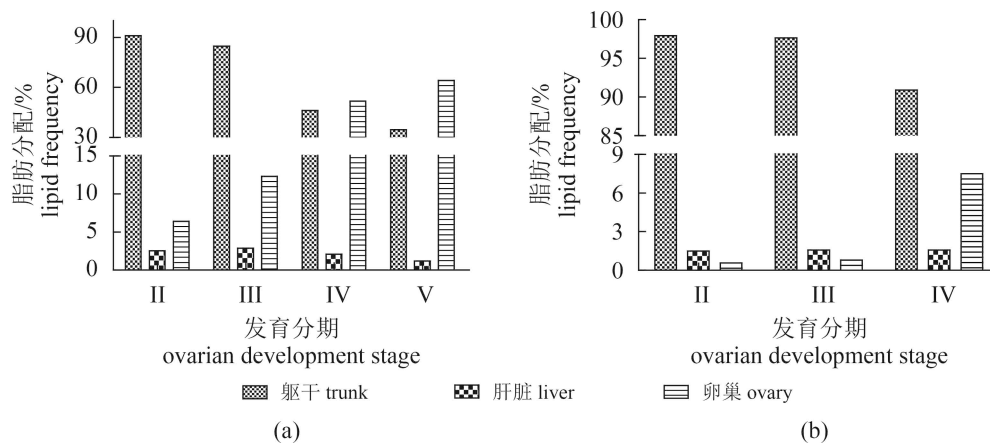


图 6 凤鲚(a)和刀鲚(b)不同组织的脂肪分配

Fig. 6 Lipid allocation in different tissues of *C. mystus* (a) and *C. nasus* (b)

3 讨论

3.1 体内能量积累与生殖洄游的关系

凤鲚是一种小型鱼类,在产卵洄游过程中并不摄食,体内能量的储备对生殖洄游及繁殖活动具有重要作用。本研究表明,不论是体长还是体质量,到达产卵场的雌性个体,均为5月份显著高于6、7、8月份,也就是个体较大的成熟亲鱼比较早地到达了长江口的产卵场。这可能由于繁殖群体中,大个体成熟亲鱼积累了较多的能量储备,比较早地进行生殖洄游过程。

对同一性腺发育时期的分析发现,除8月份之外,凤鲚肌肉的脂肪含量都为5月份最高,7月份最低(图5)。显示前期到达产卵场的个体不仅体型较大,脂肪消耗也相对较少,这一结果与Aenderson等^[23]有关湖鲚(*Salvelinus namaycush*)的研究结果相近。说明脂肪含量除了体型大小的差异,也可能与洄游距离的长短有关,也即前期到达产卵场的凤鲚个体可能就在产卵场附近栖息。而8月份脂肪含量的升高,可能预示着完成最后的繁殖过程需要保持较高的肌肉脂肪含量,但这种高脂肪可能来源于体内蛋白质和糖原等生化成分的转化。

3.2 凤鲚与刀鲚的脂肪积累与洄游能力

硬骨鱼类的胰腺弥散在肝组织中,二者合称肝胰脏。肝胰脏除了行使消化等代谢功能,还储存糖原等能量物质,快速地将自身储存的肝糖原分解为葡萄糖进入血液循环。肝脏也是脂肪运输的枢纽,肠道吸收的部分脂肪可进入肝脏,之后再转变为体脂而贮存。贮存的体脂也可先被运送至肝脏,然后进行分解^[24-26]。与刀鲚相比,凤鲚的HSI相对较大,表明在繁殖季节,凤鲚将更多的能量集中在更容易被转移的器官内。凤鲚的平均GSI值也要比同一发育时期的刀鲚高很多倍,表明凤鲚将更多的体内能量聚集在卵巢内。

进一步的脂肪含量分析显示,凤鲚的肌肉脂肪含量很低,约是刀鲚相同发育阶段脂肪含量的1/3。凤鲚肝脏的脂肪含量比肌肉高,但也仅约为刀鲚相同发育阶段脂肪含量的1/2。凤鲚卵巢的脂肪含量比自身肝脏和肌肉都要高很多,也比刀鲚相同发育阶段脂肪含量高出不少。表明以粗脂肪为代表的体内能量积累,凤鲚更

多地积聚在卵巢和肝脏,刀鲚则主要积聚在肌肉。也即凤鲚将更多的能量积聚在生殖器官,而刀鲚则主要积聚在运动器官。这也预示着在繁殖季节,刀鲚比凤鲚具有更强的迁移运动能力,同时也能解释凤鲚比刀鲚具有更高的相对繁殖力(凤鲚和刀鲚的个体平均相对怀卵量分别为971和229粒/g体质量)^[27-28]。这种将有限能量集中于生殖器官的现象,可能是小型鱼类难以长距离溯河产卵洄游的主要原因之一^[17]。

3.3 凤鲚、刀鲚的体内能量转移过程

从体内脂肪的分布状况看,在性腺发育的早期(Ⅱ期),凤鲚和刀鲚的躯干部都聚集了91%以上的体内脂肪。但凤鲚躯干部脂肪比例在每一发育时期的下降程度均极显著($P<0.01$),到Ⅴ期仅剩34.69%(图6)。而刀鲚躯干部的脂肪含量变化很小,从Ⅱ期的97.73%仅下降至Ⅳ期的91.02%。凤鲚和刀鲚的肝脏脂肪含量相对稳定,随性腺发育变化都不大。但凤鲚的卵巢脂肪比例明显地高于刀鲚,如Ⅳ期刀鲚的卵巢脂肪仅占体内总脂肪含量的7.50%,而同期的凤鲚却高达51.74%。上述情况表明,凤鲚和刀鲚的生殖洄游均需在肝脏中保持稳定的脂肪含量;但体型较小的凤鲚在溯河产卵洄游到达长江口时已将体内的大部分能量用于性腺发育,躯干脂肪含量仅余留原有的约38%;而此时刀鲚还保留92%以上的躯干脂肪,用于卵巢发育的仅占体内总脂肪含量的7.50%。本研究似乎可以表明,这种将体内大部分脂肪用于性腺发育,躯干脂肪又很快耗尽的现象,可能是小型短距离溯河产卵洄游鱼类共有的特征。而大型长距离溯河产卵洄游鱼类则仅有少部分体内脂肪用于性腺发育,躯干脂肪不仅占比高,消耗也很缓慢。

参考文献:

- [1] 倪勇,王云龙,蒋玫,等.长江口凤鲚的渔业生物学特性[J].中国水产科学,1999,6(5):69-71.
Ni Y, Wang Y L, Jiang M, et al. Biological characteristics of *Coilia mystus* in the Yangtze River estuary[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1999, 6(5): 69-71(in Chinese).
- [2] 袁传宓,秦安龄,刘仁华,等.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[J].南京大学学报(自然科学版),1980(3):67-82.

- Yuan C M, Qin A L, Liu R H, *et al.* On the classification of the anchovies, *coilia*, from the lower Yangtze River and the Southeast coast of China[J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 1980(3): 67-82(in Chinese).
- [3] 长江流域刀鲚资源调查协作组. 长江流域刀鲚资源调查报告[R]. 南京: 南京大学, 1976.
Collaborative Group of Resource Investigation in the Yangtze River Basin. The investigation of *Coilia nasus* resource in Yangtze River basin[R]. Nanjing: Nanjing University, 1976(in Chinese).
- [4] 李栋良. 长江刀鱼的天然繁殖与胚胎发育观察[J]. 水产科技情报, 1992, 19(2): 49-51.
Li D L. Observation of natural reproduction and embryonic development of *Coilia ectenes* in Yangtze River[J]. Fisheries Science & Technology Information, 1992, 19(2): 49-51(in Chinese).
- [5] 刘守海, 徐兆礼, 田丰歌. 长江口及附近水域凤鲚摄食习性的分析[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(4): 589-597.
Liu S H, Xu Z L, Tian F G. Study on feeding habit of *Coilia mystus* in Yangtze River estuary[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(4): 589-597(in Chinese).
- [6] Henderson B A, Morgan G E. Maturation of walleye by age, size and surplus energy[J]. Journal of Fish Biology, 2002, 61(4): 999-1011.
- [7] Mourente G, Megina C, Díaz-Salvago E. Lipids in female northern bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.) during sexual maturation[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2001, 24(4): 351-363.
- [8] Zaboukas N, Miliou H, Megalofonou P, *et al.* Biochemical composition of the Atlantic bonito *Sarda sarda* from the Aegean Sea (eastern Mediterranean Sea) in different stages of sexual maturity[J]. Journal of Fish Biology, 2006, 69(2): 347-362.
- [9] Penney Z L, Moffitt C M. Proximate composition and energy density of stream-maturing adult steelhead during upstream migration, sexual maturity, and kelt emigration[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 2014, 143(2): 399-413.
- [10] Finstad B, Heggberget T G. Migration, growth and survival of wild and hatchery-reared anadromous Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) in Finnmark, northern Norway[J]. Journal of Fish Biology, 1993, 43(2): 303-312.
- [11] Crossin G T, Hinch S G, Farrell A P, *et al.* Energetics and morphology of sockeye salmon: effects of upriver migratory distance and elevation[J]. Journal of Fish Biology, 2004, 65(3): 788-810.
- [12] Magnoni L J, Patterson D A, Farrell A P, *et al.* Effects of long-distance migration on circulating lipids of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*)[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2006, 63(8): 1822-1829.
- [13] Jobling M, Johansen S J S, Foshaug H, *et al.* Lipid dynamics in anadromous Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.): seasonal variations in lipid storage depots and lipid class composition[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 1998, 18(3): 225-240.
- [14] 徐东坡, 刘凯, 张敏莹, 等. 长江刀鲚产卵群体肌肉营养成分分析[J]. 云南农业大学学报, 2009, 24(6): 850-855.
Xu D P, Liu K, Zhang M Y, *et al.* Analysis of the muscle nutritive composition of *Coilia ectenes* spawning stock in Yangtze River[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2009, 24(6): 850-855(in Chinese).
- [15] 刘凯, 段金荣, 徐东坡, 等. 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[J]. 动物学杂志, 2009, 44(4): 118-124.
Liu K, Duan J R, Xu D P, *et al.* Biochemical components and energy density in muscles of *Coilia mystus*, *C. ectenes* and *C. ectenes taihuensis* in spawning season in the lower reaches of Yangtze River[J]. Chinese Journal of Zoology, 2009, 44(4): 118-124(in Chinese).
- [16] 刘凯, 徐东坡, 段金荣, 等. 长江口凤鲚产卵群体肌肉及卵巢生化组成和能量密度[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(3): 302-307.
Liu K, Xu D P, Duan J R, *et al.* Biochemical components and energy density of muscle and ovary of *Coilia mystus* in the estuary of Yangtze River[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(3): 302-307(in Chinese).
- [17] 于晓, 唐文乔, 王磊. 长江口凤鲚繁殖群体卵巢发育过程中的体内脂肪转移[J]. 动物学杂志, 2014, 49(6): 867-874.
Yu X, Tang W Q, Wang L. Crude lipid transition in tissues during ovary development of *Coilia mystus* living in the estuary of Yangtze River[J]. Chinese Journal of Zoology, 2014, 49(6): 867-874(in Chinese).

- [18] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 268-269.
Yin M C. Fish Ecology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 268-269(in Chinese).
- [19] 徐钢春, 万金娟, 顾若波, 等. 池塘养殖刀鲊卵巢发育的形态及组织学研究[J]. 中国水产科学, 2011, 18(3): 537-546.
Xu G C, Wan J J, Gu R B, *et al.* Morphological and histological studies on ovary development of *Coilia nasus* under artificial farming conditions[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(3): 537-546(in Chinese).
- [20] 吴利红. 长江口凤鲊繁殖群体年龄结构及生化成分的相关研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
Wu L H. The study on age structure and biochemical composition of *Coilia mystus* breeding population from Yangtze River estuary[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016(in Chinese).
- [21] 郭弘艺, 唐文乔. 长江口刀鲊矢耳石重量与年龄的关系及其在年龄鉴定中的作用[J]. 水产学报, 2006, 30(3): 347-352.
Guo H Y, Tang W Q. The relationship between sagittal otolith weight-age and its use in age determination in *Coilia nasus* from the estuary of Yangtze River[J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(3): 347-352(in Chinese).
- [22] 王少梅, 陈少莲, 崔奕波. 用氯仿-甲醇抽提法测定鱼体脂肪含量的研究[J]. 水生生物学报, 1993, 17(2): 193-196.
Wang S M, Chen S L, Cui Y B. On the procedures of chloroform-methanol extraction for the determination of lipid content of fish samples[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1993, 17(2): 193-196(in Chinese).
- [23] Aenderson B A, Wong J L. Control of lake trout reproduction: role of lipids[J]. Journal of Fish Biology, 1998, 52(5): 1078-1082.
- [24] 林浩然. 鱼类生理学[M]. 广州: 中山大学出版社, 2011.
Lin H R. Fish Physiology[M]. Guangzhou: Sun Yat-Sen University Press, 2011(in Chinese).
- [25] Akiyoshi H, Inoue A. Comparative histological study of teleost livers in relation to phylogeny[J]. Zoological Science, 2004, 21(8): 841-850.
- [26] Rinchar J, Kestemont P. Liver changes related to oocyte growth in roach, a single spawner fish, and in bleak and white bream, two multiple spawner fish[J]. International Review of Hydrobiology, 2003, 88(1): 68-76.
- [27] 张敏莹, 徐东坡, 刘凯, 等. 长江下游刀鲊生物学及最大持续产量研究[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(6): 694-698.
Zhang M Y, Xu D P, Liu K, *et al.* Studies on biological characteristics and change of resource of *Coilia nasus* schlegel in the lower reaches of the Yangtze River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(6): 694-698(in Chinese).
- [28] 毕雪娟, 张涛, 冯广朋, 等. 长江口凤鲊个体生殖力的研究[J]. 海洋渔业, 2015, 37(3): 223-232.
Bi X J, Zhang T, Feng G P, *et al.* Individual fecundity of *Coilia mystus* in the Yangtze Estuary[J]. Marine Fisheries, 2015, 37(3): 223-232(in Chinese).

Research on the differences of anadromous migratory distance between *Coilia mystus* and *Coilia nasus* based on the transfer process of body lipid

WU Lihong^{1,2}, TANG Wenqiao^{1,2*}, ZHANG Ya^{1,2}

(1. Laboratory of Ichthyology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Marine Animal Taxonomy and Evolution Key Laboratory of Shanghai Municipal Education Commission, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to figure out the possible reasons of the different migratory distances between *Coilia mystus* and *C. nasus*, we investigated the relationships between migration distance of the two sibling species and lipid reserves and transfer in this paper. Study of *C. mystus* showed that individuals arriving at spawning ground in May were significantly greater in body length than those in June, July and August. In particular, those larger-sized females with higher somatic lipid content arrived at spawning ground and spawned earlier than others. The average hepatosomatic index of *C. mystus* was relatively higher than that of *C. nasus* during the same development period, and the gonadosomatic index of *C. mystus* at stages III and IV was about five times higher than that of *C. nasus*, indicating more energy centralized in ovary and easy-transferred organs of *C. mystus* during the spawning season. Although lipid content in muscle and liver of *C. mystus* was about one-third and half of that in *C. nasus* respectively during the same development period, *C. mystus* accumulated more lipid in ovary, a reproductive organ. Total trunk lipid in *C. nasus* decreased from 97.73% at phase II to 91.02% at phase IV, compared to rapid decrease from 91.02% at phase II to 34.69% at phase V in *C. mystus*. The amount of lipid in hepatopancreas was relatively stable in both species, whereas the lipid proportion in ovary of *C. mystus* was obviously higher than that of *C. nasus*. The finding that *C. mystus* allocated most of the body lipid for gonadal development and rapidly consumed trunk lipid may represent the common characteristic of short-distance migratory fish.

Key words: *Coilia mystus*; *Coilia nasus*; anadromous migration; habitual difference; ovary development; lipid content and allocation; Yangtze River

Corresponding author: TANG Wenqiao. E-mail: wqtang@shou.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31472280); Ecological Restoration Project of Adjacent Water Area of Qingcaosha Reservoir of Shanghai City (D8006120082)