

文章编号: 1674-5566(2024)05-1166-10

DOI:10.12024/jsou.20240404517

## 不同水域刀鲚与短颌鲚肌间刺的比较分析

李亚培<sup>1</sup>, 孔赤平<sup>3</sup>, 许群<sup>3</sup>, 张宝<sup>3</sup>, 高小平<sup>3</sup>, 鲍宝龙<sup>1,2</sup>, 李乐康<sup>3</sup>, 龚小玲<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 3. 九江市农业科学院, 江西 九江 332000)

**摘要:** 鱼类的肌间骨与其运动有着密切的联系, 鱼类运动能力越强, 肌间骨数目可能越多, 肌肉脂肪含量可能相对高些。为了探究鄱阳湖短颌鲚是否存在江、湖及湖、湖等洄游的生态类群, 在不同月份采集了鄱阳湖不同采样点如千眼桥等地的短颌鲚样本。此外为了探究洄游对刀鲚肌间刺形成的影响, 采集了舟山嵊泗、长江口青草沙水库、鄱阳湖刀鲚样本, 采用解剖法和常规测量法比较了它们髓弓小骨和脉弓小骨形态、数目和肌肉蛋白与脂肪含量。结果表明: (1) 3月份鄱阳湖瓢头地区短颌鲚的肌间骨数目最少, 为(100.67±6.34)根; 6月份千眼桥的肌间骨数目最多, 为(127.67±6.18)根; (2) 鄱阳湖刀鲚肌间骨数为(129.60±0.98)根, 极显著高于短颌鲚(110.60±2.97)根; (3) 同为刀鲚, 鄱阳湖的肌间骨数目极显著高于青草沙的(113.67±3.29)根, 但低于嵊泗的(147.67±3.09)根; (4) 鄱阳湖刀鲚肌肉的蛋白质含量低于短颌鲚, 脂肪含量高于短颌鲚, 鱼类肌肉中的蛋白质含量较高的鱼类肌间骨的数量会较少, 提示刀鲚需要更多的鱼体摆动以完成长距离洄游需要, 刺激更多肌间刺的形成。以上这些结果对于理解鄱阳湖刀鲚和短颌鲚洄游群体的来源差异有重要启示, 为下一步对鄱阳湖洄游群体生物学研究奠定基础。

**关键词:** 刀鲚; 短颌鲚; 肌间骨; 洄游; 鄱阳湖

**中图分类号:** S 917 **文献标志码:** A

鄱阳湖是中国的第一大淡水湖, 汇聚赣江、抚河、信江、饶河、修河五河之水, 水生生物资源种类丰富<sup>[1]</sup>, 也是众多长江水生野生动物的栖息地之一<sup>[2]</sup>, 根据历史资料记载, 鄱阳湖曾是刀鲚重要的产卵场之一。刀鲚(*Coilia nasus*)俗称刀鱼, 又称长颌鲚, 隶属于鲱形目(*Clupeiformes*) 鲱科(*Engraulidae*) 鲱属(*Coilia*)。根据耳石微化学研究, 刀鲚幼鱼的栖息地因个体差异而有所不同<sup>[3]</sup>, 分为溯河洄游型的刀鲚(*Coilia nasus*)和淡水定居型的短颌鲚(*Coilia brachygnathus*), 刀鲚上颌骨较长, 可以向后延伸至胸鳍基部; 而短颌鲚上颌骨向后延伸不超过鳃盖骨<sup>[4]</sup>。鄱阳湖广泛分布着这两种鱼类, 也有一些个体分布在鄱阳湖与赣江、抚河、信江、饶河、修河五河交界的河口处<sup>[5]</sup>。溯河洄游型刀鲚每年春天由海入江迁徙到淡水区产卵,

然后向下游移动至河口及其邻近水域。但目前为止并未证明短颌鲚都属于定居型、无洄游型。

鱼类的肌间骨(Intermuscular bone)又名肌间刺或肌间小骨, 根据附着的位置, 可分为髓弓小骨(Epineurial bone)、脉弓小骨(Epipleural bone)和椎体小骨(Epicentralia bone)三类<sup>[6]</sup>。秉志<sup>[7]</sup>最早在硬骨鱼的研究中发现鱼体的大侧肌隔从尾部向前依次有骨化的现象, 可以支持其运动。但不同于鲤科等硬骨鱼类, 鳗鲡的肌间小骨骨化顺序为从头部向尾部, 暗示鱼类肌间小骨的骨化可能与其不同的游泳方式有关<sup>[8]</sup>。柯中和等<sup>[9]</sup>通过对鲢进行解剖和骨骼染色的方法对鲢的成鱼肌间小骨的形态分布进行观察发现鲢的肌间小骨有I形、卜形、y形、一端多叉形、两端多叉形和树枝形6种类型, 并且肌间小骨在鱼体位置中越靠

收稿日期: 2024-04-24 修回日期: 2024-05-21

基金项目: 国家自然科学基金(32170514)

作者简介: 李亚培(1999—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水生生物学。E-mail: 2605665719@qq.com

通信作者: 龚小玲, E-mail: xlgong@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

前端,形态程度越为复杂。硬骨鱼类的肌间骨可以支撑鱼的肌肉,辅助其运动,并且鱼类肌间骨的数量、形态以及分布区域与鱼类的游泳方式、遗传进化和年龄等都存在密切联系<sup>[10]</sup>。在研究肌间骨与鱼类游泳能力关系时,YAO等<sup>[11]</sup>通过对去尾的斑马鱼和鳗鲡进行研究发现尾巴截肢影响肌间骨的骨化,因为去尾的斑马鱼肌间骨长度明显缩短,且活动减弱,游泳速度减慢;这表明游泳与肌间骨骨化之间有密切联系。此外,当斑马鱼的尾巴被截去更长的时候,肌肉间的骨头会变得更短,并且截尾会影响鱼靠近头部的肌间骨的长度和骨化,这说明肌间骨的骨化可能是由游泳产生的机械力负荷引起的。但是目前人们对刀鲚肌间骨的研究鲜有报道。本研究分别于2023年6月对长江口青草沙水库,2023年3月到6月在鄱阳湖湖区各采样点进行刀鲚和短颌鲚样品的采集,同时于2023年3月于舟山嵊泗海域采集

野生海洋型刀鲚,分析它们肌间骨之间形态结构的差异,根据肌间骨数目的差异推断刀鲚不同采样群体运动距离的长短的关系,目的在于探讨鄱阳湖的短颌鲚是否存在洄游现象,以及鄱阳湖刀鲚可能的来源地。

## 1 材料与方法

### 1.1 样本采集

在鄱阳湖不同的采样点进行刀鲚和短颌鲚的采样,每个地点各采集3条刀鲚和短颌鲚,但是因为彭泽地段只捕捉到2条刀鲚,在鄱阳湖共采集到21条短颌鲚和20条刀鲚,为了保持数据的一致性,在青草沙水库和嵊泗海域中各采集刀鲚20尾,采样点及洄游路线如图1所示。溯河洄游路线由东海沿着长江流域到不同水域。并对刀鲚和短颌鲚进行形态学测量记录,样本信息见表1。

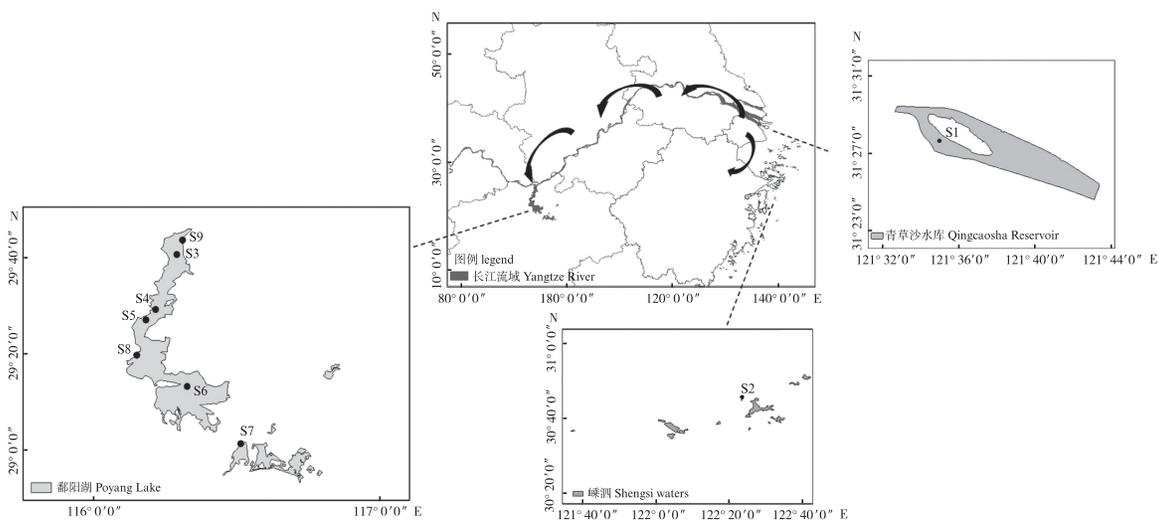


图1 采样点及洄游路线

Fig. 1 Sampling point and the migration route

### 1.2 刀鲚与短颌鲚肌间骨的解剖与形态观察

刀鲚与短颌鲚肌间骨的解剖以及形态按照董在杰<sup>[12]</sup>描述的方法,采集到的刀鲚与短颌鲚样本即刻置于干冰保存,运输回实验室,待刀鲚与短颌鲚解冻后,将其鱼体表面水分擦干后,测量其全长、体长、体质量等形态学指标,取其背部肌肉(图2),每条鱼类样本取3g左右放入密封袋后置于-20℃冰箱用于后续粗脂肪和粗蛋白含量测定,参照GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》中的索氏提取法测定刀鲚与短颌鲚背部肌肉的粗脂肪含量;参照GB 5009.5—2016《食品中蛋白的测定》

中的半凯氏定氮法测定刀鲚和短颌鲚背部肌肉中的粗蛋白含量。随后将鱼体装入密封袋中,放入灭菌锅中蒸至9分熟,待降温后,将鱼体放置解剖台上,小心去除皮肤组织,将鱼体从尾部到头部依次取出髓弓小骨和脉弓小骨,只取鱼体右侧肌间骨,按照在鱼体中位置排列整齐,并用相机拍照记录。

### 1.3 数据统计分析

采用SPSS 27.0软件进行实验数据统计,采用GraphPad prism 9软件绘制柱状图,并使用单因素方差分析ANOVA及事后检验分析其显著性差异;当 $P < 0.05$ 为显著性差异, $P < 0.01$ 为极显著差异。

表1 刀鲚和短颌鲚样本信息  
Tab. 1 Morphological measurements of *Coilia nasus* and *Coilia brachygnathus*

种类 Species	采样地 Sampling points	采样时间 Sampling time	缩写 Abbreviation	经纬度 Longitude and latitude	数量 Number	全长 Overall length	体长 Body length	体质量 Body mass	脊椎骨数 Number of vertebrae
刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	鄱阳湖	2023.3—6	PYH-C	116.02°E~116.09°E 29.20°N~29.47°N	20	31.67 ± 1.53	28.67 ± 1.53	86.67 ± 1.53	73.46 ± 3.25
	青草沙S1	2023.6	QCS-C	121.59°E, 31.45°N	20	28.00 ± 2.00	25.00 ± 2.65	69.33 ± 5.13	72.50 ± 2.75
	嵯泗S2	2023.3	SS-C	122.45°E, 30.73°N	20	29.90 ± 0.96	27.30 ± 0.97	81.30 ± 2.20	73.40 ± 2.33
短颌鲚 <i>Coilia brachygnathus</i>	火焰山S3	2023.4	HYS-D	116.06°E, 29.41°N	3	29.00 ± 0.82	26.10 ± 0.82	96.00 ± 7.12	70.23 ± 2.10
	姑塘S4	2023.3	GT-D	116.05°E, 29.37°N	3	33.67 ± 3.29	25.33 ± 3.30	96.67 ± 8.67	70.13 ± 2.55
	千眼桥S5	2023.6	QYQ-D	116.04°E, 29.33°N	3	32.33 ± 1.69	28.33 ± 1.70	110.67 ± 4.90	73.58 ± 2.67
	鄱阳湖核心区S6	2023.5	PYH-D	116.08°E, 29.25°N	3	34.00 ± 3.74	21.00 ± 3.74	99.67 ± 2.87	70.20 ± 1.47
	瓢头S7	2023.3	PT-D	116.09°E, 29.20°N	3	33.33 ± 1.69	30.67 ± 1.70	108.83 ± 4.99	71.26 ± 1.32
	永修曾米洲S8	2023.4	YXZMZ-D	116.03°E, 29.31°N	3	28.00 ± 4.92	24.33 ± 4.92	106.33 ± 4.12	71.40 ± 2.53
	彭泽S9	2023.3	PZ-D	116.07°E, 29.47°N	3	31.33 ± 2.94	28.00 ± 2.94	95.67 ± 4.51	70.37 ± 1.89

注:数据以平均值 ± 标准误和范围表示。

Notes: Data are expressed as Mean ± SE and range.

## 2 结果

### 2.1 肌间骨的形态

研究发现,刀鲚和短颌鲚的肌间骨形态一致,分别为“1”形、“1”形、“Y”形、一端多叉形和两端两分叉形共5种。躯干部位肌间骨形态较复杂,主

要以“1”形和“Y”形为主,有少量的一端多叉形和两端两叉形,尾部则以“1”形为主,也有少部分不是很明显的“1”形。总体上,刀鲚和短颌鲚尾部到躯干部位(从左至右)的肌间骨形态呈现从简单“1”向复杂“Y”过渡,以鱼体一侧的肌间骨为例,刀鲚与短颌鲚的肌间骨解剖图见图3和4。

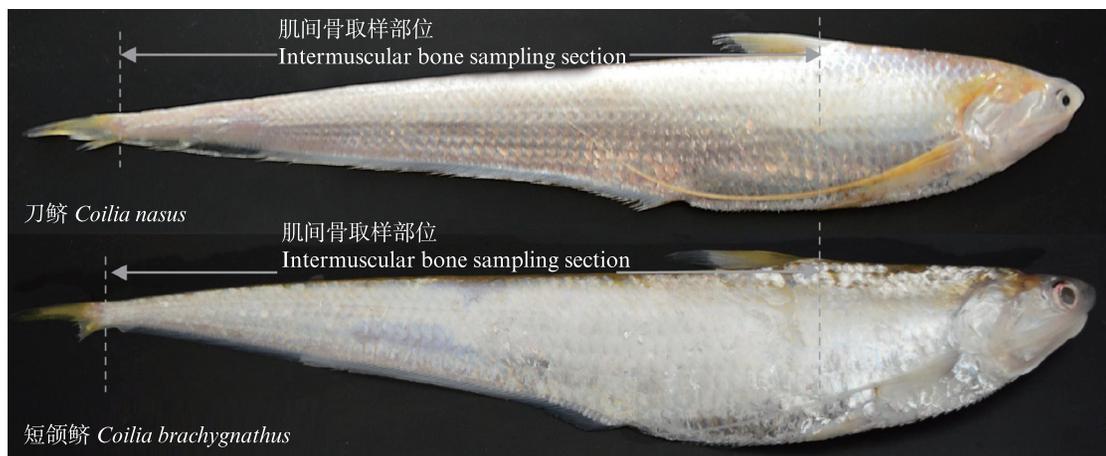


图2 刀鲚与短颌鲚肌间骨取样图

Fig. 2 Intermuscular bone sampling section of *Coilia nasus* and *Coilia brachygnathus*

2.2 鄱阳湖不同流域短颌鲚肌间骨形态、数目  
对鄱阳湖的各个流域点进行采样,探究其短

颌鲚肌间骨的形态数目和肌间骨总数量差异,如图5所示。



(a) 刀鲚 *Coilia nasus*



(b) 短颌鲚 *Coilia brachygnathus*

en. 髓弓小骨; ep. 脉弓小骨。

图3 刀鲚与短颌鲚髓弓小骨与脉弓小骨

Fig. 3 Diagram of bone morphology between epineurial bone and epipleural bone of *Coilia nasus* and *Coilia brachygnathus*

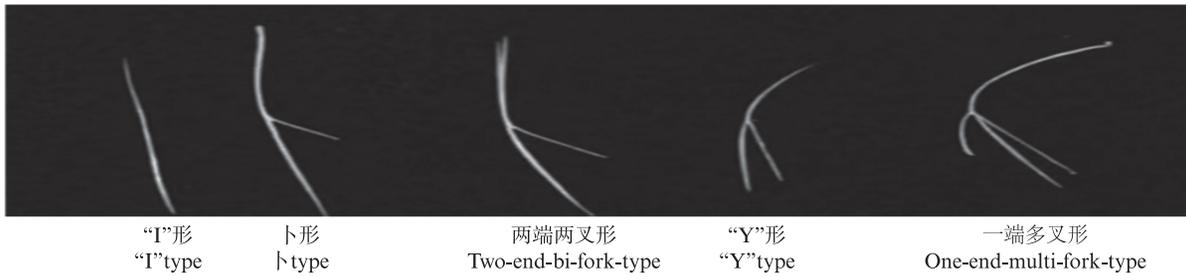
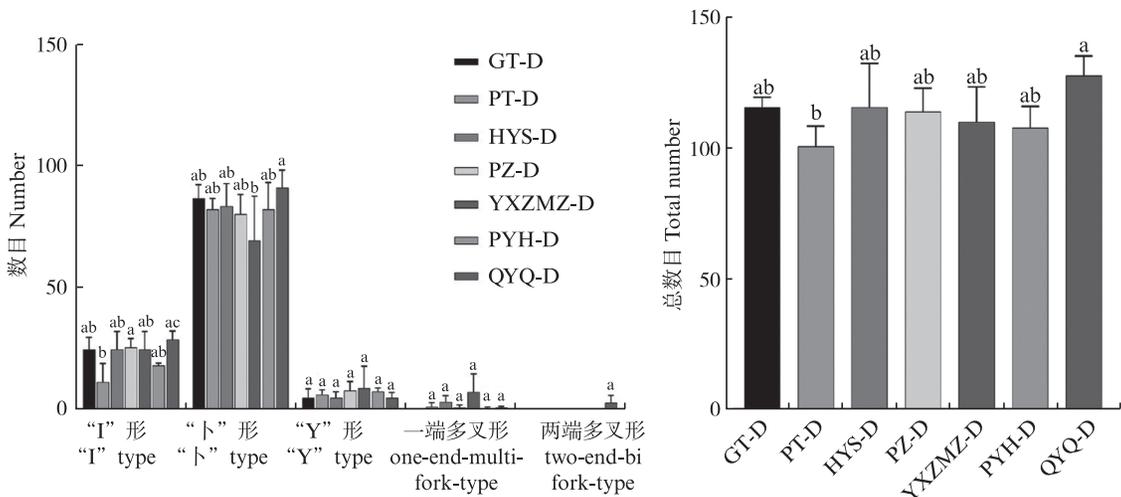


图4 刀鲚与短颌鲚不同形态的肌间骨

Fig. 4 Diagram of bone morphology between different intermuscular bone of *Coilia nasus* and *Coilia brachygnathus*



鄱阳湖不同采样点的短颌鲚的同一肌间骨类型,标注不同字母表示肌间骨数目存在极显著性差异( $P < 0.01$ )。

For the same intermuscular bone type of *Coilia brachygnathus* from different sampling points in Poyang Lake, different letters indicated that there were significant differences in the number of intermuscular bones ( $P < 0.01$ ).

图5 鄱阳湖各采样点短颌鲚肌间骨不同形态数目和总数目差异比较

Fig. 5 Comparison of intermuscular bone shapes and total number between the *Coilia brachygnathus* in various basins of Poyang Lake

鄱阳湖不同流域点的短颌鲚肌间骨在形态方面,采集于3月的瓢头短颌鲚PT-D的“I”形肌

间骨为(11.03±0.12)根,极显著少于3月的彭泽短颌鲚PZ-D以及6月的千眼桥短颌鲚QYQ-D这两

个流域;采集于4月的永修曾米洲短颌鲂 YXZMZ-D的“卜”形肌间骨为(69.33±4.82)根,极显著少于6月千眼桥短颌鲂 QYQ-D的(91.00±5.89)根;“Y”形,一端多叉形肌间骨在各个群体中没有显著性差异,但千眼桥 QYQ-D的两端两叉形肌间骨数目极显著高于其他群体。通过对不同流域短颌鲂的肌间骨数目分析,在肌间骨总数差异方面,采集于3月的瓢头短颌鲂 PT-D的肌间骨总数目为(100.67±6.34)根,极显著低于6月千眼桥短颌鲂 QYQ-D的肌间骨总数目(127.67±6.12)根,而其他地点的短颌鲂肌间骨数目处于两者中间,并无显著性差异。

### 2.3 鄱阳湖刀鲂与短颌鲂之间肌间骨形态数目的比较

由图6可以看出:鄱阳湖刀鲂 PYH-C和鄱阳湖短颌鲂 PYH-D的肌间骨类型在“卜”形和一端多叉形这两种类型上并无显著性差异,在“I”形、“Y”形、两端两叉形肌间骨方面,鄱阳湖刀鲂 PYH-C的肌间骨数目都极显著高于鄱阳湖短颌鲂 PYH-D的肌间骨数目;从肌间骨总数来看,鄱阳湖刀鲂肌间骨数目为(129.60±0.98)根,极显著高于鄱阳湖短颌鲂的肌间骨数目(110.60±2.97)根。

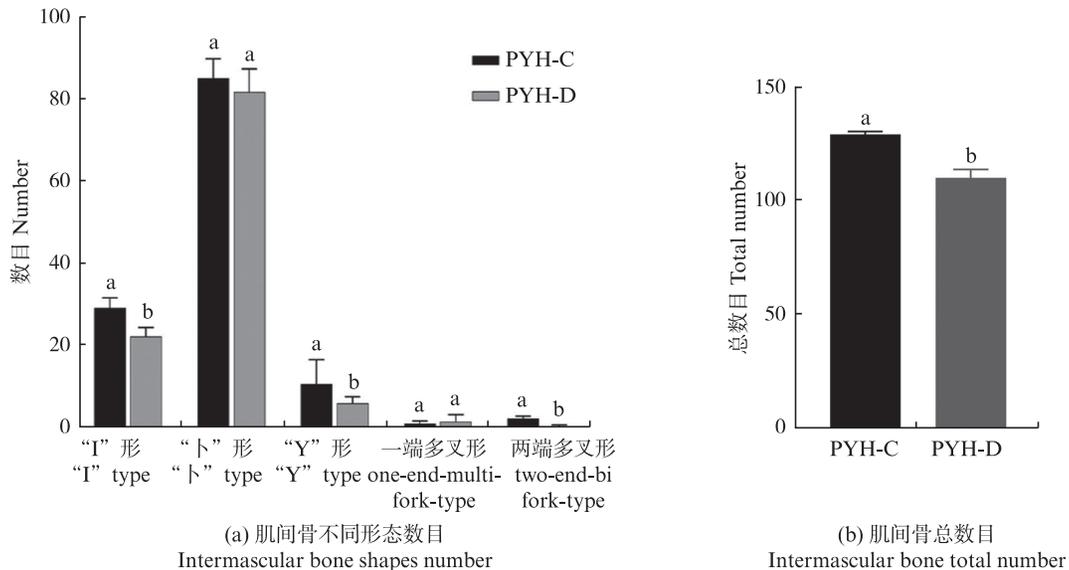


图6 鄱阳湖刀鲂与短颌鲂肌间骨形态数目和总数目差异比较  
**Fig. 6 Comparison of intermuscular bone shapes and total number between the *Coilia nasus* and *Coilia brachygnathus* in various basins of Poyang Lake**

### 2.4 不同地区刀鲂之间肌间骨形态数目的差异

刀鲂是一种重要的溯河产卵鱼类,2—9月成鱼在早春由海入江,沿长江洄游,在鄱阳湖及其支流等水流缓慢的地区产卵。按照刀鲂洄游的月份和文献资料,3月在涇泗东海,6月在长江口青草沙水库。3—6月在鄱阳湖的各个采样点采集刀鲂各二十条,用于分析刀鲂的肌间骨形态数目差异。

如图7所示,对青草沙刀鲂、鄱阳湖刀鲂、涇泗刀鲂的肌间骨形态数目也进行了详细的对比,研究发现三者的“卜形”、一端多叉形和两端两叉形肌间骨没有显著性差异( $P>0.05$ ),涇泗刀鲂的“I”形和“Y”形肌间骨极显著( $P<0.01$ )高于鄱阳

湖刀鲂和青草沙刀鲂的肌间骨;就肌间骨总数目而言,鄱阳湖刀鲂肌间骨数目为(129.33±0.47)根,极显著高于青草沙刀鲂的肌间骨数目(113.67±3.29)根,但极显著低于涇泗刀鲂(147.67±3.09)根( $P<0.01$ )。

### 2.5 鄱阳湖刀鲂和短颌鲂之间蛋白质与脂肪的差异

按照索氏抽提法和凯氏定氮法对20条鄱阳湖刀鲂和20条鄱阳湖短颌鲂肌肉进行粗脂肪和粗蛋白含量的测定,5条刀鲂和5条短颌鲂样本为一组,取其平均值进行显著性分析。

结果表明,鄱阳湖刀鲂肌肉蛋白质含量低于短颌鲂,脂肪含量高于短颌鲂( $P<0.01$ ),见图8。

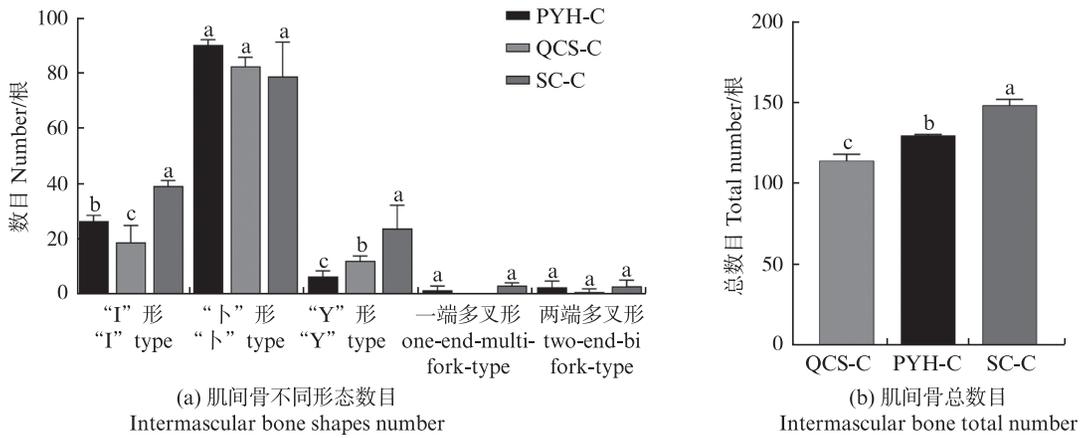


图 7 鄱阳湖刀鲚、青草沙刀鲚、嵯泗刀鲚肌间骨形态数目与总数目对比  
 Fig. 7 Comparison of intermuscular bone shapes and total number between the *Coilia nasus* in various basins of Poyang Lake, Qingcaosha and Shengsi

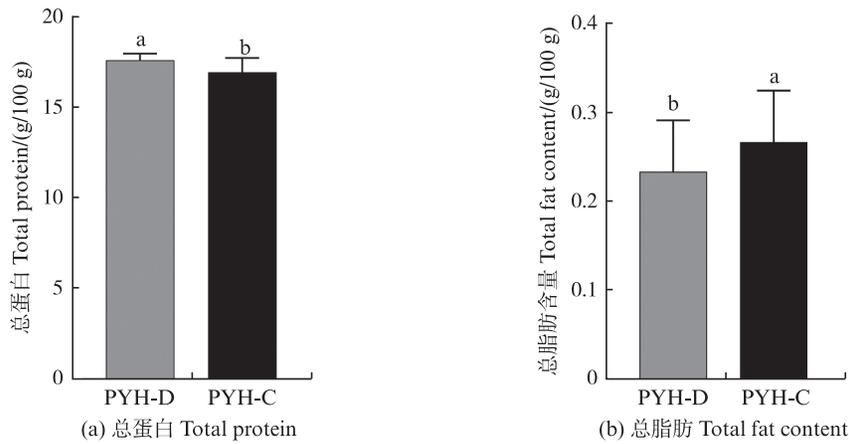


图 8 鄱阳湖刀鲚,短颌鲚肌肉蛋白质与脂肪含量对比  
 Fig. 8 Comparison of protein and fat differences between *Coilia nasus* and *Coilia brachygnathus* in Poyang Lake

### 3 讨论

#### 3.1 鄱阳湖短颌鲚的来源分析

通过对刀鲚和短颌鲚肌间骨的解剖结果可以看出,尾部周围的肌间骨形态类型较为简单,鱼体中间部位的肌间骨形态较为复杂,且较两端的长,这可能与鱼体不同部位的形态结构及自身的运动有着较强的联系<sup>[10]</sup>。短颌鲚是鄱阳湖定居型的小型经济性鱼类,也是一些大型肉食性鱼类的饵料,但是受环境污染过度捕捞等因素的影响,短颌鲚野生资源面临着严重威胁。目前关于短颌鲚的资源分布,生物学特征以及遗传的多样性已有相关报道<sup>[13]</sup>。程万秀等<sup>[14]</sup>发现短颌鲚中也存在同刀鲚那样溯河洄游的个体,这使得用上颌骨来对刀鲚和短颌鲚进行分类显示出很大的不确定性。徐钢春等<sup>[15]</sup>采用 X 射线电子探针微

区分析技术重建刀鲚和短颌鲚生境履历得出靖江段短颌鲚具有洄游的个体。本研究分别对鄱阳湖不同月份、不同采样点的短颌鲚肌间骨形态数目进行研究,目的是从表型遗传分化探究鄱阳湖的短颌鲚种群组成,发现无论是在肌间骨形态数目还是肌间骨总数目,同为 3 月采集的短颌鲚样品肌间骨之间并无明显差异,但是 3 月瓢头和 6 月千眼桥地区的短颌鲚之间都具有显著性差异。王玮欣等<sup>[16]</sup>采用 Cytb 序列鉴定短颌鲚种群遗传分化可能由于地理的隔离,缺少基因的交流,鄱阳湖短颌鲚与洪泽湖短颌鲚之间发生了种群分化。因此,推测千眼桥和瓢头的短颌鲚与其他采样点的短颌鲚也可能是由于来源水域的不同,在肌间骨这一表型发生了分化。李福贵等<sup>[17]</sup>对江西不同地理群体的野生鲫的肌间骨进行研究发现鲫的肌间骨并非呈左右对称分布且不同

群体之间会发生变化,这种肌间骨变化可能与鲤群体所处的栖息地水流有关。因此,短颌鲚之间肌间骨的差异可能是由于来源水域不同引起的猜测较为合理,与月份之间并无联系,推测肌间骨数目相近的短颌鲚原来属于鄱阳湖淡水定居型种群,而瓢头和千眼桥的短颌鲚可能属于其他水域短颌鲚通过洄游迁移到鄱阳湖,由于环境因素的影响,肌间骨数目发生了改变。笔者推测除了环境的影响,可能还有控制肌间骨发育基因的影响,这需要我们在分子方面进一步探索。

### 3.2 肌间骨与洄游的关系

刀鲚是一种洄游型具有经济价值的河口产卵鱼类<sup>[18]</sup>,广泛分布在中国、日本和韩国的河流、沿海和河口水域<sup>[19]</sup>。在性成熟后,成年个体每年在产卵季节从河口上游迁移到淡水地区产卵<sup>[20]</sup>。孵化后,幼虫和幼鱼在淡水栖息地生长大约1年,然后进入咸淡水和海水,在那里继续摄食,直到性成熟<sup>[21]</sup>。杨金权等<sup>[22]</sup>对不同湖泊刀鲚的演化历史进行分析,发现刀鲚具有较高的环境适应能力和进化潜力。在刀鲚进行洄游的过程中,其肌间骨也可能随着其鱼体摆动发生了适应性进化,肌间骨的主要作用是肌节的力量传导<sup>[23]</sup>,在肌肉收缩时限制肌节的变形。鱼类肌间骨数量的多少与鱼类肌肉中的蛋白质含量高低似乎有关,鱼类肌间骨曾被认为可以在鱼类肌肉中传递力量并且辅助大侧肌的运动,鱼类肌肉强度越弱,其肌间骨数量越多,鱼类肌肉中的蛋白质含量较高的鱼类,肌间骨的数量会较少,如鲈形目鱼类<sup>[24]</sup>。肌肉中很少或没有肌间骨,是因为可以靠肌纤维来传导肌肉力量,不需要或者很少借助肌间骨来进行力量传递从而活动<sup>[25]</sup>。本研究对鄱阳湖刀鲚和短颌鲚的肌间骨总数目进行研究,发现鄱阳湖刀鲚肌间骨总数目极显著高于短颌鲚,鱼类的肌间骨之间具有差异性,这可能与鱼类的生态位、生存环境和游泳速度等方面有关,进而表现在肌间骨数量上的差异<sup>[26]</sup>。这提示鄱阳湖刀鲚比短颌鲚经过了更长的洄游路途。而且鄱阳湖刀鲚肌肉的蛋白质含量低于短颌鲚的蛋白质含量,提示在刀鲚进行洄游行为时可能需要更多的肌间骨辅助其大侧肌进行运动。DANOS等<sup>[25]</sup>认为机械力推动了真骨鱼类骨骼的变异和进化。因此我们猜测刀鲚长距离洄游,鱼体进行的机械性摆动会刺激肌间刺的形成。刀鲚的脂肪含量

高于短颌鲚,在进行洄游的过程中,刀鲚需要储存脂肪来进行长距离游泳以供给能量<sup>[27]</sup>,但是定居型的短颌鲚不像由海入江进行生殖洄游的刀鲚一样进行大规模长距离运动,因此脂肪储存可能会低于刀鲚。

### 3.3 肌间骨与环境因素的关系

本研究还比较了各流域采样点的刀鲚肌间骨总数目,我们发现嵊泗刀鲚的肌间骨总数目最高,青草沙地区的肌间骨总数目最低,这两个地点与鄱阳湖各流域点之间也存在极显著差异,因此猜想,可能是环境因素导致了这些地区刀鲚肌间骨数目的差异。通过研究长江靖江段刀鲚和短颌鲚耳石的锶钙比,得出靖江段刀鲚资源群存在生境履历差异,具有不同的生活史背景<sup>[28]</sup>。嵊泗刀鲚在东海捕捞,海中水流的速度比较快,因此刀鲚需要较强的运动能力,青草沙位于长江口,属于一个水流流速较缓的冲积平原,刀鲚的运动频率较小。一般来说湖泊里的刀鲚,如果是嵊泗刀鲚洄游而来的,那么肌间骨数目应该多于嵊泗刀鲚,鄱阳湖刀鲚肌间骨数目极显著高于青草沙刀鲚的肌间骨数目,推测从长江口到鄱阳湖的长距离洄游可能会刺激肌间刺形成;而采集于3月的嵊泗岛刀鲚的肌间骨总数极显著高于夏季鄱阳湖刀鲚,提示我们可能存在不洄游入江的海洋性刀鲚种群。以上这些结果对于理解鄱阳湖刀鲚和短颌鲚洄游群体的来源差异有重要启示,为下一步对鄱阳湖洄游群体的遗传多样性分析奠定基础。

## 4 总结

研究发现,刀鲚和短颌鲚的肌间骨形态一致,分别为“1”形,“卜”形,“Y”形,一端多叉形,两端两分叉形共5种。在对鄱阳湖短颌鲚肌间骨的研究中发现瓢头和千眼桥的短颌鲚可能属于其他水域短颌鲚通过洄游迁移到鄱阳湖;而不同水域的刀鲚则可能是由于环境因素的影响,肌间骨数目发生了改变;鄱阳湖刀鲚的肌间骨数目显著性高于鄱阳湖短颌鲚的肌间骨数目,并且鄱阳湖刀鲚肌肉的蛋白质含量低于短颌鲚,这一实验数据证明了鱼类肌肉蛋白质含量较高时可以少借助肌间骨,而是依靠肌纤维传导力量进行游泳的说法;而鄱阳湖刀鲚脂肪含量高于短颌鲚也暗示了刀鲚在进行洄游需要储存大量脂肪用于能量供给。

## 参考文献:

- [1] 吴金明, 李乐康, 程佩琳, 等. 鄱阳湖刀鲚的鉴定与资源动态研究[J]. 中国水产科学, 2021, 28(6): 743-750.  
WU J M, LI L K, CHENG P L, et al. Species identification and resource dynamics of *Coilia nasus* in the Poyang Lake [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(6): 743-750.
- [2] 姜涛, 刘洪波, 轩中亚, 等. 长江中下游流域刀鲚 (*Coilia nasus*) 生态表型的划分[J]. 湖泊科学, 2020, 32(2): 518-527.  
JIANG T, LIU H B, XUAN Z Y, et al. Classification of ecomorphotypes of *Coilia nasus* from the middle and lower reaches of the Yangtze River Basin [J]. Journal of Lake Sciences, 2020, 32(2): 518-527.
- [3] 郭弘艺, 魏凯, 唐文乔, 等. 基于矢耳石形态特征的中国鲚属鱼类种类识别[J]. 动物分类学报, 2010, 35(1): 127-134.  
GUO H Y, WEI K, TANG W Q, et al. Sibling species discrimination for Chinese genus of *Coilia* fishes based on sagittal otolith morphology [J]. Zoological Systematics, 2010, 35(1): 127-134.
- [4] 胡永斌. 长江口凤鲚和刀鲚年龄结构与生长特征的初步研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.  
HU Y B. A preliminary study on the age structure and growth characteristics of *Coilia mystus* and *Coilia nasus* in the Yangtze River Estuary [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.
- [5] 胡茂林, 吴志强, 刘引兰. 鄱阳湖湖口水域鲚鱼的物种属性及资源现状[J]. 水产科技情报, 2011, 38(5): 223-226.  
HU M L, WU Z Q, LIU Y L. Species attributes and resource status of *Coilia* in the estuarine waters of Poyang Lake [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2011, 38(5): 223-226.
- [6] 张江凡, 齐甜甜, 董传举, 等. 中国不同鲫鱼品系系统发育关系研究进展[J]. 河南水产, 2018(3): 25-27.  
ZHANG J F, QI T T, DONG C J, et al. Development of phylogenetic relationship of different crucian carp (*Carassius auratus*) strains in China [J]. Henan Shuichan, 2018(3): 25-27.
- [7] 秉志. 幼鲤大侧肌隔骨针的观察[J]. 动物学报, 1962, 14(2): 175-179.  
BING Z. On the myoseptal spines of the carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. Current Zoology, 1962, 14(2): 175-179.
- [8] 姚文杰, 龚小玲, 吕耀平, 等. 日本鳗鲡肌间小骨的骨化过程[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(6): 810-813.  
YAO W J, GONG X L, LÜ Y P, et al. The ossification process of the intermuscular bones in *Anguilla japonica* [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(6): 810-813.
- [9] 柯中和, 张炜, 蒋燕, 等. 鲢肌间小骨发育的形态学观察[J]. 动物学杂志, 2008, 43(6): 88-96.  
KE Z H, ZHANG W, JIANG Y, et al. Developmental morphology of the intermuscular bone in *Hypophthalmichthys molitrix* [J]. Chinese Journal of Zoology, 2008, 43(6): 88-96.
- [10] LIU D, LI Y Y, TANG W Q, et al. Population structure of *Coilia nasus* in the Yangtze River revealed by insertion of short interspersed elements [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2014, 54: 103-112.
- [11] YAO W J, LYU Y Q, GONG X L, et al. Different ossification patterns of intermuscular bones in fish with different swimming modes [J]. Biology Open, 2015, 4(12): 1727-1732.
- [12] 董在杰, 黄代中, 李丽娟, 等. 几种常见鲤科养殖鱼类肌间刺的初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(4): 425-429.  
DONG Z J, HUANG D Z, LI L J, et al. Preliminary study on intermuscular bones of several cultured cyprinids [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2006, 15(4): 425-429.
- [13] 吴斌, 甘江英. 鄱阳湖短颌鲚现状分析与深度开发[J]. 科学养鱼, 2013(2): 27.  
WU B, GAN J Y. Analysis of the current situation and deep development of *Coilia nasus* in Poyang Lake, China [J]. Scientific Fish Farming, 2013(2): 27.
- [14] 程万秀, 唐文乔. 长江刀鲚不同生态型间的某些形态差异[J]. 动物学杂志, 2011, 46(5): 33-40.  
CHENG W X, TANG W Q. Some phenotypic varieties between different ecotypes of *Coilia nasus* in Yangtze River [J]. Chinese Journal of Zoology, 2011, 46(5): 33-40.
- [15] 徐钢春, 顾若波, 刘洪波, 等. 长江短颌鲚耳石 Sr/Ca 值变化特征及其江海洄游履历[J]. 水产学报, 2014, 38(7): 939-945.  
XU G C, GU R B, LIU H B, et al. Fluctuation of Sr/Ca in otoliths of *Coilia nasus* in the Yangtze River and the validation for the anadromous migratory history [J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(7): 939-945.
- [16] 王玮欣, 李宇, 朱洪赓, 等. 基于形态和 Cytb 序列的短颌鲚种群遗传分化研究[J]. 水产科学, 2022, 41(6): 949-958.  
WANG W X, LI Y, ZHU H G, et al. Genetic differentiation of shortjaw tapertail anchovy *Coilia brachygnathus* population based on cytb and morphology [J]. Fisheries Science, 2022, 41(6): 949-958.
- [17] 李福贵, 程林慧, 韩雨晴, 等. 江西 3 个地理群体野生鲫肌间骨的比较分析[J]. 江西农业大学学报, 2020, 42(4): 755-765.  
LI F G, CHENG L H, HAN Y Q, et al. Comparative analysis of intermuscular bone in crucian carps (*Carassius auratus*) from three wild geographical populations in Jiangxi province [J]. Acta Agriculturae Universitatis

- Jiangxiensis, 2020, 42(4): 755-765.
- [18] CHEN X, SONG P, XIA J, et al. Evolutionarily conserved *boule* and *dazl* identify germ cells of *Coilia nasus* [J]. *Aquaculture and Fisheries*, 2023, 8(3): 244-251.
- [19] XUAN Z Y, JIANG T, LIU H B, et al. Otolith microchemical evidence revealing multiple spawning site origination of the anadromous tapertail anchovy (*Coilia nasus*) in the Changjiang (Yangtze) River Estuary [J]. *Journal of Oceanography*, 2023, 42(1): 120-130.
- [20] YANG J, ARAI T, LIU, H, et al. Reconstructing habitat use of *Coilia mystus* and *Coilia ectenes* of the Yangtze River estuary, and of *Coilia ectenes* of Taihu Lake, based on otolith strontium and calcium [J]. *Journal of Fish Biology*, 2010, 69(4): 1120-1135.
- [21] KHUMBANYIWA D D. Unraveling habitat use of *Coilia nasus* from Qiantang River of China by otolith microchemistry [J]. *Regional Studies in Marine Science*, 2018, 18: 122-128.
- [22] 杨金权, 胡雪莲, 林弘都, 等. 长江口邻近水域刀鲚的线粒体控制区序列变异与遗传多样性 [J]. *动物学杂志*, 2008, 43(1): 8-15.
- YANG J Q, HU X L, LIN D H, et al. mtDNA control region sequence variation and genetic diversity of *Coilia nasus* in Yangtze River estuary and its adjacent waters [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2008, 43(1): 8-15.
- [23] 陈琳, 田雪, 米佳丽, 等. 黄河鲤肌间骨发育的形态学观察 [J]. *上海海洋大学学报*, 2017, 26(4): 481-489.
- CHEN L, TIAN X, MI J L, et al. Developmental and morphological study of intermuscular bones in *Cyprinus carpio haematopterus* [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, 26(4): 481-489.
- [24] 王良炎, 田雪, 庞小磊, 等. 硬化蛋白基因在淇河鲫成鱼不同肌间骨相邻肌组织的表达差异分析 [J]. *中国生物化学与分子生物学报*, 2016, 32(12): 1354-1359.
- WANG L Y, TIAN X, PANG X L, et al. Differentially expression of *SOST* gene in the muscle tissues located between different intermuscular bones in Qihe crucian carp *Carassius auratus* [J]. *Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 2016, 32(12): 1354-1359.
- [25] DANOS N, STAAB K L. Can mechanical forces be responsible for novel bone development and evolution in fishes? [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2010, 26(2): 156-161.
- [26] 王永梅, 唐文乔. 中国鲤形目鱼类的脊椎骨数及其生态适应性 [J]. *动物学杂志*, 2014, 49(1): 1-12.
- WANG Y M, TANG W Q. The number of vertebrae from Chinese species of the cypriniformes and its ecological adaptation [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2014, 49(1): 1-12.
- [27] 姜涛, 刘洪波, 李孟孟, 等. 溯河洄游长江刀鲚 (*Coilia nasus*) 摄食虾类的调查 [J]. *湖泊科学*, 2018, 30(2): 458-463.
- JIANG T, LIU H B, LI M M, et al. Investigation on shrimp feeding of *Coilia nasus* during its anadromous migration along the Yangtze River [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2018, 30(2): 458-463.
- [28] 陈婷婷, 姜涛, 卢明杰, 等. 基于耳石微化学的长江靖江段刀鲚与短颌鲚生境履历重建 [J]. *湖泊科学*, 2016, 28(1): 149-155.
- CHEN T T, JIANG T, LU M J, et al. Microchemistry analysis of otoliths of *Coilia nasus* and *Coilia brachygnathus* from the Jingjiang section of the Yangtze River [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2016, 28(1): 149-155.

## Comparative analysis of the intermuscular bones of *Coilia nasus* and *Coilia brachygnathus* in different waters

LI Yapei<sup>1</sup>, KONG Chiping<sup>3</sup>, XU Qun<sup>3</sup>, ZHANG Bao<sup>3</sup>, GAO Xiaoping<sup>3</sup>, BAO Baolong<sup>1,2</sup>, LI Lekang<sup>3</sup>, GONG Xiaoling<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Aquatic Germplasm Resources Discovery and Utilization, Ministry of Education, Shanghai Ocean University Shanghai 201306, China; 2. National Experimental Teaching Demonstration Center of Fisheries Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Jiujiang Academy of Agricultural Sciences, Jiujiang 332000, Jiangxi, China)

**Abstract:** The intermuscular bones of fish are closely related to their locomotion; the more athletic the fish is, the greater the number of intermuscular bones and the relatively higher the muscle fat content. In order to investigate whether *C. brachygnathus* exists migratory ecological taxa in Poyang Lake, samples of *C. brachygnathus* were collected from different sampling sites of Poyang Lake, such as Qianyanqiao. In addition, samples of *C. nasus* from Zhoushan Shengsi and Qingcaosha Reservoir at the mouth of the Yangtze River were collected in order to investigate the effect of migration on the formation of intermuscular bones of *C. nasus*. The morphology, number and muscle protein and fat content of medullary arch ossicles and pulse arch ossicles were compared by anatomical method and conventional measurement method. The results showed that: (1) The number of intermuscular bones of *C. brachygnathus* was the least in the Poyang Lake which was  $100.67 \pm 6.34$ ; The number of intermuscular bones in Qianyanqiao was the largest which was  $127.67 \pm 6.18$ . (2) The intermuscular bone number of *C. nasus* in Poyang Lake was  $129.60 \pm 0.98$  which was significantly higher than *C. brachygnathus* of  $110.60 \pm 2.97$ . (3) The number of Poyanghu intermuscular bones of the same species was significantly higher than that of  $113.67 \pm 3.29$  intermuscular bones of the Qingcaosha but lower than that of  $147.67 \pm 3.09$  intermuscular bones of Shengsi; (4) The protein content of muscle in the *C. nasus* in Poyang Lake was lower than that of the *C. brachygnathus*, and the fat content was higher than that of the *C. brachygnathus*. Suggesting that the *C. nasus* need to oscillate more in order to fulfil the needs of long-distance migration and to stimulate more intermuscular spine formation. These results are important for the understanding of the difference in the origin of the migratory populations of *C. nasus* and *C. brachygnathus* in Poyang Lake, and lay the foundation for the further research on the biology of the migratory populations in Poyang Lake.

**Key words:** *Coilia nasus*; *Coilia brachygnathus*; intermuscular bones; migration; Poyang Lake