

饥饿对尼罗罗非鱼幼鱼粗化学成分的影响^{*}

王 文, 王倩倩, 张玉蓉, 黄庆达, 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:为讨论尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)幼鱼的鱼体化学成分和能量密度随饥饿时间延长的变化规律,2010年1月采集初始体质量为(3.61±0.13)g的尼罗罗非鱼幼鱼40尾,以饥饿处理0d为对照,将饥饿处理8、15、22和45d分为4个组,分别测定所有材料的鱼体化学成分,估算了能量密度。结果表明,随饥饿时间(*t*)天数的延长,尼罗罗非鱼幼鱼的蛋白质含量(*PRO*)、脂肪含量(*FAT*)和能量密度(*E*)降低,可以分别描述为方程 $PRO = 14.727e^{-0.0065t}$ ($r^2 = 0.707, n = 37, p < 0.05$)、 $FAT = 2.2955e^{-0.0366t}$ ($r^2 = 0.552, n = 37, p < 0.05$)和 $E = 4.4781e^{-0.0113t}$ ($r^2 = 0.694, n = 37, p < 0.05$);随饥饿时间(*t*)天数的延长,含水量(*WAT*)和灰分含量(*ASH*)升高,可以分别描述为方程 $WAT = 76.1969e^{0.0013t}$ ($r^2 = 0.566, n = 37, p < 0.05$)和 $ASH = 4.4678e^{0.0083t}$ ($r^2 = 0.729, n = 37, p < 0.01$);*PRO*、*FAT*和*E*均分别与*WAT*呈显著的负线性关系,可以分别描述为方程 $PRO = 61.9699 - 0.6251WAT$ ($r^2 = 0.740, n = 37, p < 0.05$)、 $FAT = 47.9088 - 0.5938WAT$ ($r^2 = 0.899, n = 37, p < 0.05$)和 $E = 33.5489 - 0.3821WAT$ ($r^2 = 0.955, n = 37, p < 0.05$)。研究认为该种鱼在饥饿初期大量消耗脂肪,并随着饥饿时间的延长,净耗量逐渐减少,同时在整个饥饿过程消耗蛋白质。

关键词:饥饿;鱼体成分;尼罗罗非鱼

中图分类号:Q955

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2012)05-0020-06

由于气候或环境变化及食物资源的时空分布不均匀等原因,鱼类在自然界中经常面临食物资源的缺乏,受到饥饿胁迫^[1]。饥饿会影响鱼类的形态结构、行为活动及生理功能^[2-3],通常导致代谢水平及身体能量物质含量下降^[4-6]。研究饥饿对鱼类的影响有助于了解鱼类适应饥饿的生态对策。

鱼类身体化学成分和能量密度是描述鱼类能量状况的重要基础参数^[7]。鱼体主要的化学成分物质包括水分、蛋白质、脂肪、碳水化合物和灰分,由于碳水化合物含量甚微,通常采用蛋白质和脂肪含量估测鱼体能量密度^[8-9]。鱼体能量密度随时间的变化可作为表征代谢水平的方法之一^[10]。

尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)属于鲈形目(Perciformes)丽鱼科(Cichlidae)罗非鱼属(*Tilapia*),为杂食性、广盐性鱼类,生长迅速、养殖成本低

且肉味鲜美,已成为世界性的主要水产养殖对象之一^[11]。有关该种鱼的生物学研究已有一些资料报道^[12-13]。有研究表明饥饿可导致该种鱼胃、肠、肝脏脏蛋白酶活力显著下降^[14],使日常代谢率降低^[15],但有关饥饿对该种鱼身体化学成分和能量密度的影响尚未见报道。本研究测定了经不同饥饿时间后的尼罗罗非鱼幼鱼的粗化学成分,估算鱼体能量密度,建立了鱼体成分随饥饿时间变化的关系,旨在研究饥饿对该种鱼的鱼体化学成分和能量密度的影响,探讨该种鱼在饥饿中供能底物和代谢水平的变化规律,为能量生态学研究提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 材料鱼的采集和生化测定

2010年1月选取尼罗罗非鱼幼鱼,于实验室内

* 收稿日期:2012-02-21 修回日期:2012-03-09 网络出版时间:2012-9-15 23:19

资助项目:国家自然科学基金(No. 31000958);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:王文,男,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

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20120915.2319.201205.20_006.html

自动控温水族箱(48 cm×32 cm×30 cm)中驯化,每个水族箱喂养实验鱼5尾,水温以每天2℃的速度调至实验设计温度28℃,养殖用水为充分曝气后的自来水,每天换水量为水族箱的1/3,驯化期间用充气泵持续充气,以市场售饲料为饵料,于每天18:00时投喂1次,达饱足。驯化14 d后选取健康的初始体质量为(3.61±0.13) g的尼罗罗非鱼幼鱼40尾进行饥饿处理。实验以饥饿处理0 d为对照组,以饥饿处理8、15、22和45 d作为4个处理组,饥饿处理结束后分别取样测定鱼体化学成分。在70℃条件下烘干至恒重,求得其含水量(WAT),然后研磨成细末,放入小管中,保存于-20℃下待测。采用凯氏定氮法测定样品的总氮含量,乘以6.25即为样品的粗蛋白质含量;采用索氏提取法以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)、蛋白质含量(PRO)和灰分含量(ASH)以其占体质量的百分比表示,鱼体能量密度(E)则采用公式 $E = \text{脂肪含量} \times 39.5 + \text{蛋白质含量} \times 23.6$ (单位:kJ·g⁻¹)来推算^[8]。

鱼体饥饿过程中的体质量特定变化率(A_1)、脂肪特定变化率(A_2)、蛋白质特定变化率(A_3)、能量特定变化率(A_4)、能量消耗率(A_5)和估算耗氧率(A_6)分别用以下公式计算

$$A_1 = (\ln W_1 - \ln W_2) / t \times 100$$

$$A_2 = [\ln(FAT_1 \times W_1) - \ln(FAT_2 \times W_2)] / t \times 100$$

$$A_3 = [\ln(PRO_1 \times W_1) - \ln(PRO_2 \times W_2)] / t \times 100$$

$$A_4 = [\ln(E_1 \times W_1) - \ln(E_2 \times W_2)] / t \times 100$$

$$A_5 = (E_1 \times W_1 - E_2 \times W_2) / [t \times (W_1 + W_2) / 2]$$

$$A_6 = A_5 \times 10^6 / (24 \times 13.68)$$

其中 $A_1 \sim A_4$ 单位均为%·d⁻¹, A_5 单位为kJ·g⁻¹·d⁻¹, A_6 单位为mg·kg⁻¹·h⁻¹(其中mg指消耗氧的毫克数); W_1 和 W_2 分别表示饥饿处理前、后的鱼体质量, FAT_1 、 PRO_1 、 E_1 分别表示饥饿0 d处理的鱼体平均脂肪含量、平均蛋白质含量和平均能量密度, FAT_2 、 PRO_2 和 E_2 分别表示进行一段时间饥饿处理后的鱼体脂肪含量、蛋白质含量和能量密度, t 表示饥饿时间(单位:d)。

1.2 数据处理方法

采用Excel软件进行数据整理,实验结果用“平均值±标准误”(Mean±SE)表示;采用SPSS11.5

软件进行单因素方差分析,然后进行多重比较(LSD检验),对部分相关数据进行回归分析。差异显著性水平为 $p < 0.05$ 。

2 结果

2.1 饥饿时间与鱼体化学成分

表1显示,随饥饿时间延长,体质量降低,但各组体质量差异不显著。随饥饿时间延长,含水量升高,其中饥饿0 d和45 d组分别与其余各组差异显著($p < 0.05$)。随饥饿时间延长,灰分含量升高,除饥饿0 d和8 d组之间没有显著差异外,其余各组之间都存在显著差异($p < 0.05$)。随饥饿时间延长,脂肪含量降低,其中饥饿0 d组和其余各组有显著差异($p < 0.05$),饥饿8 d和45 d组之间有显著差异($p < 0.05$)。随饥饿时间延长,蛋白质含量降低,其中饥饿0 d和45 d组与其余各组有显著差异($p < 0.05$)。能量密度随饥饿时间的延长而降低,其中饥饿8 d与15 d组之间、饥饿15 d与22 d组之间没有显著差异,而其余各组之间都有显著差异($p < 0.05$)。

饥饿时间与含水量、灰分含量、蛋白质含量、脂肪含量和能量密度均存在显著的相关关系($p < 0.05$),以饥饿时间为自变量,分别以含水量、灰分含量、蛋白质含量、脂肪含量和能量密度为因变量,进行回归,得到一系列方程如图1a~图1e所示。

2.2 饥饿不同时期的能量物质消耗速率

表2显示,在体质量特定变化率方面,饥饿0~8 d的材料与其余各组差异显著($p < 0.05$)。以饥饿0 d组的鱼体成分平均值作为近似初始鱼体成分,计算得到饥饿0~8、0~15、0~22和0~45 d的脂肪特定变化率、蛋白质特定变化率、能量特定变化率、能量消耗率和估算耗氧率均参见表2。

2.3 鱼体含水量与蛋白质含量、脂肪含量和能量密度的相关关系

饥饿处理后,尼罗罗非鱼幼鱼的含水量与蛋白质含量、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,分别以蛋白质含量、脂肪含量和能量密度为因变量,进行线性回归,得到一系列方程如图1f~图1h所示。

表 1 尼罗罗非鱼幼鱼的化学成分和能量密度

Tab. 1 Chemical composition and energy density in juvenile Nile tilapia

饥饿分组/d	0	8	15	22	45
样本数/尾	8	8	6	8	7
初始体质量/g	3.38±0.31	3.83±0.17	3.49±0.53	3.52±0.27	3.85±0.21
饥饿后体质量/g	3.38±0.31	3.23±0.16	3.17±0.50	3.09±0.24	2.83±0.23
含水量/%	74.75±0.46 ^a	78.21±0.25 ^b	78.36±0.58 ^b	78.75±0.25 ^b	80.13±0.23 ^c
蛋白质含量/%	14.88±0.13 ^c	13.69±0.14 ^b	13.43±0.42 ^b	12.93±0.30 ^b	11.00±0.46 ^a
灰分含量/%	4.55±0.070 ^a	4.60±0.06 ^a	5.08±0.32 ^b	5.54±0.09 ^c	6.44±0.19 ^d
脂肪含量/%	3.64±0.359 ^c	1.49±0.16 ^b	1.26±0.37 ^{ab}	0.88±0.19 ^{ab}	0.60±0.06 ^a
能量密度/(kJ·g ⁻¹)	4.95±0.169 ^d	3.82±0.08 ^c	3.67±0.23 ^{bc}	3.40±0.13 ^b	2.83±0.10 ^a

注:相同行中带不同上标字母的表示差异显著($p<0.05$)。

表 2 尼罗罗非鱼幼鱼的脂肪、蛋白质和能量特定变化率及能量消耗率

Tab. 2 Fat, protein and energy consumption rate in juvenile Nile tilapia

饥饿时间	0~8 d	0~15 d	0~22 d	0~45 d
体质量特定变化率/%	2.13±0.11 ^c	0.66±0.09 ^b	0.59±0.08 ^b	0.71±0.07 ^b
脂肪特定变化率/(%·d ⁻¹)	13.69±1.24 ^c	9.17±1.99 ^b	7.65±0.91 ^{ab}	4.79±0.20 ^a
蛋白质特定变化率/(%·d ⁻¹)	3.18±0.21 ^b	1.36±0.24 ^a	1.24±0.18 ^a	1.39±0.16 ^a
能量特定变化率/(%·d ⁻¹)	5.38±0.32 ^b	2.72±0.46 ^a	2.32±0.24 ^a	1.96±0.14 ^a
能量消耗率/(kJ·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	0.23±0.01 ^c	0.11±0.02 ^b	0.09±0.01 ^{ab}	0.07±0.00 ^a
估算耗氧率/(mg·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	712.5±36.11 ^c	346.5±50.84 ^b	288.4±25.39 ^{ab}	226.0±13.26 ^a

注:相同行中带不同上标字母的表示差异显著($p<0.05$)。

3 讨论

研究发现,鱼体含水量与蛋白质含量、脂肪含量和能量密度均存在负线性相关关系,可简易地采用鱼体的含水量估测其能量密度^[16-22]。本研究中,饥饿期间的尼罗罗非鱼的含水量也与蛋白质含量、脂肪含量和能量密度也存在显著的负线性关系(图 1f~图 1h)。

在饥饿状态下,鱼类代谢依靠分解身体物质供能^[1,23],导致身体质量和能量物质含量降低^[10,24-25]。本研究中,饥饿使尼罗罗非鱼幼鱼的体质量、脂肪含量、蛋白质含量和能量含量均降低,与已有的研究结果一致。由于含水量、蛋白质含量、脂肪含量和能量密度与饥饿时间均有密切相关(图 1a~图 1e),因此是否可以采用身体成分推测鱼类在自然环境中受到的饥饿程度值得深入研究。

鱼类由于食性、生活方式和身体结构等差异,在饿状态下对代谢底物的利用程度和时序不同^[26],脂肪是鱼类的主要储能物质,多数鱼类以消耗脂肪供能为主,而较少动用蛋白质^[27]。草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)饥饿状态下主要消耗碳水化合物类和脂肪,蛋白质变化不明显^[28];南方鲇(*Silurus meridionalis*)在饥饿初期主要消耗脂肪,然后利用蛋白质^[1];鲢鳙鱼类在饥饿初期则主要消耗蛋白质,

然后利用脂肪^[29]。本研究中,在饥饿初期(0~8 d),尼罗罗非鱼的身体脂肪和蛋白质均显著减少,脂肪特定变化率为高于蛋白质特定变化率(表 2),表明该种鱼在饥饿初期主要以分解脂肪供能,也分解部分蛋白质供能。饥饿时间延长后(0~45 d),该种鱼的脂肪特定变化率仍然高于蛋白质特定变化率(表 2)。这提示在较长期的饥饿中,该种鱼的供能底物仍以脂肪为主。蛋白质是鱼体组织细胞重要的结构物质,为机体提供氮源,构成酶、抗体和激素等生理活性物质以完成代谢生化反应、参与免疫反应、调节生理功能等^[30-33]。在本研究中,处于饥饿初期的尼罗罗非鱼幼鱼蛋白质含量有一定降低,提示短期的饥饿可能影响其生理功能。相似的研究结果表明,饥饿 9 d 后,奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)幼鱼的脂肪酶活力迅速下降^[34],饥饿 25 d 后,尼罗罗非鱼幼鱼蛋白酶活性降低^[14]。

不同种类的鱼应对饥饿的代谢适应对策可能不同^[1],一些鱼类在饥饿条件下继续维持较高的代谢水平,以保持较强的食物资源获取能力;另一些鱼类则迅速下调代谢水平,减少能量消耗以增加存活机会。本研究中,尼罗罗非鱼的耗能水平对饥饿的反应敏感,表 2 显示它的能量消耗率在饥饿初期(0~8 d)较高(0.23 kJ·g⁻¹·d⁻¹),然后迅速降低,并维持在

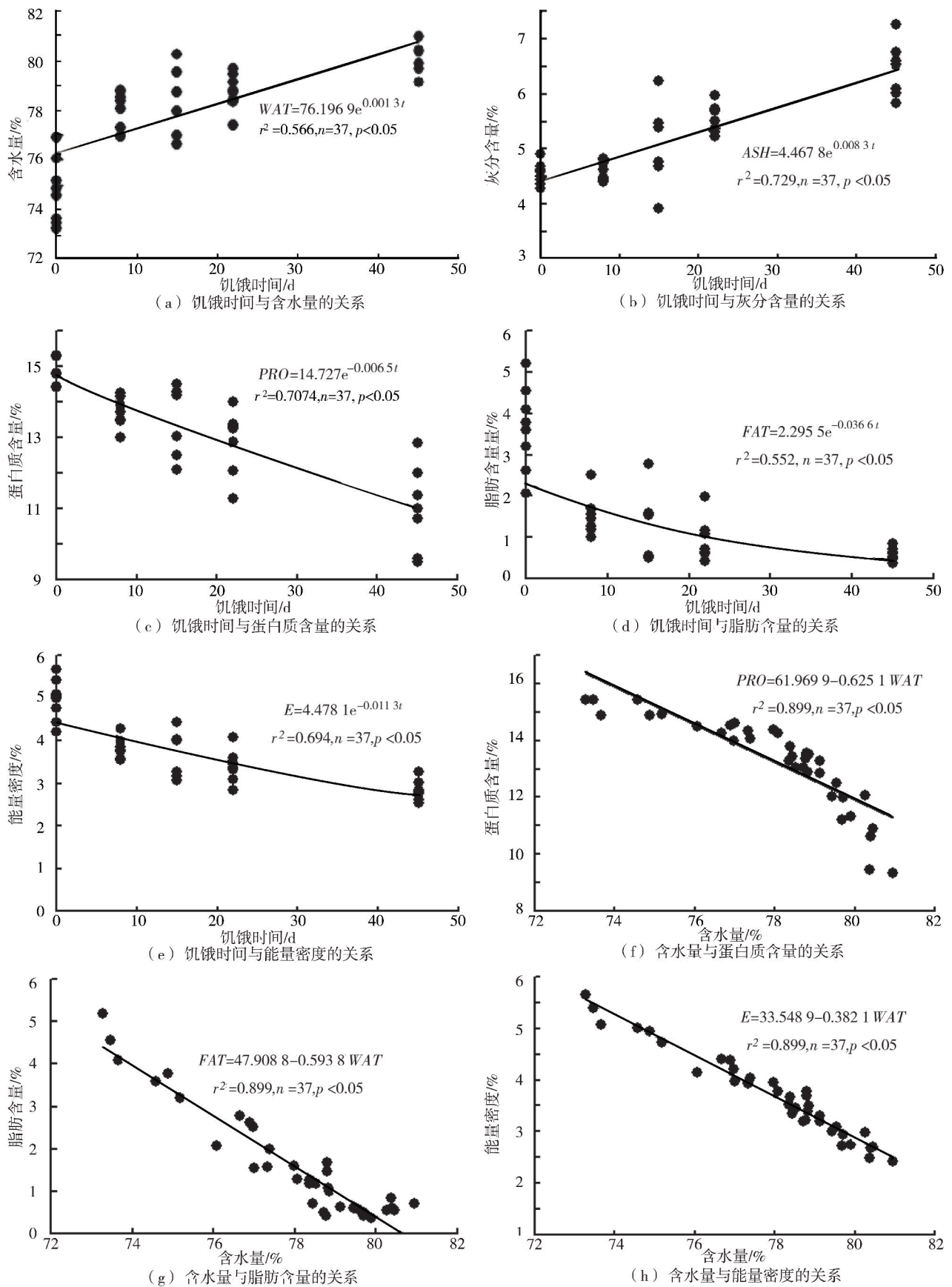


图1 饥饿时间和含水量分别与身体成分的关系

Fig. 1 Relationship between starvation or water content and chemical composition of juvenile Nile tilapia

相对稳定的低水平。这提示该种鱼采用上述后一类代谢对策来适应饥饿胁迫。饥饿 45 d 后鱼体总能量含量为 $2.83 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ (表 1), 若假定尼罗罗非鱼维持 $0.07 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 的代谢水平, 则理论上鱼体储能最多还可维持 40 d 的代谢需要。鱼类的代谢水平用呼吸速率或身体成分变化速率两种方式所得结果可能不同^[10]。Biswas 等人的研究显示在 28 °C 条件下, 尼罗罗非鱼幼鱼(体质量为 8.6~9.5 g)在饥饿 6 d 过程中的平均耗氧率为 $249.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ^[15]。本研究以耗氧热能系数即每毫克氧 13.68 J 推算, 得到饥饿 0~8、0~15、0~22 和 0~45 d 的尼罗罗非鱼幼鱼的平均耗氧率分别为 712.5、346.5、288.4 和 226.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 远高于 Biswas 等的研究结果。因此, 研究结果支持 Lauff 和 Wood 提出的观点, 即采用鱼体组成变化反映的代谢率与采用耗氧率反映的代谢率有较大差异^[10]。

参考文献:

- [1] 谢小军, 邓利, 张波. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展[J]. 水生生物学报, 1998, 22(2): 181-188.
- [2] 徐永江, 蔡文超, 柳学周. 饥饿对漠斑牙鲆前期仔鱼生长发育的影响[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(6): 51-55.
- [3] Quinton J C, Blake R W. The effect of feed cycling and ration level on the compensatory growth response in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. J Fish Biol, 1990, 37(1): 33-41.
- [4] Ehrlich K F, Blaxter J H S, Pemberton R. Morphological and histological changes during the growth and starvation of herring and plaice larvae[J]. Mar Biol, 1976, 35: 105-118.
- [5] 沈文英, 金叶飞, 金俊, 等. 饥饿和再投喂对白鲫生物化学组分的影响[J]. 绍兴文理学院学报, 2002, (8): 49-51.
- [6] 汤洪芬, 曹振东, 付世建. 饥饿过程鲑鱼幼鱼静止代谢、身体组成及与力竭性运动后过量耗氧的关系[J]. 水生生物学报, 2010, (1): 190-195.
- [7] 刘家寿, 崔奕波. 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): 19-24.
- [8] Brett J R, Groves T D D. Physiological energetic in "fish physiology" [M]. New York: Academic Press, 1979: 279-352.
- [9] 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.
- [10] Lauff R F, Wood C M. Respiratory gas exchange, nitrogenous waste excretion, and fuel usage during starvation in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. J Comp Physiol B, 1996, 165(7): 542-551.
- [11] 陈素芝, 叶卫. 我国引进的罗非鱼类的初步研究[J]. 动物学杂志, 1994, 29(3): 18-23.
- [12] Mazid M A, Tanaka Y, Katayama T, et al. Growth response of *Tilapia zillii* fingerlings fed isocaloric diets with variable protein levels [J]. Aquaculture, 1979, 18(2): 115-122.
- [13] 董在杰, 梁政远, 明俊超, 等. 尼罗罗非鱼体重与体维可量性状之间的关系[J]. 广东海洋大学学报, 2010, 30(1): 32-38.
- [14] 侯凤霞, 张健东, 叶富良, 等. 饥饿和再投喂对尼罗罗非鱼蛋白酶活性的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2007, 27(4): 11-15.
- [15] Biswas A K, Endo M, Takeuchi T. Effect of different photoperiod cycles on metabolic rate and energy loss of both fed and unfed young tilapia *Oreochromis niloticus*: part I [J]. Fish Sci, 2002, 68(3): 465-477.
- [16] 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.
- [17] Craig J E. The body composition of the adult perch, *Perca fluviatilis* in windermere, with reference to seasonal changes and reproduction [J]. J Anim Ecol, 1977, 46: 617-632.
- [18] 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.
- [19] 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* (L.) [J]. J Fish Biol, 1988, 32: 749-764.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 罗毅平, 陈谊谊. 不同大小黑尾鲢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.
- [23] 隗黎丽. 饥饿对鱼类影响的研究[J]. 饲料工业, 2009, 30(20): 56-57.
- [24] 邓利, 张波. 南方鲑继饥饿后的恢复生长[J]. 水生生物学报, 1999, 23(2): 167-173.
- [25] 郑宗林, 黄朝芳, 彭银宏. 饥饿对鱼类生长的影响[J]. 江西水产科技, 2001(4): 14-17.

- [26] 宋昭彬,何学福. 鱼类饥饿研究现状[J]. 动物学杂志, 1998, 33(1):48-52.
- [27] 钱周兴,徐永清,方一峰. 饥饿对鱼类的影响[J]. 生物学通报, 2006, 41(6):9-11.
- [28] 沈文英,林浩然,张为民. 饥饿和再投喂对草鱼鱼种生物化学组成的影响[J]. 动物学报, 1999, 45(4):404-412.
- [29] Mommsen T P, French C J, Hochachka P W. Sites and patterns of protein and amino acid utilization during the spawning migration of salmon[J]. Can J Zool, 1980, 58(10): 1785-1799.
- [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] 胡麟,吴天星. 饥饿对鱼类生理生化的影响[J]. 水利渔业, 2007, 27(1):7-9.
- [33] 熊炎成. 鱼类营养学知识讲座 第五讲 蛋白质、脂肪和糖类的生理功能[J]. 渔业致富指南, 2003, (5):54-55.
- [34] 王辉,强俊,李瑞伟,等. 短期饥饿对奥尼罗非鱼幼鱼生长和几种消化酶的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2010, 30(1): 7-12.

Animal Sciences

Effects of Starvation on Body Chemical Composition and Energy Density in Juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)

WANG Wen, WANG Qian-qian, ZHANG Yu-rong, HUANG Qing-da, LUO Yi-ping

(Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development (Ministry of Education),

Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: 40 specimens of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) (initial weight: (3.61 ± 0.13) g) were divided into 5 groups, and were starved for 0, 8, 15, 22 and 45d respectively. Body chemical compositions were measured and energy density was estimated during starvation. The results showed that the contents of protein (*PRO*), lipid (*FAT*) and energy density (*E*) are negatively related to starvation. The relationships between *PRO*, *FAT*, or *E* and starvation time (*t*, unit: d) could be described as: $PRO = 14.727e^{0.0065t}$ ($r^2 = 0.707$, $n = 37$, $p < 0.05$), $FAT = 2.2955e^{0.0366t}$ ($r^2 = 0.552$, $n = 37$, $p < 0.05$) and $E = 4.4781e^{0.0113t}$ ($r^2 = 0.694$, $n = 37$, $p < 0.05$). The contents of water (*WAT*) and ash (*ASH*) are positively related to starvation. The relationships between *WAT* or *ASH* and *t* could be described as: $WAT = 76.1969e^{0.0013t}$ ($r^2 = 0.566$, $n = 37$, $p < 0.05$) and $ASH = 4.4678e^{0.0083t}$ ($r^2 = 0.729$, $n = 37$, $p < 0.01$); the contents of protein (*PRO*), lipid (*FAT*) and energy density (*E*) are negatively related to the contents of water (*WAT*), the relationships between *PRO*, *FAT* or *E* and *WAT* could be described as: $PRO = 61.9699 - 0.6251WAT$ ($r^2 = 0.740$, $n = 37$, $p < 0.05$), $FAT = 47.9088 - 0.5938WAT$ ($r^2 = 0.899$, $n = 37$, $p < 0.05$) and $E = 33.5489 - 0.3821WAT$ ($r^2 = 0.955$, $n = 37$, $p < 0.05$). Lipid was mainly consumed during short term starvation and the net consumption gradually reduced with prolonged starvation, and protein was also consumed throughout the whole starvation process.

Key words: starvation; chemical composition; *Oreochromis niloticus*

(责任编辑 方 兴)