

鲫鱼鱼体的化学组成和能量密度*

刘书婷, 黄庆达, 张玉蓉, 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:2012年6月于重庆市北碚区歇马养殖场采集鲫鱼(*Carassius auratus*)31尾,体质量(W)范围3.0~284.8 g,体长(L)范围5.5~22.6 cm,分为4个体长组,测定了鱼体化学组成,估算了能量密度。结果表明,鲫鱼含水量(WAT)、蛋白质含量(PRO)、脂肪含量(FAT)和灰分含量(ASH)占鱼体鲜重的百分比范围分别为68.58%~78.99%、7.81%~18.87%、0.55%~9.11%和3.25%~6.59%,能量密度(E)范围为2.06~7.68 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 。体质量与脂肪含量和能量密度的关系可分别描述为方程: $FAT=0.0256W+1.59$ ($R^2=0.561, n=31, p<0.01$)和 $E=0.0102W+3.94$ ($R^2=0.395, n=31, p<0.01$);含水量与脂肪含量和能量密度的关系可分别描述为方程: $FAT=-0.855WAT+67.5$ ($R^2=0.753, n=31, p<0.01$)和 $E=-0.380WAT+33.1$ ($R^2=0.662, n=31, p<0.01$)。研究提示可以用体质量和含水量估测鲫鱼的脂肪含量和能量密度;随着个体体质量的增加,水分和脂肪之间存在近等比例的替代。

关键词:鲫鱼;化学组成;脂肪;能量密度

中图分类号:Q955

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2013)05-0032-05

在鱼类能量营养学的研究中通常把鱼体的化学组成和能量密度作为衡量鱼体储能水平的重要指标^[1-2],对于研究水体生态系统的能流过程以及鱼类营养和生长状况的评估具有重要的意义^[3-8]。鱼体的化学组成主要有蛋白质、脂肪和灰分,其中碳水化合物含量甚微,可忽略不计^[9-10]。能量密度是鱼体的能量含量,可利用蛋白质和脂肪推算得到。有研究者提出可采用含水量和体质量等一些容易测得的指标估测化学组成和能量密度^[11-18],因此避免了直接测定带来的步骤繁琐、工作量大的问题^[19-22]。

鲫鱼(*Carassius auratus*)俗称土鲫、河鲫、江鲫等,属鲤形目(Cypriniformes),鲤科(Cyprinidae),鲫属(*Carassius*),是温水性底层杂食性鱼类,分布较广^[23]。有关鲫鱼的基础生物学研究已有一些报道^[24],但关于鲫鱼鱼体化学组成和能量密度的研究资料较少,且生长过程中能量物质的累积规律也尚不明确。本研究测定了分析不同个体大小的鲫鱼的化学组成和能量密度,分析了体质量和含水量与各参数间的关系,以便为淡水鱼类能量生态学提供研究的基础资料。

1 材料和方法

1.1 实验鱼的采集和生化测定

2012年6月从重庆市北碚区歇马养殖场随机选取不同大小的鲫鱼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^[22]。将实验鱼按体长分为4组,依次为1组($L \leq 9.5$ cm)、2组(L 为9.6~13.5 cm)、3组(L 为13.6~17.5 cm)和4组($L \geq 17.6$ cm),每组样本量(n)分别为7、8、9和7^[22]。将整尾鲫鱼在70℃下烘2周左右,经3次称量至恒重,求得含水量(WAT),然后研磨成鱼粉,在-20℃下保存待测。采用乙醚为溶剂,以索氏提取法测定粗脂肪含量(FAT);采用马福炉在550℃焚烧测定灰分含量(ASH),采用凯氏定氮法测定样品的总氮含量,然后计算粗蛋白质含量(PRO)。每份样品均设置2份重复,测定结果为相对偏差低于2%的测定值的平均值^[17,22]。数据用脂肪含量(FAT)、灰分含量(ASH)和蛋白质含量(PRO)占湿重的百分比表示。鱼体能量密度(E)计算采用公式“ $E = \text{脂肪含量} \times 39.5 + \text{蛋白质含量} \times 23.6$ ”^[22]。碳水化合物在鱼

* 收稿日期:2013-04-24 修回日期:2013-05-25 网络出版时间:2013-09-17 17:38

资助项目:国家自然科学基金(No. 31000958);重庆市科委重点实验室专项经费(2012);重庆市自然科学基金(No. CSTC2013jcyjA80023)

作者简介:刘书婷,女,硕士研究生,研究方向为鱼类生理生态, E-mail: shuting_qqt@163.com; 通讯作者:罗毅平, E-mail: luoguo@swu.edu.cn

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20130917.1738.201305.32_003.html

体中含量极低^[11-18],在本实验中忽略未作测定。

1.2 数据处理方法

采用 Excel 2003 软件处理实验数据,分析并作图;采用 SPSS 11.5 软件对体长组 1、2、3 和 4 间的各参数进行单因素方差分析,若组间存在显著差异,再进行多重比较(LSD 法);对体长、体质量、含水量、脂肪含量等参数进行相关性检验及回归分析^[22];实验结果用“平均值±标准误”(Mean±SE)表示,显著性水平为 $p < 0.05$ 。

2 结果

2.1 体长和体质量的关系

体长组 1、2、3 和 4 组的体长平均值分别为 7.0、11.5、15.4 和 19.8 cm,体质量平均值分别为 10.17、33.78、82.13 和 201.01 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,得出回归方程: $W = 0.023L^{3.01}$ ($R^2 = 0.987, n = 31, p < 0.01$)(图 1)。

各体长组的含水量、脂肪含量和灰分含量以及能量密度均有显著差异(表 1)。体长组 4 的含水量显著低于其它 3 个体长组的含水量($p < 0.05$);体长组 4 的脂肪含量最高并显著高于其它 3 个体长组的脂肪含量($p < 0.05$),各体长组之间的蛋白质含量无显著性差异;体长组 1 和 4 的灰分含量显著低于体长组 2 和 3($p < 0.05$);体长组 4 的能量密度最高,体长组 1、2 和 3 的能量密度显著低于体长组 4($p < 0.05$)。

表 1 鲫鱼的化学组成和能量密度

Tab.1 Chemical composition and energy density in *Carassius auratus*

指标	体长分组			
	1	2	3	4
样本数/尾	7	8	9	7
体长/cm	7.0±0.5 ^a	11.5±0.4 ^b	15.4±0.4 ^c	19.8±0.7 ^d
体质量/g	10.17±3.02 ^a	33.78±3.00 ^a	82.13±7.56 ^b	201.01±20.33 ^c
含水量/%	75.48±0.35 ^a	76.28±0.80 ^a	75.22±0.77 ^a	71.14±0.56 ^b
脂肪含量/%	3.15±0.27 ^a	2.30±0.70 ^a	2.01±0.34 ^a	7.79±0.40 ^b
蛋白质含量/%	14.56±0.66	13.06±0.99	14.69±0.79	13.77±1.27
灰分含量/%	4.31±0.18 ^a	5.22±0.38 ^b	5.37±0.25 ^b	3.56±0.20 ^a
能量密度/(kJ·g ⁻¹)	4.68±0.14 ^a	3.99±0.45 ^a	4.26±0.27 ^a	6.33±0.31 ^b

注:同一行中带不同上标值的数值之间差异显著($p < 0.05$)。

2.2 体质量与化学组成和能量密度的关系

体质量与脂肪含量、能量密度和含水量均存在显著的相关关系($p < 0.01$),而与蛋白质含量的相关性不明显($p > 0.05$)。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,得到以下方程: $FAT = 0.0256W + 1.59$ ($R^2 = 0.561, n = 31, p < 0.01$)(图 2); $E = 0.0102W + 3.94$ ($R^2 = 0.395, n = 31, p < 0.01$)(图 3); $WAT = -0.0240W + 76.6$ ($R^2 = 0.478, n = 31, p < 0.01$)(图 4)。

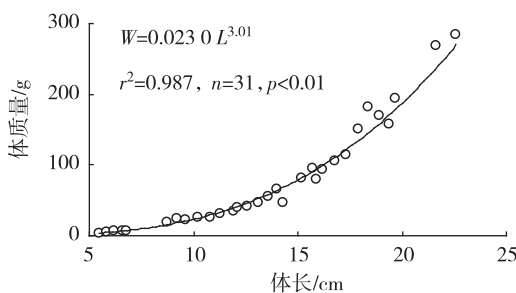


图 1 鲫鱼体长与体质量的关系

Fig. 1 Relationship between body length and body mass of *Carassius auratus*

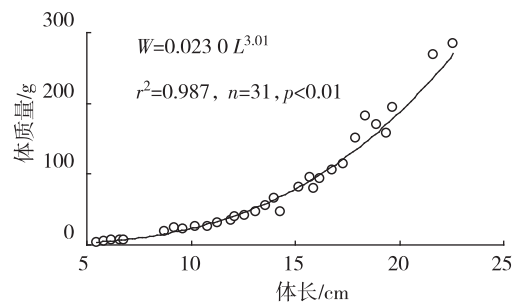


图 2 鲫鱼体质量与脂肪含量的关系

Fig. 2 Relationship between body mass and fat content of *Carassius auratus*

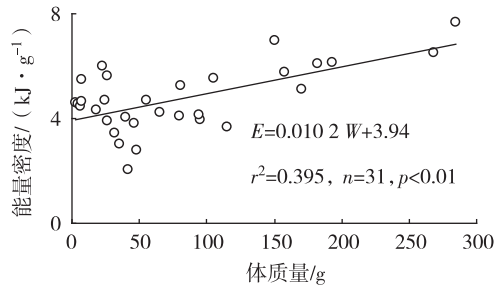


图 3 鲫鱼体质量与能量密度的关系

Fig. 3 Relationship between body mass and energy density of *Carassius auratus*

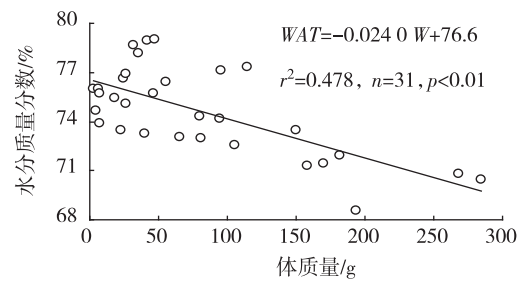


图 4 鲫鱼体质量与含水量的关系

Fig. 4 Relationship between body mass and water content of *Carassius auratus*

2.3 含水量与蛋白质含量、脂肪含量及能量密度的关系

含水量与脂肪间存在显著的相关关系($R^2=0.753, p<0.01$),同时与能量密度间也存在显著相关关系($R^2=0.662, p<0.01$),而与蛋白质含量的相关性不明显。以含水量为自变量,分别以脂肪含量和能量密度为因变量,进行线性回归分析,得到以下方程: $FAT=-0.855WAT+67.5$ ($R^2=0.753, n=31, p<0.01$)(图 5); $E=-0.380WAT+33.1$ ($R^2=0.662, n=31, p<0.01$)(图 6)。

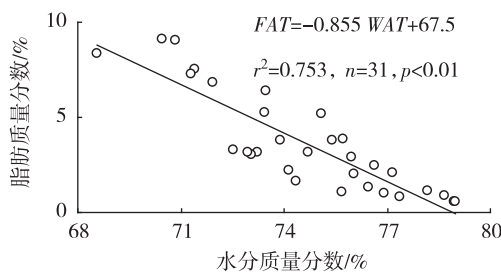


图 5 鲫鱼含水量与脂肪含量的关系

Fig. 5 Relationship between water content and fat content of *Carassius auratus*

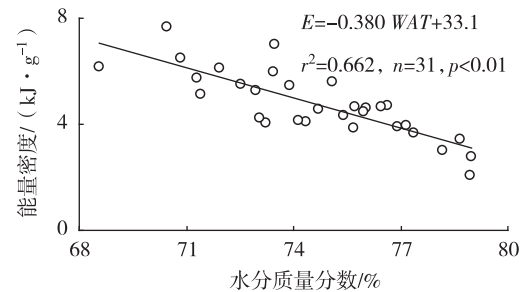


图 6 鲫鱼含水量与能量密度的关系

Fig. 6 Relationship between water content and energy density of *Carassius auratus*

3 讨论

本研究表明,鲫鱼的体质量和体长关系可描述为回归方程: $W=0.023L^{3.01}$ (图 1),接近 Von Bertalanffy 提出的体重与体长的三次方呈正比的关系^[25]。在体长与体质量的关系 $W=aL^b$ 中, a 值表示单位体长鱼体的体质量, b 值可用来表示鱼类在生长生理学方面的物种特异性^[22]。 b 值等于 3,为等速生长,即鱼体的体形与体质量的变化保持一致; b 值小于或大于 3 表示为异速生长^[22,26]。本研究的鲫鱼的 b 值为 3.01,接近于 3,为近等速生长。长江流域的多数淡水鱼类的 b 值介于 2.40~3.95^[27]之间,已有研究中的铜鱼(*Coreius heterodon*)、瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)、大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)、南方鲇(*Silurus meridionalis*)、黑尾鲈(*Hemiculter icucisculus*)、野生三角鲂(*Magalobram tarminalis*)等的 b 值均在此范围内^[12-17]。

本研究中,鲫鱼的含水量与脂肪含量和能量密度均呈显著的负相关($p<0.01$),与已有研究认为鱼体含水量与自身化学组成和能量密度有相关的观点^[28]一致,提示可以用含水量估算其脂肪含量和能量密度。此外,还发现,鲫鱼的体质量与脂肪含量和能量密度也存在显著的正相关关系($p<0.01$),提示也可用体质量来估测脂肪含量和能量密度。随体质量的增加,鱼体的脂肪含量增加,含水量减少,且二者变化速率接近,斜率比值为 0.938(图 2、4),接近于 1,意味着随个体生长水分和脂肪存在近等比例的替代,相似的结果发现于北海鲱(*Clupea harengus*)的研究^[29]。

通常,干物质、蛋白质、脂肪、灰分和能量的相对含量均随体质量增加而增加。本研究中随着个体增大,鲫鱼的干物质、脂肪和能量含量均增高,与已有研究一致^[30],但蛋白质含量随个体的增大无明显变化(表 1)。已有研究发现,人工养殖的淡水鱼类,随体长和体质量的增加,蛋白质含量无明显变化,甚至降低^[31],这是否是本研究中

人工养殖鲫鱼的蛋白质含量不随个体增大而增高的原因尚待研究。

参考文献:

- [1] Halver J E, Hardy R W. Fish nutrition[M]. 3rd edition. Amsterdam:Elsevier Inc,2002.
- [2] 崔奕波. 鱼类生物能量学的理论与方法[J]. 水生生物学报, 1989,13(4):369-383.
Cui Y B. The theory and method on bioenergetics[J]. Acta Hydrobiologica Sinica,1989,13(4):369-383.
- [3] 曹振东,谢小军. 南方鲢鱼体的能量密度及其预测模型[J]. 海洋与湖沼,2002,33(1):68-74.
Cao Z D,Xie X J. Models for predicting energy density of the fish body in the southern catfish[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica,2002,33(1):68-74.
- [4] 张昊星,谢小军. 大鳍鱮鱼体能量密度及其预测模型[J]. 水生生物学报,2003,27(4):396-401.
Zhang H X,Xie X J. Models for predicting energy density of the fish body in *Silurus meridionalis* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica,2003,27(4):396-401.
- [5] Jonsson N,Jonsson B. Body composition and energy allocation in life-history stages of brown trout[J]. J Fish Biol, 1998,53(6):1306-1316.
- [6] Rikardsen A H,Elliott J M. Variations in juvenile growth, energy allocation and life-history strategies of two populations of arctic charr in north norway[J]. J Fish Biol,2000, 56(2):328-346.
- [7] 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.
Wang Y. Bioenergetics of *Hybrid tilapia* reared in seawater in relation to compensatory growth[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica,2001,32(3):233-239.
- [8] 林祥日. 鱼类生物能量学研究进展[J]. 淡水渔业,2010,40(6):75-79.
Lin R X. Some recent progress in studies of fish bioenergetics[J]. Freshwater Fisheries,2010,40(6):75-79.
- [9] Brett J R,Groves T D D. Physiological energetic in "fish physiology"[M]. New York:Academic Press,1979,8:279-352.
- [10] 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 platessal*) [J]. J Fish Biol,1980,16(5):493-504.
- [11] 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化学组成和能值的影响[J]. 水生生物学报,2000, 24(1):19-23.
Liu J S,Cui Y B,Yang Y X,et al. Effects of body weight and ration level on the body composition and energy content of *Siniperca chuatsi* and *Channa argus*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica,2000,24(1):19-23.
- [12] 王军辉,谢小军. 瓦氏黄颡鱼不同季节鱼体的化学组成及能量密度的预测模型[J]. 生态学报,2003,23(1):122-129.
Wang J H,Xie X J. The chemical compositions and models for predicting energy density in *Pelteobagrus vachelli* at different seasons[J]. Acta Ecologica Sinica,2003,23(1):122-129.
- [13] 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,2009,116(1):127-132.
Wang S L,Jiang Z Q. Seasonal variation in body composition and energy density in *Hexagrammos otakii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China,2009,116(1):127-132.
- [14] 谢小军,孙儒泳. 南方鲢幼鱼鱼体的含能量及化学组成[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,1990,26(3):83-88.
Xie X J,Sun R Y. The energy content and chemical composition of the body of the young southern catfish (*Silurus meridionalis*) [J]. Journal of Beijing Normal University:Natural Science,1990,26(3):83-88.
- [15] 罗毅平,陈谊谊. 不同大小黑尾鲮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.
Luo Y P,Chen Y Y. The chemical composition and energy density in *Hemiculter icucisculus* with different body size [J]. Journal of Chongqing Normal University:Natural Science,2009,26(3):12-15.
- [16] 王倩倩,罗毅平. 铜鱼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,2010,27(4):21-25.
Wang Q Q,Luo Y P. Chemical composition and energy density in *Coreius heterodon*[J]. Journal of Chongqing Normal University:Natural Science,2010,27(4):21-25.
- [17] 林小植,罗毅平. 野生三角鲂幼鱼鱼体的化学组成及能量密度[J]. 贵州农业科学,2011,39(7):129-132.
Lin X Z,Luo Y P. Chemical composition and energy density of Juvenile *Magalpbrama tarminalis* [J]. Guizhou Agricultural Sciences,2011,39(7):129-132.
- [18] 林小植,陈蔚辉,范汉金,等. 韩江下游赤眼鳟幼鱼鱼体的化学组成及能量密度的研究[J]. 淡水渔业,2011,41(2):25-29.
Lin X Z,Chen W H,Fan H J,et al. The chemical composition and energy density of juvenile *Squaliobarbus curriculus* in the lower reaches of Hanjiang river[J]. Freshwater Fisheries,2011,41(2):25-29.
- [19] 王文,王倩倩,张玉蓉,等. 饥饿对尼罗罗非鱼幼鱼粗化学成分的影响[J]. 重庆师范大学学报:自然科学版,2012,29(5):20-25.
Wang W,Wang Q Q,Zhang Y R,et al. Effects of starvation on body chemical composition and energy density in Juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Journal of Chongqing Normal University:Natural Science,2012,

- 29(5):20-25.
- [20] 雷思佳,叶世洲,李德尚,等. 盐度对台湾红罗非鱼能量收支的影响[J]. 华中农业大学学报:1999,18(3):256-259.
Lei S J, Ye S Z, Li D S, et al. Effect of salinity on the energy budget in Taiwanese red *tilapia*[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 1999, 18(3):256-259.
- [21] 王瑁,丘书院,杨圣云,等. 花尾胡椒鲷幼鱼的生化组成和比能值[J]. 中国水产科学, 2001, 8(3):5-9.
Wang M, Qiu S Y, Yang S Y, et al. Biochemical composition and calorific value in juvenile *Plectorhynchus cinctus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2001, 8(3):5-9.
- [22] 黄庆达. 不同体长草鱼幼鱼鱼体化学组成的研究[J]. 西南大学学报:自然科学版, 2013, 35(2):41-44.
Huang Q D. Chemical composition in juvenile *Ctenopharyngodon idella* at different body length[J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2013, 35(2):41-44.
- [23] 乐佩琦. 中国动物志硬骨鱼纲鲤形目(下卷)[M]. 北京:科学出版社, 2000.
Le P Q. Fauna Sinica Osteichthyes Cypriniformes III [M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [24] 袁杰,曹玉萍,谢松. 衡水湖鲫鱼的生物学特性[J]. 河北大学学报:自然科学版, 2004, 24(3):293-298.
Yuan J, Cao Y P, Xie S. The characteristic of biology of *Carassius auratus* in Hengshui Lake[J]. Journal of Hebei University: Natural Science Edition, 2004, 24(3):293-298.
- [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[M]. Canada: The Blackburn Press, 1975:1-382.
- [27] 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.
Huang Z L, Chang J B. Fractal characteristics of length-weight relationship in fish[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1999, 23(4):330-335.
- [28] 林祥日. 影响漠斑牙鲆幼鱼生化组成和能值的因子[J]. 集美大学学报:自然科学版, 2008, 13(3):199-204.
Lin X R. Effects of feeding levels and temperature on body composition and energy value of *Paralichthys lethostigma*[J]. Journal of Jimei University: Natural Science, 2008, 13(3):199-204.
- [29] Iles T D, Wood R J. The fat/water relationship in North Sea herring (*Clupea harengus*), and its possible significance[J]. Mar Biol Ass U K, 1965, 45(2):353-366.
- [30] 陈少莲. 我国淡水优质草食性鱼类的营养和能学研究[J]. 海洋与湖沼, 1992, 23(2):193-205.
Chen S L. Nutrition and energetics of the Chinese herbivorous fishes of important food values[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1992, 23(2):193-205.
- [31] 钱云霞,杨文鹤. 不同龄期养殖鲈鱼的生化组成[J]. 宁波大学学报:理工版, 2002, 15(1):202-206.
Qian Y X, Yang W G. Biochemical composition of cultured *Lateolabrax japonicus* at different age[J]. Journal of Ningbo University: Natural Science & Engineering Edition, 2002, 15(1):202-206.

Animal Sciences

Chemical Composition and Energy Density in *Carassius auratus*

LIU Shu-ting, HUANG Qing-da, ZHANG Yu-rong, LUO Yi-ping

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

Abstract: 31 specimens of *Carassius auratus* were collected from Xiema fishery farms, Beibei, Chongqing in June, 2013. Body mass (W) ranged 3.0~284.8 g and body length (L) ranged 5.5~22.6 cm. The fish were divided into 4 groups based on their body length. Chemical compositions were measured and energy density was estimated. The results showed that the contents of water (WAT), protein (PRO), lipid (FAT) and ash (ASH), ranged 68.58%~78.99%, 7.81%~18.87%, 0.55%~9.11% and 3.25%~6.59%, respectively. The energy density (E) ranged 2.06~7.68 kJ·g⁻¹. The relationship between FAT or E and W could be described as: $FAT=0.0256W+1.59$ ($R^2=0.561$, $n=31$, $p<0.01$) and $E=0.0102W+3.94$ ($R^2=0.395$, $n=31$, $p<0.01$). The relationship between FAT or E and W could be described as: $FAT=-0.855WAT+67.5$ ($R^2=0.753$, $n=31$, $p<0.01$) and $E=-0.380WAT+33.1$ ($R^2=0.662$, $n=31$, $p<0.01$). The results suggest that lipid content and energy density of *Carassius auratus* can be estimated by body mass and water content. WAT is replaced with FAT approximately isometrically as the body mass increases.

Key words: *Carassius auratus*; chemical compositions; lipid content; energy density