

文章编号: 1674 - 5566(2016)01 - 0044 - 07

## 几种鲚属鱼类全鱼的元素含量特征研究

赖 靖, 赵良杰, 刘其根

(上海海洋大学 农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306)

**摘 要:** 以刀鲚(*Coilia ectenes*)、湖鲚(*C. ectenes taihuensis*)、凤鲚(*C. mystus*)和七丝鲚(*C. grayii*)为研究对象, 对其进行元素含量特征研究。利用电感耦合等离子光谱仪(ICP-OES)测定了 23 种元素(Al、B、Cd、Co、Ca、Cr、Cu、Fe、K、Li、Mg、Mn、Mo、Na、Ni、P、Pb、S、Se、Sn、Sr、Ti 和 Zn)的含量, 其中 10 种元素(B、Cd、Co、Cr、Li、Mo、Pb、Se、Sn 和 Ti)低于检出限未被检出。针对不同种类的鲚鱼全鱼所测得的元素进行多元统计分析, 结果表明 4 组样品元素含量差异显著; 主成分分析结果显示不同组的鲚鱼样品可较好地被区分, 聚类分析印证了这一结论, 逐步判别分析显示对全部 30 尾个体判别正确率为 100%。元素含量特征分析结果显示, 鲚属鱼类不同物种可以有效被区分。

**关键词:** 刀鲚; 湖鲚; 凤鲚; 七丝鲚; 元素含量; 多元统计分析

**中图分类号:** S 912      **文献标志码:** A

鲚属鱼类(genus *Coilia*, Gray 1831), 隶属鲱形目(Clupeiformes), 鲚科(Engraulidae)。目前在中国有 4 种, 即刀鲚(*C. ectenes*)、凤鲚(*C. mystus*)、七丝鲚(*C. grayii*)和发光鲚(*C. dussumieri*)<sup>[1]</sup>。袁传忠等<sup>[2]</sup>将定居在太湖的湖鲚视为刀鲚的一个亚种, 命名为 *Coilia ectenes taihuensis*。刀鲚在每年的 2 月到 6 月从近海进入长江, 进行生殖洄游, 并形成渔汛, 是长江春季捕捞中的一种重要的经济鱼类。近年来由于大规模捕捞和水域污染, 鲚属鱼类尤其是刀鲚的产量逐年下降, 价格日趋上升<sup>[3]</sup>, 利用其他鲚属鱼类假冒刀鲚进行销售的情况也时有发生。

目前, 对鲚的研究主要集中在形态分类、生态习性、遗传多样性和资源评估上, 近年来, 一些新的研究方法, 如形态测量系统(如框架系统)<sup>[4-6]</sup>、分子标记<sup>[7-10]</sup>等技术也有报道。程起群等<sup>[4]</sup>测量了刀鲚和湖鲚形态特征的传统可量形状和框架参数, 利用挑选后的 9 项参数做判别分析, 综合判别率为 97.5%。郭弘艺等<sup>[11]</sup>通过分析七丝鲚、凤鲚、刀鲚和短颌鲚的矢耳石的 32 个形态特征, 逐步判别显示平均正判率为

95.6%。

元素含量特征研究, 被称为“元素指纹图谱技术(Elemental fingerprint)”, 该技术多用于农产品原产地判定<sup>[12]</sup>。在对鲚属鱼类的元素研究进展中, 王桂学等<sup>[13]</sup>对长江下游凤鲚、湖鲚和刀鲚卵巢矿物元素组成及含量进行了测定分析, 窦硕增等<sup>[14]</sup>研究了 5 个刀鲚群体的耳石核区元素指纹, 但对刀鲚、湖鲚、凤鲚和七丝鲚 4 种鲚鱼元素含量及其差异的研究尚未见报道。本研究通过分析比较四种鲚属鱼类的元素含量及其特征, 一方面希望明确鲚鱼体内元素含量的特征, 另一方面旨在通过该技术, 尝试提供一种较简便的、且能反映出鱼类随环境相互作用的方法。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验材料

实验用活鱼于 2013 年 3 月 - 2014 年 6 月采自江苏靖江、江苏太湖、浙江舟山大洋山、广东汕头。样本采集后当即于 -20 ℃ 冷冻保存直至样品分析。所采集样本的详细情况见表 1。

收稿日期: 2015-01-09      修回日期: 2015-07-20

基金项目: 上海市高校知识服务平台项目(ZF1206)

作者简介: 赖 靖(1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为鱼类生态学。E-mail: laijing89@126.com

通信作者: 刘其根, E-mail: qgliu@shou.edu.cn

表 1 几种鲚属鱼类的样品采集信息

Tab.1 The information of samples examined in this study ( $\bar{x} \pm SD$ )

种名 species	采集地 sampling site	采集时间 sampling date	样本数 N	雌雄比例 ♀:♂	体长/mm body length	体质量/g body weight
刀鲚 <i>C. ectenes</i>	靖江 Jingjiang	2013.03	5	4:1	31.6 ± 2.76	144.90 ± 46.84
湖鲚 <i>taihuensis</i>	太湖 Taihu Lake	2013.06	4	4:0	12.86 ± 3.12	18.12 ± 4.12
凤鲚 <i>C. mystus</i>	舟山 Zhoushan	2014.05	11	9:2	16.99 ± 1.16	21.34 ± 5.68
七丝鲚 <i>C. grayii</i>	汕头 Shantou	2014.06	10	6:4	16.44 ± 1.58	18.62 ± 6.52

## 1.2 实验方法

将样品解冻后,擦干体表水分,称重(精确到 0.1 g)并测量体长(精确到 0.1 cm)。去除体表所有鳞片(减小鲚属鱼类鳞片脱落所导致的误差),然后将样品洗净,解剖并去除内脏。解剖发现,4 组样品个体精卵巢均已发育到 IV 或 V 期,这表明样本均处于繁殖前,不会因为繁殖对实验数据产生误差。再用超纯水清洗 6 遍,切成小块,冷冻干燥至恒重(24 h)。最后将全鱼用组织研磨机研磨成粉末状并充分混匀,置于干燥器中 -20 °C 保存待用。

准确称取 0.500 ± 0.005 g 干样置于 50 mL 洁净烧杯中,加入 10 mL 硝酸(优级纯,德国 Merck 公司),因为样本中脂类含量较高,为彻底消解,再加入 2 mL 高氯酸,静置一夜后用电热板进行消解,然后用超纯水定容至 100 mL 待测。用热电 iCAP6300 型电感耦合等离子体发射光谱仪测定 23 种元素的含量,包括 Al、B、Cd、Co、Ca、Cr、Cu、Fe、K、Li、Mg、Mn、Mo、Na、Ni、P、Pb、S、Se、Sn、Sr、Ti 和 Zn。

## 1.3 数据统计与分析

采用 SPSS 19.0 统计分析软件(美国 Statistical Product and Service Solutions 公司),对实验鱼样品元素含量数据进行分析,先采用单因素方差分析比较 4 组样本间的元素含量差异,再利用主成分分析、聚类分析和判别分析多元统计法进行总体的差异性特征研究。本研究中所有的元素含量数据均以干重的形式表示。

## 2 结果和分析

### 2.1 鲚属鱼类样品中矿物元素含量的差异分析

由于 B、Cd、Co、Cr、Li、Mo、Pb、Se、Sn 和 Ti 等 10 种元素在 2/3 样品中的含量均低于检测限,因此将不在下文中进行讨论。而剩下的另外 13 种元素的含量均高于仪器检测限,属有效数据。

样品中元素含量的平均值和标准偏差分别如表 2 所示。对 4 种繁殖季节的鲚属鱼类样品中元素含量进行方差分析,结果显示 4 组鲚鱼的样本间 Ca、K、Mg、Mn、P 和 S 含量存在极显著差异 ( $P < 0.01$ ),其中,刀鲚的 Ca、Mg、Mn、P、S 元素极显著低于其他 3 组,湖鲚的 K 元素极显著地高于其他 3 组,七丝鲚的 S 元素极显著地高于其他 3 组;Al、Cu、Fe、Na、Ni、Sr 和 Zn 含量存在显著差异 ( $P < 0.05$ ),其中,凤鲚组的 Al 和 Fe 元素含量极显著地高于其他样本组,凤鲚与七丝鲚的 Na 元素无显著差异,但刀鲚组的 Na 元素含量极显著低于其他 3 组。

### 2.2 主成分分析

对 4 组样品进行主成分分析,结果表明前三个主成分累计方差贡献率为 86.245%,其中第一、第二、第三主成分贡献率分别为 51.167%、23.559% 和 11.520%。第一、第二主成分占了较大的比重,所以利用第一、第二主成分的因子得分做图(图 1)。在主成分的特征向量中,第一主成分主要综合了鲚鱼样品中 Ca、P、Zn、Mg、K、Mn 和 S 元素含量信息,第二主成分主要综合了样品中 Cu、Ni 和 Sr 元素含量信息,第三主成分主要综合了样品中 Fe、Al 和 Na 元素含量信息。从图 1 可以看出,不同组的鲚鱼样品可较好地被区分。图中样品的分布区域与元素含量差异分析的规律一致。刀鲚群体样本中的 Ca、Fe、K、Mg、Mn、Na、Ni、P、S、Sr 和 Zn 元素平均含量最低,显著低于其他 3 组,这些元素主要综合在第一主成分信息中,故第一主成分得分较低,位于图中左侧区域。湖鲚群体样本中的 Cu、K、Mn 和 Ni 元素平均含量最高,显著高于其他 3 组,这些元素主要综合在第二主成分信息中,故第 2 主成分得分较高,位于图中上方区域。可见,主成分分析可以把样品中多种元素的含量信息通过综合的方式更直观地表现出来。

表2 鲚属鱼类样本元素含量  
Tab.2 The element concentrations ( $\bar{X} \pm SD$ ; mg/kg) of genus *Coilia* samples

元素 element	刀鲚 <i>C. ectenes</i>	湖鲚 <i>C. ectenes taihuensis</i>	凤鲚 <i>C. mystus</i>	七丝鲚 <i>C. grayii</i>
Al	43.33 ± 14.36 <sup>ab</sup>	29.00 ± 12.19 <sup>a</sup>	114.50 ± 12.18 <sup>e*</sup>	49.40 ± 8.38 <sup>b</sup>
Ca	12342.50 ± 1150.23 <sup>a*</sup>	34267.50 ± 2331.59 <sup>b*</sup>	22491.11 ± 951.77 <sup>e*</sup>	36700.00 ± 818.86 <sup>d*</sup>
Cu	13.17 ± 1.83 <sup>a</sup>	28.75 ± 8.99 <sup>a</sup>	3.67 ± 0.78 <sup>b</sup>	2.89 ± 0.78 <sup>b</sup>
Fe	40.80 ± 8.93 <sup>a</sup>	101.25 ± 34.03 <sup>b</sup>	152.00 ± 32.47 <sup>e*</sup>	91.44 ± 25.00 <sup>b</sup>
K	5218.33 ± 221.85 <sup>a*</sup>	11242.50 ± 195.17 <sup>b*</sup>	6986.88 ± 507.37 <sup>e*</sup>	9992.00 ± 447.05 <sup>d*</sup>
Mg	542.50 ± 29.44 <sup>a*</sup>	1371.50 ± 48.99 <sup>b*</sup>	1207.82 ± 120.36 <sup>e*</sup>	1523.78 ± 55.39 <sup>d*</sup>
Mn	3.83 ± 0.75 <sup>a*</sup>	15.00 ± 2.94 <sup>b*</sup>	8.83 ± 1.19 <sup>c*</sup>	11.11 ± 1.17 <sup>d*</sup>
Na	1293.33 ± 72.67 <sup>a*</sup>	2567.75 ± 128.68 <sup>b*</sup>	3788.57 ± 363.57 <sup>c</sup>	3807.75 ± 377.42 <sup>c</sup>
Ni	1.83 ± 0.98 <sup>a</sup>	7.00 ± 1.00 <sup>b*</sup>	3.25 ± 1.14 <sup>a</sup>	2.67 ± 0.87 <sup>a</sup>
P	8427.00 ± 422.40 <sup>a*</sup>	21920.00 ± 1306.93 <sup>b*</sup>	16287.14 ± 495.37 <sup>e*</sup>	26146.00 ± 821.94 <sup>d*</sup>
S	3996.50 ± 371.61 <sup>a*</sup>	9195.00 ± 456.47 <sup>b*</sup>	7716.86 ± 195.34 <sup>e*</sup>	10543.75 ± 544.98 <sup>d*</sup>
Sr	38.00 ± 1.83 <sup>a</sup>	40.50 ± 3.42 <sup>a</sup>	106.00 ± 18.19 <sup>b</sup>	121.86 ± 5.37 <sup>b*</sup>
Zn	24.25 ± 2.06 <sup>a*</sup>	81.75 ± 8.77 <sup>b*</sup>	58.55 ± 7.95 <sup>c</sup>	85.83 ± 4.45 <sup>b</sup>

注:表格中同行肩标不同上标字母的表示差异显著( $P < 0.05$ ), \*表示差异极显著( $P < 0.01$ )。  
Note: In the same row, different small letter superscripts donate significant difference ( $P < 0.05$ ), \* donates extremely significant difference ( $P < 0.01$ ).

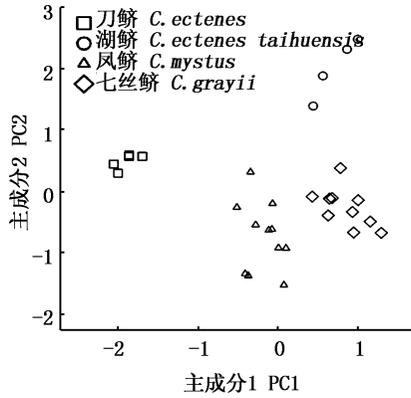


图1 鲚鱼样品元素含量前2个主成分得分图  
Fig.1 Scatter plot of the first 2 PC scores of element contents in genus *Coilia* samples

2.3 聚类分析

对4组样品13种元素用最远邻距离方法进行系统聚类分析,结果如图2所示,和主成分分析结果相同,4组样本清晰地归为4类。从图中可以看出,在第一步刀鲚和凤鲚首先被选取,区分于湖鲚和七丝鲚,第二步刀鲚区分于凤鲚,湖鲚区分于七丝鲚。

2.4 逐步判别分析

由不同种类样品各元素含量的方差分析、主成分分析、聚类分析结果可知,利用元素指纹分析技术判别鲚鱼种类是可行的。为了进一步了解各元素含量指标对鲚鱼种类的判别结果,对有组间显著差异的元素进行逐步判别分析,筛选出对判别有效的变量,剔除不必要的干扰变量,建立判别模型,最终筛选出4个变量即Ca、Cu、Mg

使用完整联接的树状图 Dendrogram using complete linkage  
重新调整距离聚类合并 Rescaled distance cluster combination

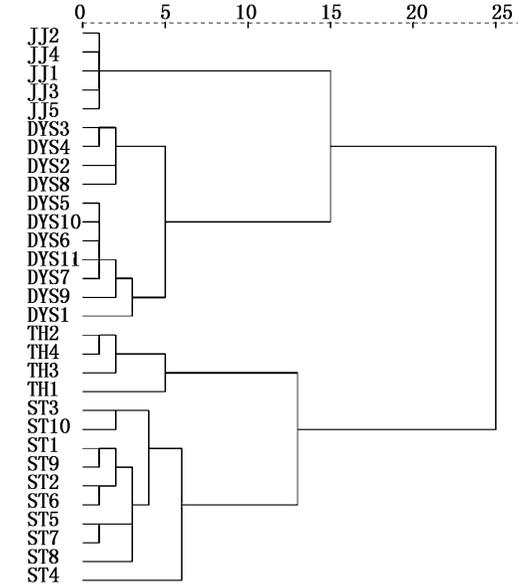


图2 鲚鱼样品元素含量的聚类树状图  
Fig.2 HCA dendrogram of element contents in genus *Coilia* samples

JJ.靖江刀鲚;DYS.舟山大洋山凤鲚;TH.太湖湖鲚;ST.汕头七丝鲚。  
JJ. *C. ectenes* samples from Jingjiang; DYS. *C. mystus* samples from Dayangshan in Zhoushan; TH. *C. ectenes taihuensis* samples from Taihui Lake; ST. *C. grayii* samples from Shantou.

和Sr。所建立判别的判别模型为:

$$\text{刀鲚} (C. \textit{ectenes}) : F_1 = 0.001Ca + 1.399Cu + 0.074Mg - 0.131Sr - 34.563$$

$$\text{湖鲚} (C. \textit{ectenes taihuensis}) : F_2 = 0.004Ca + 3.272Cu + 0.180Mg - 0.674Sr - 223.549$$

$$\text{凤鲚} (C. \textit{mystus}) : F_3 = 0.001Ca + 0.656Cu + 0.133Mg + 0.057Sr - 90.204$$

$$\text{七丝鲚} (C. \textit{grayii}) : F_4 = 0.003Ca + 0.845Cu$$

+0.161Mg - 0.107Sr - 174.685

利用所建立的判别函数对每尾标本进行种类识别(表3),发现在全部30尾个体中,判别成功率为100%,交互验证法判断的结果与判别结果完全吻合,判别正确率100%。从相应的典型判别分析散点图可看到(图3),刀鲚样本集中在

函数1的负值、函数2的正值区域,湖鲚样本集中在函数1、2的正值区域,凤鲚样本主要集中在函数1、2的负值区域,七丝鲚样本集中在函数1的正值、函数2的负值区域,4组样本分布区域明显分离。

表3 鲚鱼样本逐步判别结果  
Tab.3 Results of discriminant analysis of genus *Coilia* samples

验证方式 method	鉴定物种或种群 origin groups	预测分类 predicted group				判别准确率/% accuracy rate
		刀鲚 <i>C. ectenes</i>	湖鲚 <i>C. ectenes taihuensis</i>	凤鲚 <i>C. mystus</i>	七丝鲚 <i>C. grayii</i>	
自身验证 original verification	刀鲚 <i>C. ectenes</i>	5	0	0	0	100
	湖鲚 <i>C. ectenes taihuensis</i>	0	4	0	0	100
	凤鲚 <i>C. mystus</i>	0	0	11	0	100
	七丝鲚 <i>C. grayii</i>	0	0	0	10	100
交叉验证 cross verification	刀鲚 <i>C. ectenes</i>	5	0	0	0	100
	湖鲚 <i>C. ectenes taihuensis</i>	0	4	0	0	100
	凤鲚 <i>C. mystus</i>	0	0	11	0	100
	七丝鲚 <i>C. grayii</i>	0	0	0	10	100

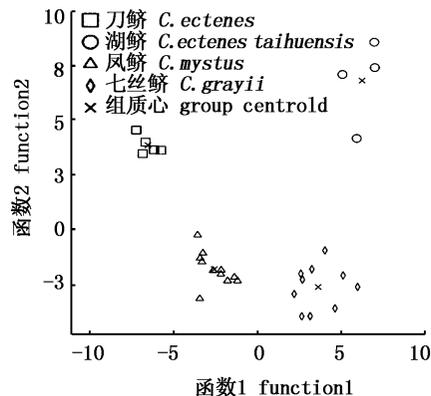


图3 鲚鱼样品元素含量判别分析散点图  
Fig.3 Canonical plot scores from discriminant analysis of the element contents in genus *Coilia* samples

### 3 讨论

#### 3.1 不同种类鲚鱼样本元素含量总体特征

本研究中刀鲚和湖鲚样本宏量元素含量顺序均为:Ca > P > K > S > Na > Mg, 凤鲚和七丝鲚样本宏量元素含量顺序均为:Ca > P > S > K > Na > Mg, 而王丹婷<sup>[15]</sup>对吕泗渔场、大沙渔场、崇明岛、长江芜湖江段的4个刀鲚样本和太湖宜兴滩的1个湖鲚样本肌肉元素进行测定,结果显示在所有样本中Fe、Mn、Cr、Co、Ni、Cu、Ag、Cd、Pb等元素均未检出,K元素在5个水域刀鲚样本肌肉组织中积累最多,其元素的含量顺序为K > Na >

Mg > Ca > Zn > Sr > As > Al > Ba > Mo,产生差异的原因可能主要是因为所测样品构成不同,本研究中测定对象为全鱼粉碎干样(既包括肌肉,也包括骨骼等组织),而文献中仅取肌肉进行测定。MAETINEZ-VALVERDE等<sup>[16]</sup>测定了西班牙3种地中海鱼类鱼骨中的元素含量,结果显示3组样本中均含有大量的Ca和P,且组间差异显著,并且在所有样本中均检出Fe、Zn、Cu、Na和K。可见,鱼骨中元素含量也能反映出样本特征,因此对全鱼样品元素进行测量是可行的。样本中重金属Cd、Cr、Pb未检出,说明样本没有受到重金属污染,结果表明,本实验所研究的鲚鱼作为食品是安全的。

在主成分分析中,第一特征向量方差贡献率高达51.167%,通过主成分的特征向量得知其主要综合了鲚鱼样品中7种元素含量信息,结合表2可知,除Mn外,其余6种元素在鲚鱼样本间均处于极显著水平,表明在本研究中主成分分析在一定程度上检验了单因素方差分析的准确性。在聚类分析中,树形图直观反映了整个聚类结果,从图2中明显看到每个样品从单独一类逐次合并,一直到全部合并成一大类,期间没有出现交叉混合情况,说明本研究中的4种鲚鱼元素含量特征差异明显。其中,刀鲚组和凤鲚组距离较近,这可能与这两种鱼的育肥环境相似有关。凤鲚为河口型中小型鱼类,平时栖息于沿海,食物

主要是浮游动物,以甲壳类为主;刀鲚生长和育肥阶段也在沿海,以桡足类、枝角类、轮虫等浮游动物为主要食物,偶尔摄食小型鱼幼鱼<sup>[1]</sup>。对于水产品来说,其体内各种元素的组成反映了其生活湖泊水中的元素组成情况,同时与其对元素的生物利用及营养需求有关<sup>[17]</sup>。本实验中的洄游型刀鲚采于江苏靖江,处于刚入长江阶段,凤鲚采自长江入海口和钱塘江入海口交汇处,此前它们的生活环境大致相同,摄取食物种类相近。

### 3.2 元素含量特征在鲚属种间的识别效果

逐步判别分析最终筛选出4个变量:Ca、Cu、Mg和Sr,有意思的是,这些元素常被用为耳石的研究对象,其中Ca和Sr元素受到较多的关注。窦硕增等<sup>[14]</sup>研究发现刀鲚群体耳石核区Sr:Ca和Ba:Ca是有效识别各地理群体的元素指纹,RANDY等<sup>[18]</sup>研究了28种淡水鱼类、21种洄游性鱼类和32种海洋鱼类的耳石Sr:Ca,结果表明,淡水鱼比值较低,洄游性鱼类比值较高,海洋鱼类有更高的Sr:Ca,这和本实验研究结果相似。逐步判别分析筛选出的元素和耳石研究报告所关注的元素类似,这说明不论以何种组织作为研究对象,Ca和Sr元素的含量和比值都是鲚属鱼类研究中的重要参数,这也从一定程度上印证了本实验结果的可靠性。

此外,组间的元素含量差异也反映了不同种鲚属鱼类的生物学特性和环境对其的影响。本研究中刀鲚组元素含量除Al和Cu外,均低于其他3组,其中,Ca、K、Mg、Mn、Na、P、S和Zn极显著低于其他3组,这可能和刀鲚生殖习性相关。刘凯等<sup>[19]</sup>研究表明刀鲚能量密度显著高于凤鲚和湖鲚,而且洄游所需的能量贮备更侧重于脂肪的积累。脂肪含量的增加会降低除合成脂肪的主要元素外其他元素在体内含量的相对比例,所以这可能是刀鲚各元素含量均较低的主要原因。不同水域微量元素含量差异较大,淡水中Fe和Mn的含量均显著高于海水,Cu的含量略高于海水,Zn含量则显著小于海水<sup>[20]</sup>。所以,相对而言,锌在凤鲚、七丝鲚体内应更易于富集,铜和锰则在湖鲚体内更易于富集。本研究中湖鲚组Cu、K、Mn和Ni均显著高于其他3组,Zn含量也在较高水平,这可能和太湖水质有关。太湖自1980s起富营养化日趋严重,浮游生物食性鱼类的饵料基础也随之改变<sup>[21]</sup>。湖鲚是浮游生物食性鱼类,

其食物种类随着个体大小不同有一定差异,1龄以下个体主食浮游动物和藻类<sup>[22]</sup>,苏彦平等<sup>[23]</sup>研究发现太湖藻华样品中K含量高达 $(6\ 262 \pm 1\ 856)$ mg/kg,Mn含量为 $(31.41 \pm 25.91)$ mg/kg,Zn含量为 $(23.72 \pm 2.03)$ mg/kg,Ni含量为 $(17.56 \pm 1.34)$ mg/kg,所以食物和环境可能对湖鲚元素含量产生了一定的影响。凤鲚中Fe含量极显著高于其他3组,这表明凤鲚对Fe的富集能力高于刀鲚和湖鲚,这和刘凯等<sup>[19]</sup>研究结果一致,而Al含量显著高于其他3组,这可能和长江入海口悬沙中铝含量相对较高有关<sup>[24]</sup>。七丝鲚组P和S极显著高于其他3组,这可能和七丝鲚生活在较温暖海域有关。环境温度和生长速率呈正相关性,即在一定范围内温度越高,生长速率越快<sup>[25]</sup>。生物体P含量的变化受有机体rRNA中P含量变化的影响<sup>[26]</sup>,因为核糖体需要快速地合成蛋白质以支持快速生长。同样地,S是构成氨基酸的重要组成部分。七丝鲚和湖鲚的Ca含量高于其他两组,这可能和其个体相对较小有关。较小的个体会导致骨骼占全鱼比重增加,而骨骼中Ca等元素含量相比肌肉中含量较高<sup>[27]</sup>。凤鲚和七丝鲚Na含量高于其他两组,这可能和在海水中Na含量比淡水中高有关。

### 参考文献:

- [1] 张世义. 中国动物志: 硬骨鱼纲. 鲟形目, 海鲢目, 鲱形目, 鼠鲱目[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 148-156.  
ZHANG S Y. *Fauna Sinica Osteichthyes: Acipenseriformes, Elopiformes, Clupeiformes, Gonorhynchiformes* [M]. Beijing: Science Press, 2001: 148-156.
- [2] 袁传宓, 秦安, 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.
- [3] 陈卫境, 顾树信. 长江靖江段刀鲚资源调查报告[J]. 水产养殖, 2012, 33(7): 10-12.  
CHEN W J, GU S X. The Yangtze River in Jingjiang section of *Coilia nasus* resources investigation report[J]. *Journal of Aquaculture*, 2012, 33(7): 10-12.
- [4] 程起群, 李思发. 刀鲚和湖鲚种群的形态判别[J]. 海洋科学, 2004, 28(11): 39-43.  
CHENG Q Q, LI S F. Morphological discrimination between two populations of *Coilia ectenes* [J]. *Marine Sciences*, 2004, 28(11): 39-43.

- [5] 程起群, 韩金娣. 鲚属两种群的形态变异及综合判别[J]. 湖泊科学, 2004, 16(4): 356-364.  
CHENG Q Q, HAN J D. Morphological variations and discriminant analysis of two populations of *Coilia ectenes*[J]. Journal of Lake Sciences, 2004, 16(4): 356-364.
- [6] 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.
- [7] 刘文斌. 中国鲚属4种鱼的生化和形态比较及其系统发育的研究[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(5): 558-564.  
LIU W B. Biochemical and morphological comparison and interspecific relationships of four species of the genus *Coilia* in China[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1995, 26(5): 558-564.
- [8] 程起群, 温俊娥, 王云龙, 等. 刀鲚与湖鲚线粒体细胞色素 b 基因片段多态性及遗传关系[J]. 湖泊科学, 2006, 18(4): 425-430.  
CHENG Q Q, WEN J E, WANG Y L, et al. Genetic diversity and genetic differentiation between *Coilia ectenes* and *Coilia ectenes taihuensis* inferred from cytochrome b gene segment sequence of mitochondrial DNA[J]. Journal of Lake Sciences, 2006, 18(4): 425-430.
- [9] 唐文乔, 胡雪莲, 杨金权. 从线粒体控制区全序列变异看短颌鲚和湖鲚的物种有效性[J]. 生物多样性, 2007, 15(3): 224-231.  
TANG W Q, HU X L, YANG J Q. Species validities of *Coilia brachygnathus* and *C. nasus taihuensis* based on sequence variations of complete mtDNA control region[J]. Biodiversity Science, 2007, 15(3): 224-231.
- [10] 陈芳. 刀鲚和凤鲚遗传多样性的微卫星分析[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.  
CHEN F. Genetic Diversity of *Coilia ectenes* and *Coilia mystus* Revealed by Microsatellite Markers[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012.
- [11] 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]. Acta Zootaxonomica Sinica, 2010, 35(1): 127-134.
- [12] 叶珊珊, 杨健, 刘洪波. 农产品原产地判定的元素"指纹"分析进展[J]. 中国农业科技导报, 2009, 11(4): 34-40.  
YE S S, YANG J, LIU H B. Progress in elemental fingerprint analysis to identify the origin of agricultural products[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2009, 11(4): 34-40.
- [13] 王桂学, 刘凯, 徐东坡, 等. 凤鲚, 湖鲚和刀鲚卵巢氨基酸, 脂肪酸及矿物元素分析[J]. 广东海洋大学学报, 2009, 29(3): 86-89.  
WANG G X, LIU K, XU D P, et al. A comparative study on the contents of amino acid, fatty acid and mineral elements in the ovaries of *Coilia mystus*, *Coilia ectenes taihuensis* and *Coilia ectenes*[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2009, 29(3): 86-89.
- [14] 窦硕增, 天野洋典, 于鑫, 等. 基于多测点 LA-ICPMS 的耳石核区元素指纹分析技术及其在鱼类群体识别中的实证研究[J]. 海洋与湖沼, 2012, 42(6): 771-778.  
DOU S Z, AMANO H, YU X, et al. Multiple laser ablations on otolith nuclei for icpms to elementally fingerprint fish stocks: a case study[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 42(6): 771-778.
- [15] 王丹婷, 杨健, 姜涛, 等. 不同水域刀鲚形态的分析比较[J]. 水产学报, 2012, 36(1): 78-90.  
WANG D T, YANG J, JIANG T, et al. A comparative study of the morphology of different geographical populations of *Coilia nasus*[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(1): 78-90.
- [16] MARTÍNEZ-VALVERDE I, PERIAGO M J, SANTAELLA M, et al. The content and nutritional significance of minerals on fish flesh in the presence and absence of bone[J]. Food Chemistry, 2000, 71(4): 503-509.
- [17] 杨文斌, 苏彦平, 刘洪波, 等. 长江水系3个湖泊中华绒蟹形态及元素"指纹"特征[J]. 中国水产科学, 2012, 19(1): 84-93.  
YANG W B, SU Y P, LIU H B, et al. A comparative study of morphological characteristics and elemental fingerprints of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* from three lakes[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(1): 84-93.
- [18] BROWN R J, SEVERIN K P. Otolith chemistry analyses indicate that water Sr: Ca is the primary factor influencing otolith Sr: Ca for freshwater and diadromous fish but not for marine fish[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2009, 66(10): 1790-1808.
- [19] 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 Rive [J]. Chinese Journal of Zoology, 2009, 44(4): 118-124.
- [20] 雷志洪, 徐小清, 惠嘉玉, 等. 鱼体微量元素的生态化学特征研究[J]. 水生生物学报, 1994, 18(4): 309-315.  
LEI Z H, XU X Q, HUI J Y, et al. Studies on the characteristics of ecological chemistry of microelements in fish [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1994, 18(4): 309-315.
- [21] 刘恩生, 刘正文, 鲍传和, 等. 太湖鲚鱼和鲢、鳙鱼的食物组成及相互影响分析[J]. 湖泊科学, 2007, 19(4): 451-456.

- LIU E S, LIU Z W, BAO C H, et al. Food content and the mutual effects between *hypophthalmichthys molitrix* (Cuvier et Valenciennes) and *Aristichthys nobilos* (Richardson) and *Coilia ectenes taihuensis* Yen et Lin in Lake Taihu [J]. Journal of Lake Sciences, 2007, 19(4): 451–456.
- [22] 毛志刚, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等. 太湖渔业资源现状(2009–2010年)及与水体富营养化关系浅析[J]. 湖泊科学, 2011, 23(6): 967–973.
- MAO Z G, GU X H, ZENG Q F, et al. Status and changes of fishery resources (2009–2010) in Lake Taihu and their responses to water eutrophication [J]. Journal of Lake Sciences, 2011, 23(6): 967–973.
- [23] 苏彦平, 杨健, 陈修报, 等. 太湖水华蓝藻中元素的组成及其环境意义[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(6): 558–563.
- SU Y P, YANG J, CHEN X B, et al. Study on element bioaccumulation in cyanobacteria in the Taihu Lake and its environmental significance[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2010, 26(6): 558–563.
- [24] 刘启贞, 李九发, 戴志军, 等. 长江口颗粒态金属污染物时空分布规律分析[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(3): 251–256.
- LIU Q Z, LI J F, DAI Z J, et al. Spatial and temporal distribution of particulate metal pollutants in Changjiang Estuary[J]. Marine Environmental Science, 2009, 28(3): 251–256.
- [25] AUSTRENG E, STOREBAKKEN T, ÅSGÅRD T. Growth rate estimates for cultured Atlantic salmon and rainbow trout [J]. Aquaculture, 1987, 60(2): 157–160.
- [26] ELSER J J, DOBBERFUHL D R, MACKAY N A, et al. Organism size, life history, and N: P stoichiometry [J]. BioScience, 1996, 46(9): 674–684.
- [27] TOPPE J, ALBREKTSEN S, HOPE B, et al. Chemical composition, mineral content and amino acid and lipid profiles in bones from various fish species [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 2007, 146(3): 395–401.

## A comparative study on whole-body elemental concentrations of *Coilia ectenes*, *Coilia ectenes taihuensis*, *Coilia mystus* and *Coilia grayii*

LAI Jing, ZHAO Liangjie, LIU Qigen

(Key Laboratory of Freshwater Fishery Germplasm Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Elemental concentrations were compared in *Coilia ectenes*, *C. ectenes taihuensis*, *C. mystus* and *C. grayii*. An Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES, iCAP6300) was used to measure the concentrations of 23 chemical elements (Al, B, Cd, Co, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Se, Sn, Sr, Ti and Zn). The concentrations of 10 chemical elements (B, Cd, Co, Cr, Li, Mo, Pb, Se, Sn and Ti) were below the detection limit. All samples were analyzed by One-Way ANOVA analysis, principal components analysis (PCA), hierarchical cluster analysis (HCA) and linear discriminant analysis (LDA). Results indicated that significant difference was observed among the elements concentrations of four groups. The groups of fish could be distinguished by both PCA and HCA. Discriminant function analysis allowed correct classification rate of 100% for all 30 individuals. The analysis results of elemental concentrations features indicated that the species of genus *Coilia* could be distinguished effectively.

**Key words:** *Coilia ectenes*; *Coilia ectenes taihuensis*; *Coilia mystus*; *Coilia grayii*; elemental concentrations; multivariate statistical analysis