

# 铜鱼鱼体的化学组成及能量密度\*

王倩倩, 罗毅平

(西南大学 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘要: 于2007年9月在长江木洞江段采集铜鱼31尾, 体长( $L$ )范围为9.2~32.0 cm, 体质量( $W$ )范围为11.3~504.0 g, 分为4个体长组, 分别测定了鱼体化学组成, 估算了能量密度。结果表明, 铜鱼灰分含量( $ASH$ )、蛋白质含量( $PRO$ )、脂肪含量( $FAT$ )和含水量( $WAT$ )以其占体质量的百分比表示, 范围分别为2.35%~5.20%、13.79%~19.69%、1.24%~19.32%和61.63%~80.69%。能量密度( $E$ )范围为4.02~11.39  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 。体质量与脂肪含量和能量密度的关系可描述为方程  $FAT = 2.504 + 0.03W$  ( $R^2 = 0.674$ ,  $p < 0.01$ ) 和  $E = 4.877 + 0.012W$  ( $R^2 = 0.644$ ,  $p < 0.01$ ); 含水量与脂肪含量和能量密度的关系可描述为方程  $FAT = 80.03 - 1.01WAT$  ( $R^2 = 0.926$ ,  $p < 0.01$ ) 和  $E = 37.60 - 0.43WAT$  ( $R^2 = 0.963$ ,  $p < 0.01$ )。研究提示可以用铜鱼的体质量和含水量估测其脂肪含量和能量密度, 个体较大的铜鱼大量贮存脂肪可能与其繁殖活动有关。

关键词: 铜鱼; 化学组成; 脂肪; 能量密度

中图分类号: Q955

文献标识码: A

文章编号: 1672-6693(2010)04-0021-05

鱼体化学组成和能量密度是鱼类能量学研究的重要参数<sup>[1]</sup>。鱼体化学组成和能量密度可用于衡量鱼体的储能水平, 评价鱼体营养状况, 探讨鱼类对环境变化的适应及研究水生生态系统的能流过程<sup>[2-5]</sup>。由于直接测定鱼体化学组成和能量密度的方法复杂、工作量大, 有研究者提出可用一些简便易测的指标如体长、体质量和含水量来估测鱼体化学组成和能量密度<sup>[6-11]</sup>。

铜鱼(*Coreius heterodon* Bleeker)属鲤形目(Cypriniformes)鮡亚科(Gotioniae)铜鱼属(*Coreius*), 主要分布于长江上游的干流和支流, 属半洄游底栖鱼类, 喜流水生活, 主要以水生软体动物为食, 有关该种鱼的基础生物学研究已有一些零星报道<sup>[12-18]</sup>。研究表明, 生活史和环境条件的改变会影响鱼类的化学组成和能量密度<sup>[19-20]</sup>。目前, 铜鱼所生活的水体正因长江上游水电工程建设而发生巨大变化, 其生活史中的能量物质累积特征可能受到影响。但有关铜鱼的身体化学组成尚无研究涉及, 其能量物质的累积规律也不清楚。本研究探讨该种鱼的化学组成和能量密度及其与个体大小的关系, 旨在为该种鱼的能量生态学研究提供基础资料。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验鱼的采集及生化测定

2007年9月于长江干流木洞江段随机采集铜鱼31尾, 测定鱼体常规生物学指标, 体长( $L$ )精确到0.1 cm, 体质量( $W$ )精确到0.1 g。按体长分为4组, 分别为1组(9.0~12.0 cm)、2组(12.0~16.0 cm)、3组(16.0~20.0 cm)和4组(20.0~32.0 cm)。进行生化分析, 每组平行样品数分别为7、9、8和7。在70℃下烘至恒重, 求得其含水量( $WAT$ ), 然后研磨成细末, 放入小瓶中, 保存于-20℃下待测。采用凯氏定氮法测定样品的粗蛋白质含量; 采用索氏提取法(乙醚为提取液)测定其粗脂肪含量; 采用马福炉焚烧法测定其灰分含量。每份样品均重复测定2次, 相对偏差若大于2%, 则增加重复次数, 采用相对偏差在2%以下的2个测定值的平均数作为测定结果。脂肪含量( $FAT$ )、蛋白质含量( $PRO$ )和灰分含量( $ASH$ )以其占体质量的百分比表示<sup>[21]</sup>。由于碳水化合物在鱼体中的含量约为0.5%, 在鱼类能量学计算中可以忽略不计<sup>[22-23]</sup>。因此, 采用文献[22]中公式推算鱼体能量

\* 收稿日期 2010-01-13 修回日期 2010-03-26

资助项目: 重庆市自然科学基金(No. CSTC2008BB7097); 中央高校基本科研业务费专项资金(No. XDJK2009C181)

作者简介: 王倩倩, 女, 硕士研究生, 研究方向为鱼类生理生态; 通讯作者: 罗毅平, E-mail: luoguo@swu.edu.cn

密度( $E$ )。

### 1.2 数据处理方法

采用 EXCEL2003 进行数据整理,实验结果用平均数  $\pm$  标准误(Mean  $\pm$  SE)表示;采用 SPSS11.5 进行单因素方差分析,然后进行多重比较(LSD 检验),显著性水平为  $p < 0.05$ ,最后进行回归运算。

## 2 结果

### 2.1 体长和体质量的关系

体长组 1、2、3 和 4 的体长平均值分别为 10.56、14.00、18.21 和 27.00 cm,体质量随体长增加而增加,其平均值分别为 15.50、38.26、85.49 和 302.10 g(表 1)。以体长( $L$ )为自变量,体质量( $W$ )为因变量,采用公式  $W = aL^b$  进行回归运算,结果为: $W = 0.0096 L^{3.13}$ ( $R^2 = 0.997$   $p < 0.01$ ) (图 1)。

表 1 铜鱼鱼体的化学组成和能量密度

Tab. 1 Biochemical composition and energy density in *Coreius heterodon*

指标	体长分组			
	1	2	3	4
样本数/个	7	9	8	7
体长/cm	10.56 $\pm$ 0.37	14.00 $\pm$ 0.44	18.21 $\pm$ 0.37	27.00 $\pm$ 1.17
体质量/g	15.50 $\pm$ 1.31 <sup>a</sup>	38.26 $\pm$ 4.07 <sup>ab</sup>	85.49 $\pm$ 6.78 <sup>b</sup>	302.10 $\pm$ 43.58 <sup>c</sup>
含水量/%	77.00 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>	74.54 $\pm$ 0.65 <sup>b</sup>	74.80 $\pm$ 1.51 <sup>b</sup>	68.38 $\pm$ 1.57 <sup>a</sup>
脂肪含量/%	2.66 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>	3.92 $\pm$ 0.56 <sup>a</sup>	5.10 $\pm$ 1.30 <sup>a</sup>	11.47 $\pm$ 1.95 <sup>b</sup>
蛋白质含量/%	14.96 $\pm$ 0.28 <sup>a</sup>	17.21 $\pm$ 0.41 <sup>b</sup>	17.02 $\pm$ 0.49 <sup>b</sup>	17.05 $\pm$ 0.41 <sup>b</sup>
灰分含量/%	3.05 $\pm$ 0.09 <sup>ab</sup>	3.18 $\pm$ 0.26 <sup>b</sup>	2.71 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	2.62 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>
能量密度/( $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ )	4.58 $\pm$ 0.13 <sup>a</sup>	5.61 $\pm$ 0.26 <sup>ab</sup>	6.03 $\pm$ 0.57 <sup>b</sup>	8.56 $\pm$ 0.70 <sup>c</sup>

注:同一行中带不同上标值的数值之间差异显著( $p < 0.05$ )

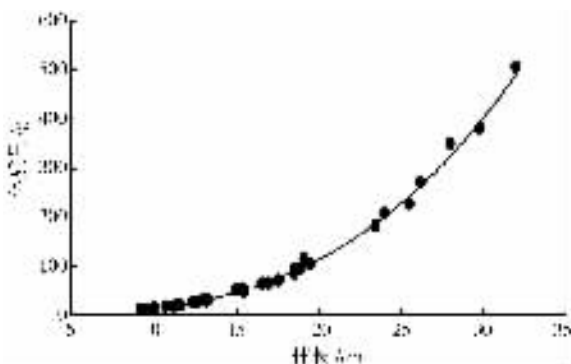


图 1 铜鱼体长与体质量的关系

Fig. 1 Relationship between body length and body weight of *Coreius heterodon*

### 2.2 鱼体化学组成和能量密度

体长组 1、2、3 和 4 的化学组成和能量密度见表 1。其中,体长组 1、2 和 3 的含水量显著高于体

长组 4( $p < 0.05$ );体长组 1 的蛋白质含量显著低于体长组 2、3 和 4( $p < 0.05$ );体长组 1、2 和 3 的脂肪含量显著低于体长组 4( $p < 0.05$ );体长组 1、2 和 3 的能量密度显著低于体长组 4( $p < 0.05$ );体长组 1 的能量密度显著低于体长组 3( $p < 0.05$ );体长组 2 的灰分含量显著高于体长组 3 和 4( $p < 0.05$ )。

### 2.3 体质量与鱼体化学组成和能量密度的关系

体质量分别与脂肪含量、能量密度和含水量存在显著的相关关系( $p < 0.01$ )。以体质量为自变量,分别以脂肪含量、能量密度和含水量为因变量,进行线性回归,得到方程  $FAT = 2.504 + 0.03W$  ( $R^2 = 0.674$   $p < 0.01$ ) (图 2),  $E = 4.877 + 0.012W$  ( $R^2 = 0.644$   $p < 0.01$ ) (图 3)和  $WAT = 76.527 - 0.026W$  ( $R^2 = 0.567$   $p < 0.01$ ) (图 4)。

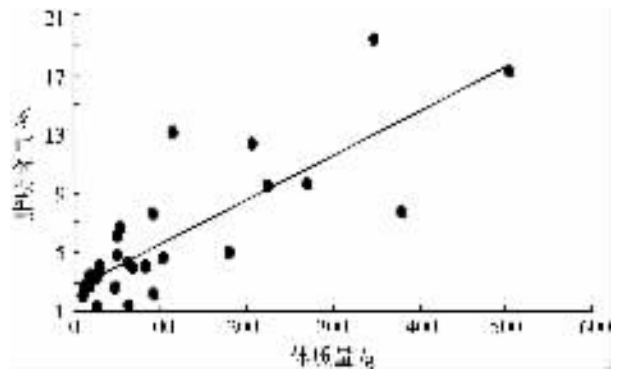


图 2 铜鱼体质量与脂肪含量的关系

Fig. 2 Relationship between body weight and lipid content of *Coreius heterodon*

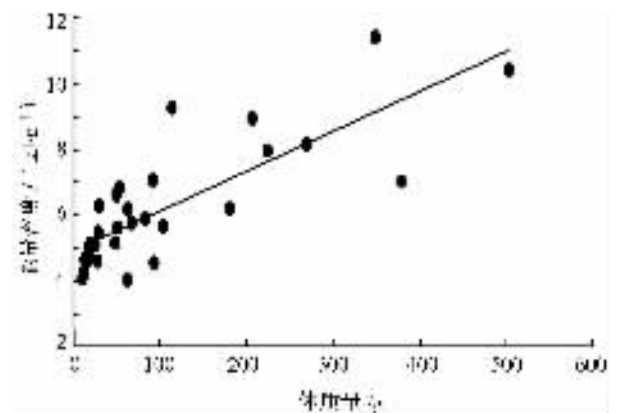


图 3 铜鱼体质量与能量密度的关系

Fig. 3 Relationship between body weight and energy density of *Coreius heterodon*

### 2.4 含水量、脂肪含量和能量密度的关系

含水量与脂肪含量和能量密度均存在显著的相关关系( $p < 0.01$ ),以含水量为自变量,分别以脂肪含量和能量密度为因变量,进行线性回归,得到方程  $FAT =$

$80.03 - 1.01WAT$  ( $R^2 = 0.926$   $p < 0.01$ ) (图 5) 和  $E = 37.60 - 0.43WAT$  ( $R^2 = 0.963$   $p < 0.01$ ) (图 6)。

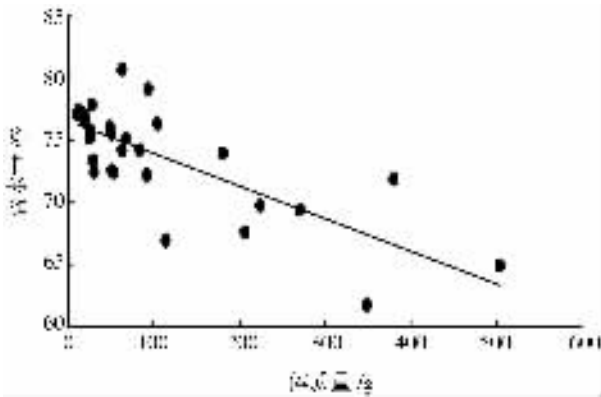


图 4 铜鱼体质量与含水量的关系

Fig. 4 Relationship between body weight and water content of *Coreius heterodon*

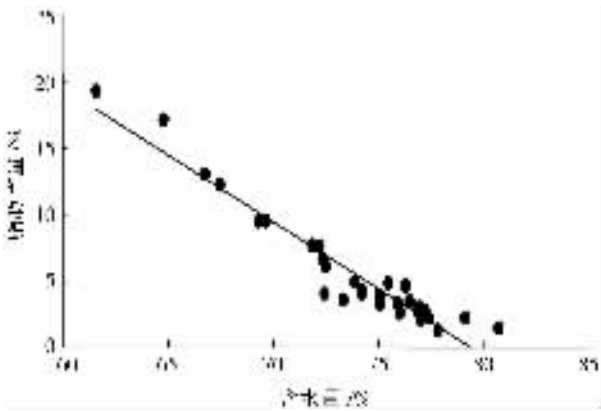


图 5 铜鱼含水量与脂肪含量的关系

Fig. 5 Relationship between water content and lipid content of *Coreius heterodon*

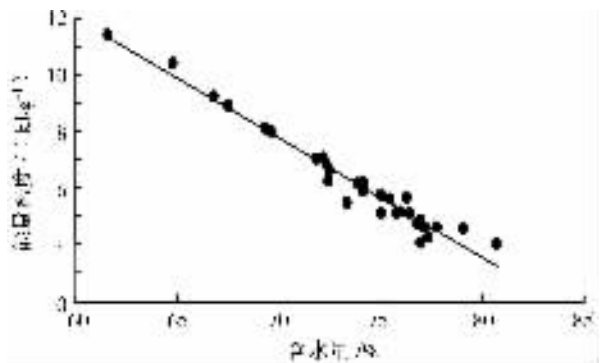


图 6 铜鱼含水量与能量密度的关系

Fig. 6 Relationship between water content and energy density of *Coreius heterodon*

基础问题之一<sup>[24]</sup>, Von Bertalanffy 提出鱼类体质量与体长的立方成正比<sup>[25]</sup>。通常将体长和体质量的关系描述为  $W = aL^b$ , 其中  $a$  表示单位体长时鱼体的体质量,  $b$  反映鱼类生长的生理学方面的特性。 $b$  值等于 3 为等速生长,  $b$  值大于或小于 3 则为变速生长<sup>[26]</sup>。长江流域多种鱼类的  $b$  值在 2.40 ~ 3.95 之间<sup>[24]</sup>, 本研究中铜鱼的  $b$  值为 3.13, 在其范围内。在三峡成库前, 相似体长范围(81 ~ 300 mm)铜鱼的  $b$  值为 2.88<sup>[24]</sup>。研究表明, 相同体长时体质量越大的个体其生理和营养状况越好<sup>[27]</sup>, 这提示, 三峡成库后库区铜鱼的营养状况可能发生改变。造成此现象的原因是否成库后水体食物资源的丰度及食物的可获得性的变化有关, 则有待深入研究。

此外, 很多研究表明, 鱼体含水量或干物质含量与鱼体化学组成和能量密度紧密相关<sup>[3, 21, 28-29]</sup>, 以含水量或干物质含量作为自变量估测能量密度的方法简便易行<sup>[8, 22]</sup>。本研究中铜鱼的含水量与脂肪含量和能量密度均存在显著的直线相关关系(图 5、6), 表明用含水量估测该种鱼的脂肪含量和能量密度是可行的。本研究还发现, 铜鱼的脂肪含量和能量密度均与体质量存在显著的直线相关关系(图 2、3)。因此, 也可以用体质量估测该种鱼的脂肪含量和能量密度。随体质量增加, 鱼体含水量减少而脂肪含量增加, 含水量与脂肪含量关系方程的斜率为 1.01(图 2、4、5)。因此, 从鱼体化学组成的角度看, 铜鱼的生长过程近似地是一个脂肪对水分的等比例替代过程。脂肪是鱼类主要的供能物质<sup>[30-31]</sup>, 多数鱼类在繁殖前会积累脂肪, 为繁殖过程提供能量<sup>[9, 32-35]</sup>。铜鱼达第一次性成熟的体长范围通常为 17.2 ~ 36.6 cm<sup>[12, 16]</sup>。本研究中, 体长组 4 的体长在该范围内, 推测该组鱼可能已非常接近性成熟。同时, 该组鱼的脂肪含量显著大于其余各组, 提示个体较大的铜鱼大量贮存脂肪可能与其繁殖活动有关。

参考文献:

[1] 刘家寿, 崔奕波, 杨云霞等. 体重和摄食水平对鳊和乌鳢身体的生化组成和能值的影响[J]. 水生生物学报, 2000, 24(1): 19-23.

[2] Cui Y B. The theory and method on bioenergetics[J]. Acta Hydrobiol Sin, 1989, 13: 377-383.

[3] Jonsson N, Jonsson B. Body composition and energy allocation in life-history stages of brown trout[J]. J Fish Biol, 1998, 53: 1306-1316.

[4] Rikardsen A H, Elliott J M. Variations in juvenile growth, energy allocation and life-history strategies of two popu-

3 讨论

鱼类体长和体质量的关系是鱼类生物学研究的

- lations of arctic charr in north norway[ J ]. J Fish Biol , 2000 , 56 :328-346.
- [ 5 ] 王岩. 海水养殖罗非鱼补偿生长的生物能量学机制[ J ]. 海洋与湖沼 , 2001 , 32( 3 ) :233-239.
- [ 6 ] Weatherley A H , Gill H S. Protein , lipid , water and caloric contents of immature rainbow trout , *Salmo gairdneri* , growing at different rates[ J ]. J Fish Biol , 1983 , 23 :653-673.
- [ 7 ] Falth L E , Diana J S. Seasonal energy dynamics of the alewife in south eastern lake michigan[ J ]. T Am Fish Soc , 1985 , 114 :328-337.
- [ 8 ] Hartman K J , Brandt S B. Estimating energy density of fish [ J ]. T Am Fish Soc , 1995 , 124 :347-355.
- [ 9 ] 张昊星 , 谢小军. 大鳍鱈鱼体能量密度及其预测模型 [ J ]. 水生生物学报 , 2003 , 27( 4 ) :396-401.
- [ 10 ] 吴斌 , 罗毅平 , 谢小军. 圆口铜鱼幼鱼鱼体的化学组成及能量密度[ J ]. 西南大学学报(自然科学版) , 2008 , 30( 10 ) :62-67.
- [ 11 ] 罗毅平 , 陈谊谊. 不同大小黑尾鲈鱼体的化学组成及能量密度[ J ]. 重庆师范大学学报(自然科学版) , 2009 , 26( 3 ) :12-15.
- [ 12 ] 丁瑞华. 铜鱼[ J ]. 水产科技情报 , 1978( 3 ) :30-31.
- [ 13 ] 何学福. 铜鱼的生物学研究[ J ]. 西南师范学院学报 , 1980 ( 2 ) :60-76.
- [ 14 ] 余志堂 , 梁秩燊 , 易伯鲁. 铜鱼和圆口铜鱼的早期发育 [ J ]. 水生生物学集刊 , 1984 , 8( 4 ) :371-379.
- [ 15 ] 张焱 , 邓其祥. 铜鱼生长规律的数学模型[ J ]. 四川师范学院学报(自然科学版) , 1996 , 17( 1 ) :31-34.
- [ 16 ] 庄平 , 曹文宣. 长江中、上游铜鱼的生长特性[ J ]. 水生生物学报 , 1999 , 23( 6 ) :577-583.
- [ 17 ] 刘军 , 胡兵 , 李惠等. 铜鱼肌肉营养组成与评价[ J ]. 上海水产大学学报 , 2006 , 15( 3 ) :370-374.
- [ 18 ] 刘凯 , 徐东坡 , 段金荣等. 长江下游江段铜鱼肌肉营养成分分析[ J ]. 上海海洋大学学报 , 2008 , 28( 3 ) :57-60.
- [ 19 ] 曹振东 , 谢小军. 南方鲈鱼体的能量密度及其预测模型 [ J ]. 海洋与湖沼 , 2002 , 33 :68-74.
- [ 20 ] 王书磊 , 姜志强. 大泷六线鱼鱼体生化组成和能量密度的季节性变化[ J ]. 中国水产科学 , 2009 , 16( 1 ) :127-132.
- [ 21 ] Craig J E. The body composition of the adult perch , *Perca fluwatilis* in windermere , with reference to seasonal changes and reproduction[ J ]. J Anim Ecol , 1977 , 46 :617-632.
- [ 22 ] Brett J R , Groves T D. Physiological energetic in fish physiology [ M ]. New York :Academic Press , 1979 :279-352.
- [ 23 ] Dawson A S , Grimm A S. Quantitative changes in the protein , lipid and energy content of the carcass ovaries and liver of adult female plaice ( *Pleuronectes platessa* L. ) [ J ]. J Fish Biol , 1980 , 16( 5 ) :493-504.
- [ 24 ] 黄真理 , 常剑波. 鱼类体长与体重关系中的分形特征 [ J ]. 水生生物学报 , 1999 , 23( 4 ) :330-335.
- [ 25 ] Von Bertalanffy L. A quantitative theory of organic growth [ J ]. Hum Biol , 1938 , 10 :181-213.
- [ 26 ] Ricker W E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations[ J ]. Bull Fish Res Board Can , 1975( 191 ) :1-382.
- [ 27 ] Jones R E , Petrell R J , Pauly D. Using modified length-weight relationships to assess the condition of fish[ J ]. Aquacult Engin , 1999 , 20 :261-276.
- [ 28 ] Elliott J M. Body composition of brown trout ( *Salmo trutta* L. ) in relation to temperature and ration size[ J ]. J Anim Ecol , 1976 , 45 :273-289.
- [ 29 ] Cui Y , Wootton R J. Effects of ration , temperature and body size on the body composition , energy content and condition of the minnow *Phoxinus phoxinus*[ J ]. J Fish Biol , 1988 , 32 :749-764.
- [ 30 ] Love R M. The chemical biology of fishes[ M ]. London : Academic Press , 1970.
- [ 31 ] Jobling M. Fish bioenergetics[ M ]. London : Chapman and Hall Press , 1994 :31-40.
- [ 32 ] Sargent J R. Origins and function of lipids in eggs[ C ] // Bromage N R , Roberts R J. Brookstock management and egg and larval quality. Blackwell Oxford , 1995 :353-372.
- [ 33 ] Wiegand M D. Composition , accumulation of yolk lipids in teleost fish[ J ]. Rev Fish Biol Fish , 1996 , 6 :259-286.
- [ 34 ] Bell J G. Current aspects of lipid nutrition in fish farming [ C ] // Black K D , Pickering A D. Biology of farmed fish. England : Sheffield Academic Press Ltd , 1998 :114-145.
- [ 35 ] 高露姣 , 施兆鸿 , 马春艳 等. 亲鱼的脂类营养与繁殖性能研究进展[ J ]. 海洋渔业 , 2006 , 28( 2 ) :163-166.

## Chemical Composition and Energy Density in *Coreius heterodon*

WANG Qian-qian, LUO Yi-ping

(Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development (Ministry of Education),  
Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract** : 31 specimens of *Coreius heterodon* with body length ( $L$ ) and body weight ( $W$ ) ranging respectively 9.2 ~ 32.0 cm and 11.3 ~ 504.0 g were collected from Mudong, Yangtze River in September, 2007. The fish were divided into 4 groups according to the body length. Chemical compositions were measured and energy density was estimated. The results showed that the contents of ash ( $ASH$ ), protein ( $PRO$ ), lipid ( $FAT$ ) and water ( $WAT$ ), represented by percentages of them in fresh body weight of fish, ranged 2.35% ~ 5.20%, 13.79% ~ 19.69%, 1.24% ~ 19.32% and 61.63% ~ 80.69% respectively. The energy density ( $E$ ) ranged 4.02 ~ 11.39  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ . The relationship between  $FAT$  or  $E$  and  $W$  could be described as:  $FAT = 2.504 + 0.03W$  ( $R^2 = 0.674$ ,  $p < 0.01$ ) and  $E = 4.877 + 0.012W$  ( $R^2 = 0.644$ ,  $p < 0.01$ ). The relationship between  $FAT$  or  $E$  and  $WAT$  could be described as:  $FAT = 80.03 - 1.01WAT$  ( $R^2 = 0.926$ ,  $p < 0.01$ ) and  $E = 37.60 - 0.43WAT$  ( $R^2 = 0.963$ ,  $p < 0.01$ ). The results suggest that the content of lipid and energy density of *Coreius heterodon* can be estimated by body weight or the water content. The high lipid content in the larger fish is supposed to be correlated with its breeding activity.

**Key words** : *Coreius heterodon*; chemical composition; lipid; energy density

(责任编辑 方兴)