

不同大小黑尾鲮鱼体的化学组成及能量密度^{*}

罗毅平, 陈谊谊

(西南大学 生命科学院, 重庆 400715)

摘要 为探讨三峡库区黑尾鲮(*Hemiculter leucisculus*)鱼体化学组成随生长过程的变化规律,2007 年 10 月于长江木洞江段采集黑尾鲮 42 尾,体长范围 85 ~ 125 mm,体重(W)范围 5.63 ~ 12.89 g,分为 4 个体长组,分别测定了鱼体化学组成,估算了其能量密度。结果表明,黑尾鲮含水量(WAT)、蛋白质含量(PRO)、脂肪含量(FAT)、灰分含量以其占鲜重的百分比表示,范围分别为 70.24% ~ 76.77%、14.6% ~ 18.85%、1.92% ~ 8.75% 和 3.60% ~ 4.30%,能量密度(E)范围为 4.55 ~ 7.45 kJ/g。脂肪含量和能量密度随体重增加均呈增加的趋势,含水量呈下降趋势,而灰分含量变化不明显。体重与脂肪含量、能量密度呈显著的正线性关系,得到方程 $FAT = 0.45W - 1.34$ ($r^2 = 0.58, n = 21, p < 0.05$) 和 $E = 0.21W + 2.97$ ($r^2 = 0.67, n = 21, p < 0.05$)。含水量与脂肪含量、能量密度呈显著的负线性关系,得到方程 $FAT = 73.00 - 0.92WAT$ ($r^2 = 0.92, n = 21, p < 0.05$) 和 $E = 35.92 - 0.41WAT$ ($r^2 = 0.95, n = 21, p < 0.05$)。结果提示可以用黑尾鲮的含水量及体重估计其含脂量和能量密度,该种鱼较低的脂肪含量及脂肪累积速率与其适应静水生活的习性有关。

关键词 黑尾鲮 体重 化学组成 含水量 能量密度

中图分类号 Q959.483

文献标识码 A

文章编号 1672-6693(2009)03-0012-04

鱼类身体的化学组成和能量密度是鱼类能量学研究的基础资料,其中鱼体的化学组成主要包括水分、蛋白质、脂肪和灰分^[1-3]。已有研究分别探讨了营养状况、水温、季节、繁殖活动等对鱼体化学组成和能量密度的影响^[4-7]。有研究者发现,鱼体水分含量与能量密度、蛋白质和脂肪含量间存在相关关系,提出可以采用鱼体水分含量预测能量密度、蛋白质和脂肪含量的简易方法,但该方法应用的普遍性尚待实验资料验证^[8-10]。随着生长发育,鱼体应当调整各器官功能及相关代谢底物动用状况以适应各生长阶段不同的能量代谢需要。而蛋白质和脂肪是鱼类的主要能源底物,故鱼体的这些化学组成可能随生长过程而产生适应性变化,但该方面的研究资料尚比较缺乏。

黑尾鲮(*Hemiculter leucisculus*)是常见的小型鱼类,有重要食用和药用价值,广泛分布于中国南北各河流、湖泊,喜栖息于水流缓慢或静止水体,主要以藻类、植物碎屑、甲壳动物及昆虫等为食物^[11]。三峡库区成库后,库区水体从流水状态转变为静止状态,黑尾鲮的生活的水体发生明显变化,故与其游泳运动、摄食等活性相关的耗能水平可能发生变化。同

时由于食物资源丰富度增加,鱼体可摄入能量增多。这些因素均可能影响其身体能量含量和化学组成,但目前尚无有关该种鱼身体能量密度和化学组成的研究报道。本文主要探讨该种鱼的化学组成和能量密度及其与生长的关系,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 实验鱼采集及测定

2007 年 10 月于长江干流木洞江段随机采集黑尾鲮 42 尾,测定鱼体常规生物学指标,体长精确到 1 mm,体重精确到 0.1 g。按体长分为 4 组,依次为 80 ~ 100、100 ~ 110、110 ~ 120 和 120 ~ 130 mm。由于部分个体过小,因此组内体长接近的 1 ~ 3 尾鱼合为一个样品,进行化学分析,各组平行样品数分别为 4、7、7 和 3。在 70 °C 下烘至恒重,求得其含水量(WAT,以其占鲜重的百分比表示),然后研磨成细末,放入小瓶中,保存于 -20 °C 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。脂肪含量(FAT)、蛋白质含

* 收稿日期 2009-03-21 修回日期 2009-04-08

资助项目 国家自然科学基金(No. 30371121) 重庆市自然科学基金(No. CSTC2008BB7097 No. CSTC2008BB1382)

作者简介 罗毅平,男,副教授,博士,研究方向为鱼类生理生态。

量(PRO)和灰分含量(均以其占鲜重的百分比表示)^[6],鱼体能量密度(*E*)采用文献[12]的公式推算。

1.2 数据处理方法

采用 Excel2003 软件对实验数据进行统计分析并制图,实验结果用平均数 ± 标准误差 (Mean ± S. E.) 表示;采用 SPSS13.0 进行单因素方差分析 (ANOVA),然后进行多重比较 (LSD 法)。

2 结果

2.1 体长与体重的关系

体长组 1、2、3 和 4 的体长平均值分别为 95.1、104.2、113.8 和 123.3 mm,体重随体长增加而增加,其平均值分别为 7.57、10.73、13.50 和 17.34 g (表 1)。以体长(*L*)为自变量,体重(*W*)为因变量,进行相关分析表明,二者存在显著的相关关系 ($p < 0.05$),采用公式 $W = a \cdot L^b$ 进行回归运算^[13],得到体长和体重关系式为 $W = 0.021\ 3\ L^{2.82}$ ($r^2 = 0.86$, $n = 42$, $p < 0.05$) (图 1)。

表 1 黑尾鲮的化学组成和能量密度

Tab. 1 Biochemical composition and energy density in *Hemiculter leucisculus*

指标	体长分组			
	1	2	3	4
体长/mm	95.1 ± 4.5	104.2 ± 4.3	113.8 ± 1.3	123.3 ± 2.1
体重/g	7.57 ± 0.89 ^a	10.73 ± 1.24 ^b	13.50 ± 0.78 ^c	17.34 ± 1.04 ^d
含水量/%	76.21 ± 0.12 ^a	75.52 ± 1.49 ^a	74.17 ± 1.65 ^a	71.81 ± 2.17 ^b
蛋白质含量/%	15.37 ± 0.92 ^a	16.84 ± 1.06 ^b	16.61 ± 0.35 ^b	17.12 ± 0.82 ^b
脂肪含量/%	2.92 ± 0.19 ^a	3.06 ± 1.17 ^{ab}	4.45 ± 1.44 ^b	7.02 ± 2.56 ^c
灰分含量/%	3.88 ± 0.28	4.07 ± 0.11	4.00 ± 0.16	4.11 ± 0.16
能量密度/(kJ · g ⁻¹)	4.78 ± 0.20 ^a	5.18 ± 0.59 ^{ab}	5.67 ± 0.60 ^b	6.81 ± 0.84 ^c

注 同一行中带不同上标字母的表示差异显著 ($p < 0.05$)。

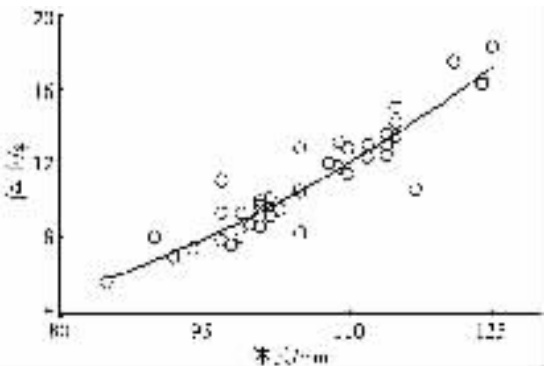


图 1 黑尾鲮鱼体的体长与体重的关系

Fig. 1 Relationship between the body length and the weight of *Hemiculter leucisculus*

2.2 鱼体化学组成和能量密度

体长组 1、2、3 和 4 的含水量平均值分别为 76.21、75.52、74.17 和 71.81% 蛋白质含量平均值分别为 15.37、16.84、16.61 和 17.12% 脂肪含量的平均值分别为 2.92、3.06、4.45 和 7.02% 灰分含量的平均值分别为 3.88、4.07、4.00 和 4.11% 能量密度平均值分别为 4.78、5.18、5.67 和 6.81 kJ/g。其中,含水量随体长的增加而降低;蛋白质含量、脂肪含量和能量密度随体长的增加而增加;灰分变化不明显(表 1)。

2.3 体重与鱼体化学组成和能量密度的关系

体重分别与脂肪含量和能量密度均存在显著的相关关系 ($p < 0.05$)。以体重为自变量,分别以含水量、脂肪含量和能量密度为因变量,进行线性回归,得到方程 $WAT = 80.55 - 0.49W$ ($r^2 = 0.63$; $p < 0.05$) (图 2)、 $FAT = 0.45W - 1.34$ ($r^2 = 0.58$; $p < 0.05$) (图 3) 和 $E = 0.21W + 2.97$ ($r^2 = 0.67$; $p < 0.05$) (图 4)。而体重与蛋白质含量、体重与灰分含量无显著的相关关系。

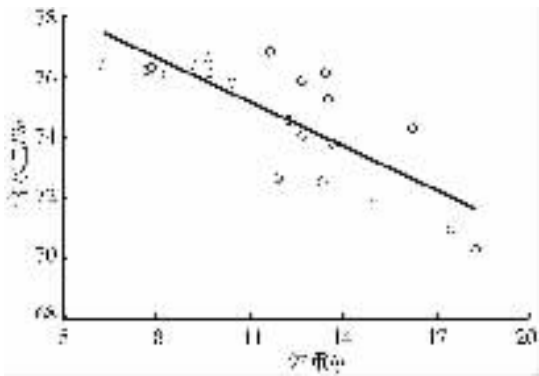


图 2 黑尾鲮体重和含水量关系

Fig. 2 Relationship between the body weight and the content of water of *Hemiculter leucisculus*

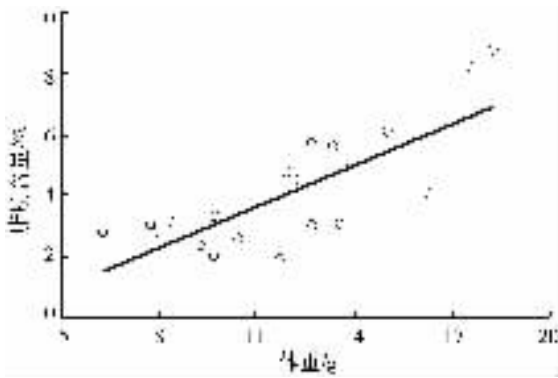


图 3 黑尾鲮体重和脂肪含量关系

Fig. 3 Relationship between the body weight and the content of lipid of *Hemiculter leucisculus*

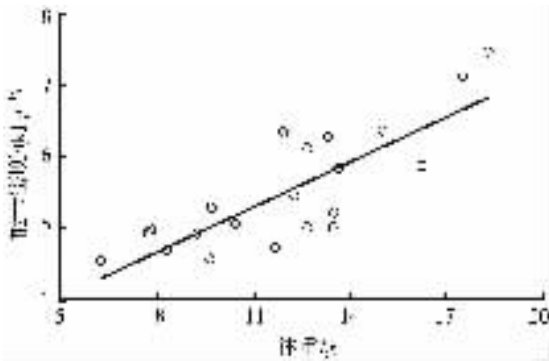


图 4 黑尾鲮体重和能量密度关系

Fig. 4 Relationship between the body weight and the energy density of *Hemiculter leucisculus*

2.4 含水量与其它化学组成和能量密度的关系

含水量与脂肪含量和能量密度均存在显著的相关关系($p < 0.05$),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 $FAT = 73.00 - 0.92WAT$ ($r^2 = 0.92$; $p < 0.05$) (图 5) 和 $E = 35.92 - 0.41WAT$ ($r^2 = 0.95$; $p < 0.05$) (图 6)。含水量与蛋白质含量、体重与灰分含量的相关性均不明显。

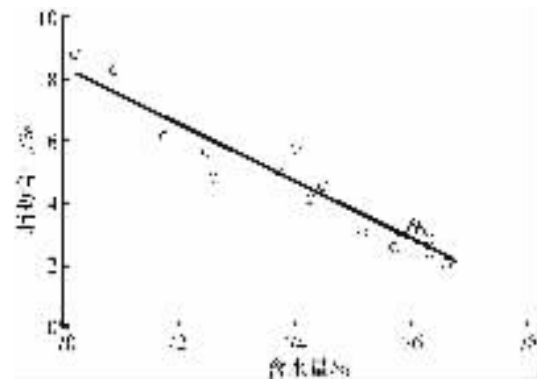


图 5 黑尾鲮含水量和含脂量的关系

Fig. 5 Relationship between the content of water and the content of lipid of *Hemiculter leucisculus*

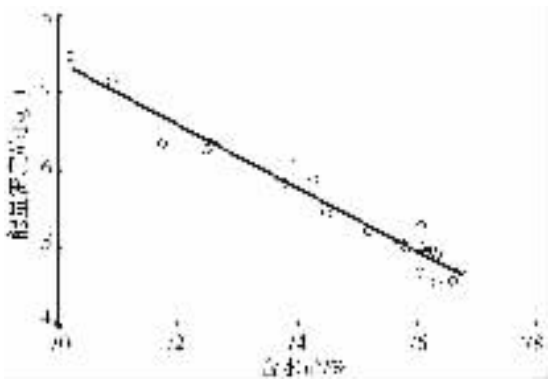


图 6 黑尾鲮含水量和能量密度的关系

Fig. 6 Relationship between the content of water and energy density of *Hemiculter leucisculus*

3 讨论

鱼类体长-体重 ($L-W$) 关系是鱼类生物学研究中经常涉及的主要内容之一^[13-15],通常描述为 $W = a \cdot L^b$ 。其中 a 表示单位体长的鱼体的体重, b 值反映鱼类生长的生理学方面的特殊性。 b 等于 3 表示等速生长,即在生长过程中体形和比重保持不变, b 值大于或小于 3 则表示异速生长^[16]。在本研究中,黑尾鲮的 b 值为 2.79,表示黑尾鲮为异速生长。多数鱼类的指数 b 值通常介于 2~3.5^[17],本研究结果在其范围内。

鱼体化学组成和能量密度的测定技术比较复杂,工作量大。一些研究者发现,鱼体含水量的测定技术简单,工作量相对小,是比较理想的能量密度估测指标,鱼体的含水量与和能量密度之间存在显著的线性关系^[6,10,12]。本研究结果表明,黑尾鲮的含水量与含脂量和能量密度之间均存在显著的负线性关系,其相关系数分别达到 0.92 和 0.95,因此可以采用黑尾鲮的含水量估计其含脂量和能量密度,但不能估计其蛋白质含量和灰分含量。

有研究发现,鱼体的干物质含量、脂肪含量和能量密度随体重的增加而增加^[1,18],而蛋白质和灰分含量则无明显规律^[4]。与已有的研究结果相似,本研究中黑尾鲮的脂肪含量和能量密度均随体重的增加而增加,含水量随体重的增加而较少,蛋白质和灰分含量与体重的相关性不明显。由于黑尾鲮的脂肪含量和能量密度均与体重呈线性相关关系,本研究结果提示,也可用体重这一简易参数对该种鱼的脂肪含量和能量密度作粗略估计。

脂肪含能量高,是鱼体的主要能量之一,在鱼类生活史中具有重要的生物学意义,其含量影响鱼类的繁殖力^[19-20]和抵御饥饿的能力^[21],多数洄游性鱼类有较高的脂肪含量^[17]。比较已有的研究资料发现,黑尾鲮的身体脂肪含量低于同一水域生活的圆口铜鱼,且其脂肪含量随生长而增加的速率也比圆口铜鱼慢^[17]。黑尾鲮是喜静水生活的鱼类,生活史中无洄游行为,结果提示该种鱼不需要过多储备脂肪即能满足生存适应需要。

参考文献:

[1] Cui Y B. The theory and method on bioenergetics [J]. Acta Hydrobiol Sin, 1989, 13: 377-383.
[2] Jonsson N, Jonsson B. Body composition and energy allocation in life-history stages of brown trout [J]. J Fish Biol, 1998, 53: 1306-1316.

- [3] Richardson 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 :328-346.
- [4] 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.
- [5] 曹振东, 谢小军. 南方鲇鱼体的能量密度及其预测模型 [J]. 海洋与湖沼, 2002, 33 (1) :68-74.
- [6] 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预测模型 [J]. 生态学报, 2003, 23 (1) :122-129.
- [7] 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.
- [8] Weatherley A H, Gill H S. Protein, lipid, water and caloric contents of immature rainbow trout, *Salmo gairdneri* richardson, growing at different rates [J]. J fish biol. 1983, 23 :653.
- [9] Falth L E, Diana J S. Seasonal energy dynamics of the alewife in southeastern lake michigan [J]. T am fish soc, 1985, 114 :328-337.
- [10] Hartman K J, Brandt S B. Estimating energy density of fish [J]. T Am Fish Soc, 1995, 124 :347-355.
- [11] 曹玉萍, 温振刚. 白洋淀白鲢鱼的生物学研究 [J]. 河北大学学报, 1996, 16 (3) :27-30.
- [12] Brett J R, Groves T D D. Physiological energetics in "Fish physiology" [M]. New York :Academic Press, 1979, 8 :279-352.
- [13] Von Bertalanffy L. A quantitative theory of organic growth [J]. Hum Biol, 1938, 10 :181-213.
- [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.
- [15] 彭姜岚, 曹振东, 付世建. 鲇鱼形态特征参数与体长关系及变异分析 [J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2007, 24 (1) :69-71.
- [16] Ricker W E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations [J]. Bull Fish Res Board Can, 1975 (191) :1-382.
- [17] 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.
- [18] Xie S, Cui Y, Yang Y, et al. Energy budget of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in relation to ration size [J]. Aquaculture, 1997, 157 :25-68.
- [19] Xie X J, Long T C, Zhang Y G, et al. Reproduction investment in the southern catfish (*Silurus meridionalis*) [J]. J Fish Biol, 1998, 52 :259-271.
- [20] Hutchings J A, Pickle C R, McGregor-Shaw C R, et al. Influence of sex, body size, and reproduction on over winter lipid depletion in brook trout [J]. J Fish Biol, 1999, 55 :1020-1028.
- [21] Simpkins D G, Hubert W A, Martinez D R, et al. Constraints of body size and swimming velocity on the ability of juvenile rainbow trout to endure periods without food [J]. J Fish Biol, 2004, 65 :530-544.

The Chemical Composition and Energy Density in *Hemiculter leucisculus* with Different Body Size

LUO Yi-ping, CHEN Yi-yi

(School of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract : To discover the variation of body chemical composition with the increasing body size in *Hemiculter leucisculus*, 42 specimens of this fish whose length and body weight (W) ranged 85 ~ 125 mm and 5.63 ~ 12.89 g respectively are collected from Yangtze River in October, 2007, and divided into 4 groups according to the body length. Chemical compositions are measured and energy density is estimated. The results show that the contents of water (WAT), protein (PRO), lipid (FAT) and ash (represented by percentage of them in fresh body weight of fish, respectively) ranged 70.24% ~ 76.77%、14.6% ~ 18.85%、1.92% ~ 8.75% and 3.60% ~ 4.30%, respectively. The energy density (E) ranges 4.55 ~ 7.45 kJ/g. With the increasing body size FAT and E increase, while WAT decrease. The contents of ash vary erratically. FAT and E are all significantly correlated positively with W , and the regression equations are : $FAT = 0.45W - 1.34$ ($r^2 = 0.58$, $n = 21$, $p < 0.05$), and $E = 0.21W + 2.97$ ($r^2 = 0.67$, $n = 21$, $p < 0.05$) respectively. The contents of lipid and energy density are all significantly correlated negatively with the contents of water, and the regression equations are : $FAT = 73.00 - 0.92WAT$ ($r^2 = 0.92$, $n = 21$, $p < 0.05$), and $E = 35.92 - 0.41WAT$ ($r^2 = 0.95$, $n = 21$, $p < 0.05$). The results suggest that the contents of lipid and energy density of *Hemiculter leucisculus* can be estimated by the contents of water or body size. The lower content and slow accumulation of lipid with the increasing body size in this fish may be resulted from its acclimation to the still water environment.

Key words : *Hemiculter leucisculus* ; body weight ; chemical composition ; water content ; energy density

(责任编辑 方 兴)