

沱江富顺段鲤鱼、鲫鱼和大眼鲈的化学组成及能量密度*

梁敏,程卫东,张玄可,袁伦强

(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:2013年10月于四川省自贡市长江支流沱江富顺段采集鲤鱼(*Cyprinus carpio*)、鲫鱼(*Carassius auratus*)、大眼鲈(*Siniperca kneri*)等3种鱼共60尾,分别测定鱼体化学组成,估算能量密度。结果表明:3种鱼的脂肪含量平均值分别为3.24%、4.13%和2.78%,蛋白质含量平均值分别为16.96%、16.28%、17.27%,水分含量平均值分别为75.42%、74.05%、74.06%,能量密度的平均值分别为5.28、5.47、5.18 kJ·g⁻¹;3种鱼水分含量(C_{WAT}_鲤,C_{WAT}_鲫,C_{WAT}_鲈)与各自的能量密度(E_鲤,E_鲫,E_鲈)的回归方程分别为:E_鲤 = -0.368 9C_{WAT}_鲤 + 33.081,(r² = 0.799 6,n = 30,p < 0.01);E_鲫 = -0.308 4C_{WAT}_鲫 + 28.304,(r² = 0.823 5,n = 13,p < 0.01);E_鲈 = -0.385 5C_{WAT}_鲈 + 33.729,(r² = 0.882 5,n = 17,p < 0.01)。统计分析表明鲫鱼的体长与蛋白质含量、脂肪含量和能量密度呈显著的正线性关系(p < 0.05),而鲤鱼和大眼鲈的体长与它们均无线性关系。3种鱼的水分含量分别与蛋白质含量、脂肪含量和能量密度均呈显著的负线性关系(p < 0.01)。研究结果表明,采用3种鱼的水分含量估算各自蛋白质含量、脂肪含量和能量密度是可行的。

关键词:鲤鱼;鲫鱼;大眼鲈;化学组成;能量密度;沱江

中图分类号:Q955

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2015)05-0043-05

沱江是长江的主要支流,在长江上游泸州段汇入长江,富顺位于沱江下游。沱江流域具有较多工厂,人口密度较大^[1-2]。鱼体化学成分是衡量和评价鱼类能量储备水平的重要指标^[3-4]。鱼体的主要化学成分包括水分、灰分、蛋白质、脂肪和碳水化合物,其中碳水化合物含量相当低,在能量学计算中往往可以忽略^[5-6]。蛋白质和脂肪是鱼体储存能源物质的主要类型。脂肪是高能量物质,积累脂肪是鱼类储存能量的重要手段,在鱼类生命活动中具有重要的意义。在进行洄游、繁殖等活动时,鱼体主要动用自身的脂肪源能量,并且鱼类在面临食物资源匮乏时,也主要动用脂肪调节自身的能量支出;因而脂肪含量对鱼类的洄游、繁殖、生长等具有重要的意义。通常情况下,单位质量的脂肪能量含量较高,但过多储存脂肪会增加身体负担,限制鱼体运动能力。单位质量的蛋白质能量含量相对较低,然而蛋白质是鱼体重要的结构组成物质,对维持器官的结构和功能有重要意义。一般认为,随体质量增加,水分含量和灰分含量降低,蛋白质含量和脂肪含量升高,能量密度升高。鲤鱼(*Cyprinus carpio*)是一种生长较快、杂食性的中型鱼类,隶属鲤形目(Cypriniformes),鲤亚科(Cyprininae),鲤属(*Cyprinus*)^[7];鲫鱼(*Carassius auratus*)属鲤形目(Cypriniformes),鲤科(Cyprinidae),鲫属(*Carassius*),是温水性底层杂食性鱼类^[8];大眼鲈(*Siniperca kneri*)隶属鲈形目(Perciformes),鲈亚目(Percoidei),鲈科(Serranidae),鲈属(*Siniperca*),是肉食性凶猛鱼类^[7]。已有一些研究资料报道过以上3种鱼的基础生物学数据^[9],但沱江富顺段这3种鱼的化学组成和能量密度的研究资料尚缺,且它们生长过程中能量物质的积累也有待研究。为填补有关数据空白并为后续研究积累基础资料,本研究开展了相关的工作。

1 材料与方法

1.1 实验鱼的采集和生化测定

2013年10月于长江支流沱江富顺段通过当地渔民捕捞而随机采集到鲤鱼(体长11.0~20.4 cm)、鲫鱼(体长

* 收稿日期:2014-12-23 修回日期:2015-03-09 网络出版时间:2015-06-08 12:29

资助项目:国家重点基础研究发展计划资助项目(No.2012CB723205);重庆市科委重点实验室专项经费(No.2013cstc)

作者简介:梁敏,女,研究方向为鱼类生理生态,E-mail:liangminedu@163.com;通信作者:袁伦强,副教授,E-mail:yuanlq@swu.edu.cn

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20150608.1229.009.html

8.6~14.2 cm)和大眼鳊(体长 10~14.3 cm)共 60 尾,测定鱼体常规生物学指标后进行化学组成分析。在实验室 70 °C 条件下烘至恒重,研磨并存放于 -20 °C 下待测。分别采用凯氏定氮法、索氏提取法和马福炉焚烧法测定样品的粗蛋白质含量、粗脂肪含量和灰分含量^[10]。本研究中测得的化学成分含量以它们占体质量的百分比表示^[10]。采用公式“能量密度=脂肪×39.5+蛋白质×23.6”推算鱼体能量密度^[3,11]。

1.2 数据处理方法

采用 SPSS 11.5 进行单因素方差分析和 LSD 多重比较以及协方差分析,显著性水平设定为 0.05;采用 STATISTICA 6.0 进行回归运算。

2 结果

2.1 3 种鱼体长与体质量的关系

鲤鱼、鲫鱼、大眼鳊等 3 种鱼的体长平均值分别为 15.53, 11.84, 12.50 cm;体质量平均值分别为 103.1, 61.4, 39.7 g。采用公式 $W = aL^b$ ^[12] 进行回归运算,其中体长(L)为自变量,体质量(W)为因变量,得出这 3 种鱼体长-体质量关系方程如图 1 所示。

2.2 体长与化学组成的关系

研究中 3 种鱼的化学组成如表 1 所示。

鲫鱼的体长($L_{\text{鲫}}$)与它的脂肪含量($C_{\text{FAT}_{\text{鲫}}}$)、能量密度($E_{\text{鲫}}$)均呈正线性相关($C_{\text{FAT}_{\text{鲫}}} = 0.4907L_{\text{鲫}} - 1.6838, r^2 = 0.3107, p < 0.05; E_{\text{鲫}} = 0.2016L_{\text{鲫}} + 3.084, r^2 = 0.3125, p < 0.05$),鲤鱼和大眼鳊的体长($L_{\text{鲤}}, L_{\text{鳊}}$)与各自的脂肪含量($C_{\text{FAT}_{\text{鲤}}}, C_{\text{FAT}_{\text{鳊}}}$)、能量密度($E_{\text{鲤}}, E_{\text{鳊}}$)的相关性均不显著。鲫鱼、鲤鱼和大眼鳊的能量密度与各自的脂肪含量、蛋白质含量($C_{\text{PRO}_{\text{鲫}}}, C_{\text{PRO}_{\text{鲤}}}, C_{\text{PRO}_{\text{鳊}}}$)均呈显著正线性相关($p < 0.05$)(图 2~图 3)。

表 1 3 种鱼的化学组成和能量密度

Tab. 1 Chemical composition and energy density in three fishes

指标	鲤鱼	鲫鱼	大眼鳊
样本数/尾	30	13	17
平均体长/cm	15.53±0.41 ^a	11.84±0.43 ^b	12.50±0.27 ^b
平均体质量/g	101.40±7.86 ^a	61.01±6.74 ^b	41.38±2.26 ^b
水分含量/%	75.42±1.67 ^a	74.05±0.46 ^b	74.06±1.43 ^b
脂肪含量/%	3.23±1.70 ^{ab}	4.13±1.36 ^a	2.78±1.25 ^b
蛋白质含量/%	16.96±0.94 ^a	16.28±0.90 ^b	17.27±0.70 ^a
灰分含量/%	3.85±0.07 ^c	4.28±0.14 ^b	5.11±0.86 ^a
能量密度/(kJ·g ⁻¹)	5.28±0.73 ^a	5.47±0.56 ^a	5.18±0.59 ^a

注:数据用“平均值±标准误”表示;上标字母不同表示同一行数据之间差异显著($p < 0.05$)。

2.3 水分含量与脂肪含量、蛋白质含量和能量密度的关系

鲤鱼、鲫鱼和大眼鳊的水分含量($C_{\text{WAT}_{\text{鲤}}}, C_{\text{WAT}_{\text{鲫}}}, C_{\text{WAT}_{\text{鳊}}}$)与各自的脂肪含量、蛋白质含量、能量密度均呈显著的负线性相关关系($p < 0.05$)(图 4~图 6),与灰分含量相关性不显著。以体长为协变量进行 3 种鱼的化学组成分析,大眼鳊水分含量显著低于鲤鱼和鲫鱼的水分含量($p < 0.05$),而大眼鳊的灰分含量则显著大于鲤鱼和鲫鱼($p < 0.05$)。3 种鱼的脂肪含量、蛋白质含量和能量密度均无显著差异。

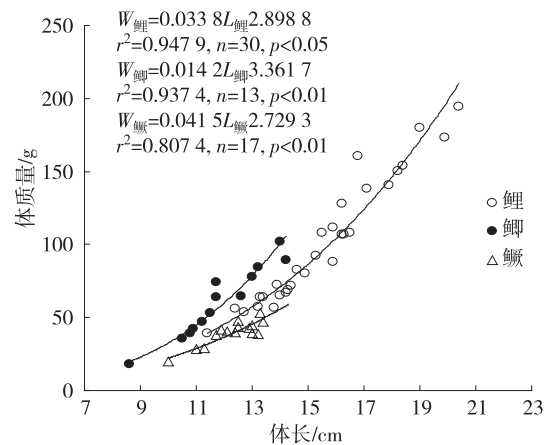


图 1 3 种鱼体长与体质量的关系

Fig. 1 The relationship between length and weight in three fishes

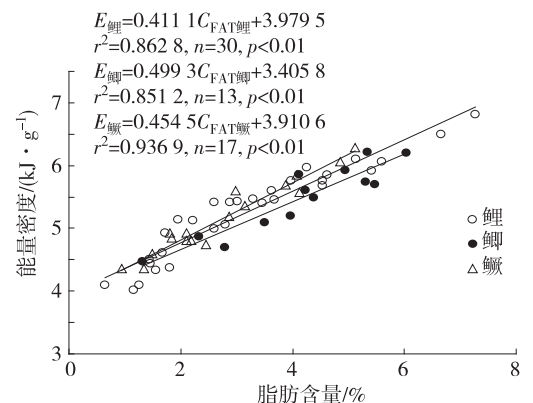


图 2 3 种鱼脂肪含量和能量密度的关系

Fig. 2 The relationship between fat content and energy density in three fishes

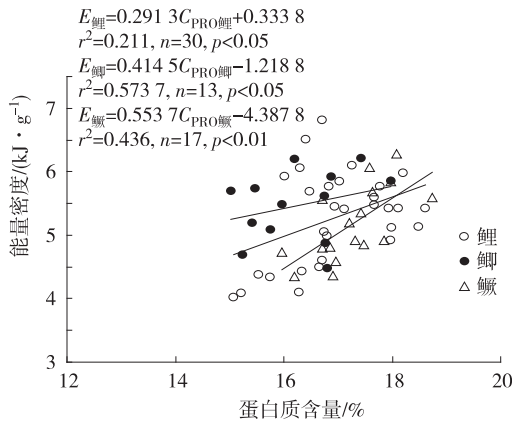


图 3 3 种鱼蛋白质含量和能量密度的关系

Fig. 3 The relationship between protein content and energy density in three fishes

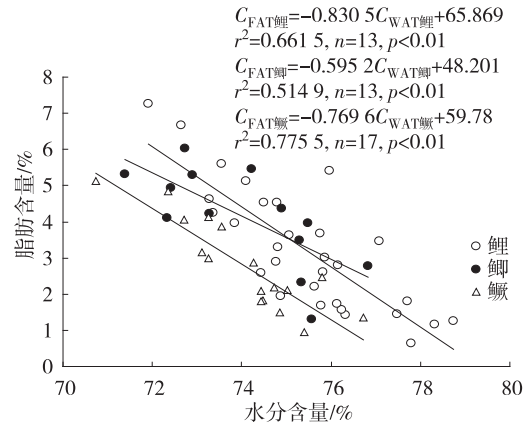


图 4 3 种鱼水分含量与脂肪含量的关系

Fig. 4 The relationship between water content and fat content in three fishes

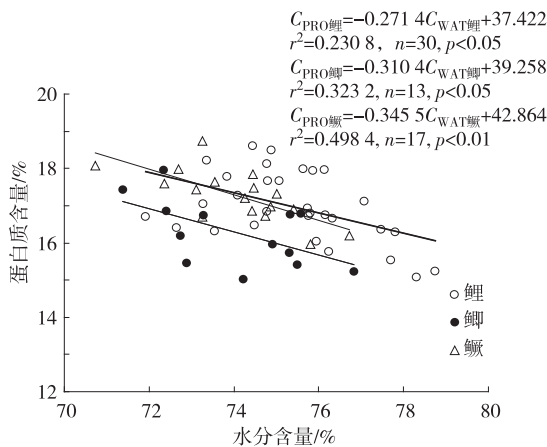


图 5 3 种鱼水分含量和蛋白质含量的关系

Fig. 5 The relationship between water content and protein content in three fishes

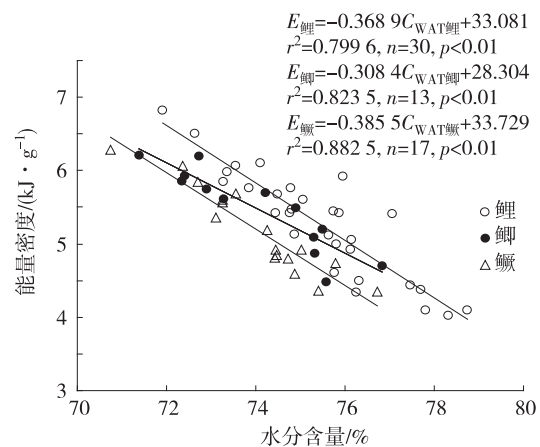


图 6 3 种鱼水分含量与能量密度的关系

Fig. 6 The relationship between water content and energy density in three fishes

3 讨论

通常情况下,鱼类能量学研究将体长-体质量关系作为重要参考指标^[11]。很多研究者将两者关系表达为 $W=aL^b$,其中, a 代表单位体长的体质量, b 反映鱼类生长生理特性^[12]。 b 值等于 3 表示等速生长;而 b 值大于或小于 3 表示异速生长^[13]。多数长江流域的鱼类 b 值在 2.40~3.95 之间^[14],已有研究中的铜鱼(*Coreius heterodon*)、大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)、南方鲇(*Silurus meridionalis*)、野生三角鲂(*Magalobram tarminalis*)等的 b 值均在此范围内^[15-18]。本研究表明,沱江富顺段的鲤鱼和大眼鳊的幂指数 b 分别为 2.899 和 2.729,小于 3,表明这两种鱼呈负异速生长,而鲫鱼的幂指数 b 为 3.362,呈正异速生长。

已有研究提出,可用鱼体水分含量预测蛋白质含量、脂肪含量和能量密度^[11,15-21]。本研究中的鲤鱼、鲫鱼和大眼鳊蛋白质含量、脂肪含量和能量密度与水分含量也均呈显著的负直线相关关系($p<0.05$),提示可以采用水分含量估算 3 种鱼的蛋白质含量、脂肪含量和能量密度。另外本研究还发现,鲤鱼、鲫鱼和大眼鳊的水分含量与能量密度的相关性系数 r^2 值分别为 0.800,0.824 和 0.883,采用水分含量估测能量密度的方程可得 3 种鱼的能量密度分别为 5.26,5.47,5.18 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$,这与本研究采用脂肪含量和蛋白质含量并用本文 1.1 部分的公式推算出的鱼体能量密度(表 1)非常接近;而鲤鱼、鲫鱼和大眼鳊脂肪含量与能量密度的相关性系数 r^2 值分别为 0.863,0.851,0.937,采用脂肪含量估测能量密度的方程可得 3 种鱼的能量密度分别为 5.30,5.47,5.17 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$,表明采用脂肪含量估算鱼体能量密度存在较大的种间差异,而采用水分含量估算能量密度比脂肪含量具有较大的可靠性。

鱼类在发育早期阶段,鱼体蛋白质含量高于脂肪含量,表明早期阶段鱼类摄入的能量更多用于蛋白质的合成^[22-25],可能为了提高生存竞争能力和降低被捕食的风险^[26]。但随着生长,鱼体脂肪含量增加的速率比蛋白质

含量增加得快,因此能量密度随生长的变化常取决于脂肪含量的变化^[11,27]。本研究发现,以体长为协变量进行协方差分析,鲫鱼的体质量显著大于鲤鱼和大眼鳊,这可能与它们的生境、食性等因素有关。鲫鱼为定居性杂食性鱼种^[28],在环境较差的水体中也能生长和繁殖^[7],因此,在幼鱼阶段其储存能量物质较高。另外,本研究发现大眼鳊的水分含量显著低于鲤鱼和鲫鱼,而灰分含量又显著高于鲤鱼和鲫鱼。张昊星^[29]和黄庆达^[30]分别研究了大鳍鱈(*Mystus macropterus*)和草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)体内的水分含量和灰分含量,发现肉食性的大鳍鱈水分含量较低而灰分含量较高,而草食性的草鱼水分含量较高而灰分含量较低。以上研究结果提示鱼体水分含量和灰分含量与自身食性和营养等级有关,肉食性的鱼体水分含量偏低而灰分含量偏高,可能的原因是肉食性鱼类含有较高的矿物质元素,其中的生理机制需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 曹六俊,叶丽丽,赵蕾,等.内江市主城区沱江丰水期水质调查研究[J].内江师范学院学报,2008,23(1):263-266.
Cao L J, Ye L L, Zhao L, et al. Neijiang city altogether Tuojiang river water quality research[J]. Journal of Neijiang Teachers College, 2008, 23(1): 263-266.
- [2] 肖玖金,李旭东,王红磊,等.沱江水质现状评价与变化趋势分析[J].中国给水排水,2010,26(22):119-120.
Xiao J J, Li X D, Wang H L, et al. Tuojiang river water quality present situation assessment and trend analysis[J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(22): 119-120.
- [3] Halver J E, Hardy R W. Fish nutrition[M]. 3rd edition. Amsterdam: Elsevier Inc, 2002.
- [4] 崔奕波.草鱼生物能量学研究进展[J].中国科学基金,1998(1):9-13.
Cui Y B. The biological energy study progress in grass carp [J]. Science Foundation in China, 1998(1): 9-13.
- [5] Brett J R, Groves T D. Physiological energetic in "Fish Physiology"[M]. New York: Academic Press, 1979: 279-352.
- [6] Dawdon 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]. Journal of Fish Biology, 1980, 16(5): 493-504.
- [7] 丁瑞华.四川鱼类志[M].成都:四川科学技术出版社,1994: 274-513.
Ding R H. The fishes of Sichuan[M]. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science and Technology, 1994: 274-513.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Craig J E. The body composition of the adult perch, *Perca fluviatilis* in windermere, with reference to seasonal changes and reproduction [J]. Journal of Animal Ecology, 1977, 46(2): 617-632.
- [11] 吴斌,罗毅平,谢小军.圆口铜鱼幼鱼鱼体的化学组成及能力密度[J].西南大学学报:自然科学版,2008,30(10): 62-67.
Wu B, Luo Y P, Xie X J. Chemical composition and energy density in juvenile *Coreius guichenoti* [J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2008, 30(10): 62-67.
- [12] Von Bertalanffy L. A quantitative theory of organic growth [J]. Human Biology, 1938(10): 181-213.
- [13] Riker R E. Computation and interpretation of biological statistics of fish population [M]. New Jersey: Blackburn Press, 1975.
- [14] 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.
- [15] 王书磊,姜志强.大龙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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Weatherley A H, Gill H S. Protein, lipid, water and caloric contents of immature rainbow trout, *Salmo Gairdneri*, growing at different rates [J]. Journal of Fish Biology,

- 1983, 23(6):653-673.
- [20] 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.
- [21] 林小植, 李东梅. 不同体长斑纹舌鳢虎鱼鱼体成分的研究[J]. 淡水渔业, 2012, 42(3): 78-80.
Lin X Z, Li D M. The chemical composition research in different length *Glossogobius olivaceus* [J]. Freshwater Fishery, 2012, 42(3): 78-80.
- [22] Luo Y P, Huang Q D, Zhang Y R, et al. Comparison of the body proximate compositions of juvenile bronze gudgeon (*Coreius hetero*) and largemouth bronze gudgeon (*C. guichenoti*) in the upstream region of the Yangtze river [J]. Springer Plus, 2013, 2(1): 75.
- [23] Berg O K, Bremset G. Seasonal changes in the body composition of young riverine Atlantic salmon and brown trout [J]. Journal of Fish Biology, 1998, 52(6): 1272-1288.
- [24] Jonsson N, Jonsson B. Body composition and energy allocation in life-history stages of brown trout [J]. Journal of Fish Biology, 1988, 53(6): 1306-1316.
- [25] Sogard S M, Spencer M L. Energy allocation in juvenile sablefish: effects of temperature, ration and body size [J]. Journal of Fish Biology, 2004, 64(3): 726-738.
- [26] Calow P, Tytler P. Adaptive aspects of energy allocation [J]. Fish Energetics, 1985: 13-31.
- [27] 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.
- [28] 刘恩生, 刘正文, 鲍传和. 太湖鲫数量变化的规律及与环境间关系的分析[J]. 湖泊科学, 2007, 19(3): 345-350.
Liu E S, Liu Z W, Bao C H. The changes of catches of *Carassius auratus* and relationship with environment in Lake Taihu [J]. Journal of Lake Science, 2007, 19(3): 345-350.
- [30] 张昊星. 大鳍鱮鱼体能量密度及预测模型[J]. 水生生物学报, 2003, 27(4): 396-401.
Zhang H X. The models for predicting energy density of fish body in *Mystus macropterus* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2003, 27(4): 396-401.
- [31] 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): 41-45.
Huang Q D. Chemical composition in juvenile *Ctenopharyngodon idella* at different body length [J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2013, 35(2): 41-45.

Animal Sciences

Chemical Composition and Energy Density of *Cyprinus carpio*, *Carassius auratus* and *Siniperca kneri* in Fushun Section of Tuo River

LIANG Min, CHENG Weidong, ZHANG Xuanke, YUAN Lunqiang
(Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development of Ministry of Education, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: 60 specimens of *Cyprinus carpio* (c), *Carassius auratus* (a) and *Siniperca kneri* (k) were collected from Tuo River, Fushun, Sichuan in October, 2013. Their chemical compositions were measured and their energy density was estimated. The results showed that the average fat contents of three species of fish were 3.24%, 4.13%, and 2.78% respectively, the protein contents were 16.96%, 16.28%, and 17.27%, the water contents were 75.42%, 74.05%, and 74.06%, and the energy density were 5.28, 5.47, and 5.18 kJ · g⁻¹ respectively. The relationship between energy density (E_c, E_a, E_k) and water content ($C_{WATc}, C_{WATa}, C_{WATk}$) in three fishes could be described as: $E_c = -0.3689C_{WATc} + 33.081$, ($r^2 = 0.7996$, $n = 30$, $p < 0.01$); $E_a = -0.3084C_{WATa} + 28.304$, ($r^2 = 0.8235$, $n = 13$, $p < 0.01$); $E_k = -0.3855C_{WATk} + 33.729$, ($r^2 = 0.8825$, $n = 17$, $p < 0.01$). Statistical analysis showed that there was a significant positive correlation between the body length and protein content, fat content and energy density in *Carassius auratus*, but there was not in the other two species of fish. There was a significant negative correlation between the water content and protein content, fat content and energy density in three fishes. The results suggest that the contents of protein, lipid and energy density of *Cyprinus carpio*, *Carassius auratus* and *Siniperca kneri* can be estimated by their water content.

Key words: *Cyprinus carpio*; *Carassius auratus*; *Siniperca kneri*; chemical composition; energy density; Tuo River

(责任编辑 方兴)