

饥饿与再投喂对鳊鱼幼鱼糖代谢的影响^{*}

范国燕, 赵春彦, 李英文

(重庆师范大学 生命科学学院 重庆市动物生物学重点实验室 重庆市生物活性物质工程研究中心, 重庆 400047)

摘要 在(20 ± 1) °C 条件下测定短期饥饿和再投喂不同时间后鳊鱼(*Parabramis pekinensis*)幼鱼肝指数、肝糖原含量和血糖浓度的变化, 以正常持续喂食实验鱼作为对照组, 分别在饥饿处理 0、1、4、7、12 d 后以及饥饿 12 d 再恢复投喂 1、4、7、15 d 后取样。结果显示, 实验鱼随饥饿时间的延长, 肝指数和肝糖原含量均呈显著下降趋势($p < 0.05$), 饥饿 4 d 后分别为(1.34 ± 0.05)、(10.53 ± 4.18) $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 均显著低于初始水平($p < 0.05$), 饥饿 12 d 后分别为(0.96 ± 0.04)、(4.03 ± 0.81) $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 达到最低水平($p < 0.05$), 再投喂后, 上述两个指标均呈显著上升趋势($p < 0.05$), 再投喂 1 d 后的肝糖原和 15 d 后的肝指数分别恢复至初始水平($p > 0.05$)。实验鱼在饥饿处理和恢复投喂的过程中, 与对照组比较血糖浓度没有出现显著差异。结果表明, 鳊鱼幼鱼在饥饿和恢复投喂的过程中, 血糖浓度表现出较好的稳定性, 而肝糖原含量变化速度快于肝指数。由此推测鳊鱼幼鱼在饥饿过程中主要利用糖类来提供能量, 且首先动用肝脏内的储能物质, 肝糖原含量的变动与血糖浓度的稳定性有直接关联。

关键词 鳊鱼; 饥饿; 再投喂; 肝指数; 肝糖原; 血糖

中图分类号: Q955

文献标识码: A

文章编号: 1672-6693(2010)05-0019-04

自然界中食物分布在时空上具有极大的不均匀性, 由于季节更替或环境剧变等原因, 鱼类经常会在生活史一定阶段面临食物资源的缺乏而受到饥饿胁迫^[1]。为了应对饥饿胁迫, 鱼类会在不同程度上动用自身的储能物质如糖原、脂肪、蛋白质等, 为身体各种生命活动的正常进行提供能量^[2]。近年来, 国内外研究者对鱼类饥饿做了大量研究, 主要集中于对身体组分变化、能量利用以及再投喂后的补偿性生长等方面。同时, 不少研究者也通过改变营养状况来研究鱼类的糖代谢情况, 研究主要集中于糖代谢中关键酶活性及基因表达等方面。而饥饿和再投喂对南美牙鱼(*Hoplias malabaricus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、金鳊(*Oncorhynchus mykiss*)、丁鱼(*Tinca tinca*)、泥鳅(*Misgurnus Anguillicadatus*)等鱼类的肝糖代谢的影响也有报道^[3-7]。

鳊鱼(*Parabramis pekinensis*)学名鳊, 属鲤形目(Cypriniformes), 鲃亚科(Cultrinae), 鳊属(*Parabramis*)。为草食性鱼类, 肉质鲜美, 是江河和水库中的重要经济鱼类之一。该鱼种分布很广泛, 在长江干流、岷江、嘉陵江等都有分布。本研究对鳊鱼幼鱼进行了较短时间的饥饿和再投喂处理, 对其肝指数、肝

糖原含量和血糖浓度做了分析, 以探究饥饿和再投喂条件下鳊鱼幼鱼的肝指数变化和糖代谢情况。

1 材料和方法

1.1 实验鱼来源及驯化

鳊鱼幼鱼购自重庆市合川区水产学校渔场。鱼体放养自循环控温水槽(250 L)中, 驯化 15 d, 使其充分适应实验室环境。投喂商业饵料(通威 101), 每天饱足喂食 1 次; 充氧泵 24 h 不间断充氧; 平均水温控制在(20 ± 1) °C; 自循环水体, 每天更换 1/3 体积水体, 水源为充分曝气后的自来水; 光照周期为 12 h: 12 h(光照: 黑暗)。实验前, 从中挑取身体健康、体色正常、初始体重为(11.60 ± 0.89) g、初始体长为(8.77 ± 0.29) cm 的幼鱼作为实验用鱼。

1.2 实验方法

该实验分两大组, 正常投喂组即对照组(A 组) 和饥饿再投喂组即处理组(B 组), 每组设 3 个重复组, 共 6 小组。在饥饿第 0、1、4、7、12 d 和再投喂第 1、4、7、15 d 分别取样, 从每小组中随机取 3 条实验鱼, 获取血液和肝脏样品, 待测。

将鱼麻醉后, 用毛巾擦干水分, 称重、测体长。

* 收稿日期 2010-03-30 修回日期 2010-04-19

资助项目 重庆市自然科学基金项目(No. CSTC2007BB1229)

作者简介 范国燕, 女, 硕士研究生, 研究方向为水生生物学、鱼类营养学, 通讯作者 李英文, E-mail liyingwen@live.com

立即断尾取血约 0.1 mL,置于肝素钠处理过的离心管中,12 000 r · min⁻¹离心 3 min,取上清,即为血清,置于 -80 ℃ 保存,待测血糖浓度。然后立即解剖取肝脏样品,称重,液氮速冻,分别置于离心管中, -80 ℃ 保存,待测肝糖原含量。

血糖的测定采用邻甲苯胺法^[8],糖原的测定采用蒽酮显色法^[9]。肝指数(Hepatosplenic index, HSI)计算公式为 $HSI = 100 \times (\text{肝脏重量} / \text{体重})$ 。

1.3 数据的统计分析

在 Excel2003 中对原始数据进行整理,运用 SPSS 17.0 软件对每组数据进行统计分析,A、B 组内数据进行多重比较,同一时期 A 组和 B 组数据之间进行 *t* 检验。每组数据均采用平均值 ± 标准误 (Mean ± SE)表示,显著性水平为 $p < 0.05$ 。

2 结果

2.1 对肝指数的影响

图 1 显示,本实验中饥饿和再投喂处理对鳊鱼幼鱼肝指数的影响显著 ($p < 0.05$)。饥饿状态下,随饥饿时间的延长,实验鱼的肝指数呈显著下降趋势 ($p < 0.05$),饥饿 4 d 后为 (1.34 ± 0.05) ,显著低于初始水平 ($p < 0.05$);饥饿 12 d 后为 (0.96 ± 0.04) ,达到最低水平 ($p < 0.05$)。饥饿 12 d 后,随再投喂时间的延长,肝指数指标呈显著上升趋势 ($p < 0.05$),再投喂 15 d 后的肝指数恢复至初始水平 ($p > 0.05$)。同期 A 组和 B 组相比,饥饿 1 d 后 B 组的肝指数开始显著低于对应 A 组 ($p < 0.05$);直到再投喂 7 d 后才开始恢复至与对应 A 组相似水平 ($p > 0.05$)。

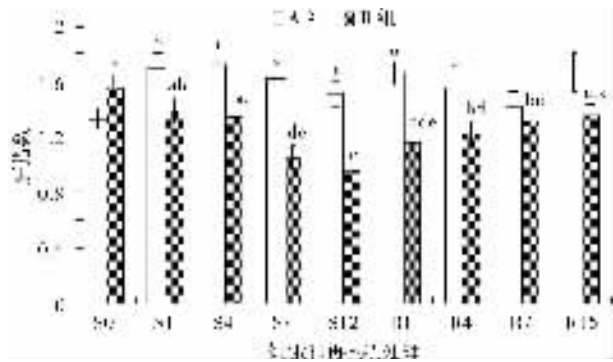


图 1 饥饿和再投喂不同时间鳊鱼幼鱼肝指数的变化。
Fig. 1 The effect of short-term starvation and refeeding on HSI in *P. pekinensis*

2.2 对肝糖原含量的影响

本实验中,饥饿和再投喂处理对鳊鱼幼鱼肝糖原含量的影响显著 ($p < 0.05$) (图 2)。饥饿状态下,实验鱼随饥饿时间的延长,肝糖原含量呈显著下降趋势 ($p < 0.05$),饥饿 4 d 后为 $(10.53 \pm 4.18) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,显著低于初始水平 ($p < 0.05$);饥饿 12 d 后为 $(4.03 \pm 0.81) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,达到最低水平 ($p < 0.05$)。饥饿 12 d 后再投喂的过程中,随再投喂时间的延长,肝糖原含量呈显著上升趋势 ($p < 0.05$),再投喂 1 d 后的肝糖原含量已开始恢复至初始水平 ($p > 0.05$)。与同期对照组相比,饥饿过程中,肝糖原含量出现显著差异 ($p < 0.05$),饥饿 4、7、12 d 后 B 组肝糖原含量均显著低于 A 组 ($p < 0.05$);再投喂 1 d 后 B 组肝糖原已迅速恢复至与 A 组相似水平 ($p > 0.05$)。

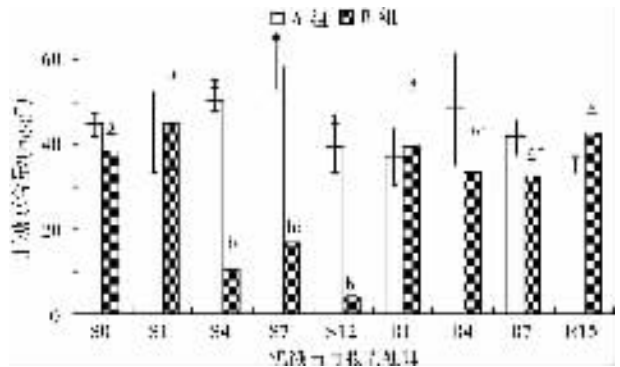


图 2 饥饿和再投喂不同时间肝糖原含量的变化
Fig. 2 The effect of short-term starvation and refeeding on liver glycogen in *P. pekinensis*

2.3 对血糖浓度的影响

结果显示,本实验中,饥饿和再投喂处理对鳊鱼幼鱼血糖浓度的影响较为显著 ($p < 0.05$) (图 3)。饥饿状态下,实验鱼随饥饿时间的延长,血糖浓度呈显著下降趋势 ($p < 0.05$),饥饿 4 d 后为 $(4.80 \pm 0.34) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,显著低于初始水平 ($p < 0.05$);饥饿 12 d 后为 $(4.68 \pm 0.36) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,与饥饿 4、7 d 后的血糖浓度值维持在相似水平 ($p > 0.05$)。饥饿 12 d 后再投喂的过程中,血糖浓度迅速恢复,再投喂 1 d 后的血糖浓度已恢复至初始水平 ($p > 0.05$)。饥饿和再投喂过程中,各相应 A、B 两组之间血糖浓度均没有显著性差异 (图 3)。

2.4 对身体指标的影响

结果显示,饥饿和再投喂处理对体重的影响较为显著 ($p < 0.05$)。饥饿 12 d 后体重显著低于初始水平 ($p < 0.05$),再投喂 4 d 后恢复至初始水平 ($p > 0.05$);体长和肥满度受饥饿和再投喂处理的影响不显著 (表 1)。

表 1 饥饿和再投喂不同时间鳊鱼幼鱼身体指标的变化

Tab. 1 The effect of short-term starvation and refeeding on body parameters of *P. pekinensis*

	饥饿时间/d									
	0		1		4		7		12	
	A 组	B 组	A 组	B 组	A 组	B 组	A 组	B 组	A 组	B 组
体重/g	11.97±0.26	11.24±0.29 ^a	11.86±0.44	11.51±0.41 ^a	11.67±0.51	10.85±0.36 ^{ab}	11.59±0.49	10.56±0.42 ^{ab}	11.38±0.39 [*]	10.08±0.83 ^{bc}
体长/cm	8.81±0.10	8.72±0.92	8.81±0.12	8.78±0.11	8.63±0.15	8.54±0.10	8.69±0.14	8.70±0.19	8.58±0.11	8.52±0.10
肥满度/g·cm ⁻³	1.75±0.05 ^a	1.69±0.03	1.73±0.02 ^a	1.70±0.04	1.81±0.03 ^a	1.74±0.02	1.76±0.03 ^a	1.61±0.07	1.80±0.05 ^a	1.67±0.03 [*]

	再投喂时间/d							
	1		4		7		15	
	A 组	B 组	A 组	B 组	A 组	B 组	A 组	B 组
体重/g	11.64±0.43 [*]	9.97±0.31 ^b	11.40±0.45	11.13±0.51 ^{ac}	10.90±1.40	11.35±0.38 ^a	11.81±0.49	11.52±0.47 ^a
体长/cm	8.58±0.10	8.53±0.16	8.67±0.12	8.56±0.17	8.41±0.14	8.59±0.10	8.42±0.15	8.66±0.11
肥满度/g·cm ⁻³	1.83±0.02 ^a	1.66±0.05 [*]	1.75±0.04 ^a	1.78±0.06	1.84±0.07 ^a	1.79±0.04	1.98±0.05 ^b	1.77±0.03 [*]

注:肥满度=100×(体重/体长³)

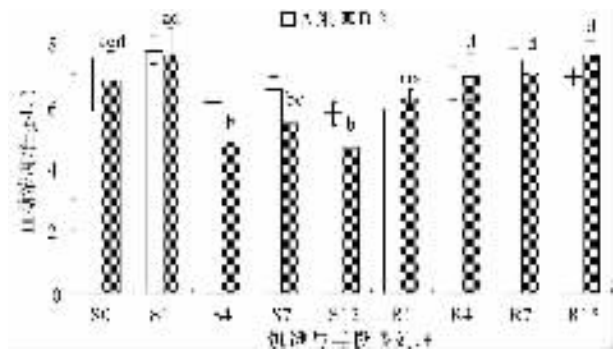


图 3 饥饿和再投喂不同时间鳊鱼幼鱼血糖浓度的变化

Fig. 3 The effect of short-term starvation and refeeding on serum glucose in *P. pekinensis*

3 讨论

动物处于饥饿状态时,通常会动用身体储能器官中的能量物质以维持生命活动的需求。鱼类与其他动物相似,当其处于饥饿环境中,也会动用体内源性储能物质如糖类、脂肪和蛋白质,来维持生命活动的正常进行。饥饿状态下,不同的鱼类消耗身体储能物质和动用身体不同器官储能物质的先后次序也不尽相同。在多数鱼类中,脂肪和糖原是主要的贮能物质,饥饿状态下主要消耗这两种物质,对蛋白质的利用较少,而且一般是在脂肪被大量消耗之后^[10-11]。研究表明,饥饿条件下鱼类首先动用储存性组织(如肝脏)中的物质,然后才利用重要运动器官和运动系统中的结构物质^[1]。这是鱼类应对饥饿胁迫的一种适应性对策^[12]。肝脏是鱼类主要的储能场所,因此在饥饿状态下,大多数鱼类首先消耗肝

脏内的储存物质。本研究结果显示,随饥饿时间延长,肝糖原呈显著下降趋势,且鳊鱼幼鱼经历短暂饥饿4 d后,其肝糖原已显著低于初始水平和同期对照组值,据此推测处于早期饥饿的鳊鱼幼鱼主要动用糖类物质来提供能量,这点与鲤鱼(*Cyprinus carpio*)和草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)研究中的结果相似^[13-14],而斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)在饥饿期间主要利用脂肪作为能源^[15],欧洲鳗鲡(*Anguilla anguilla*)主要利用蛋白质和脂肪^[16]。在饥饿过程中,鳊鱼幼鱼肝指数也迅速下降,由此可以说明在饥饿过程中鳊鱼幼鱼优先动用肝脏内的储能物质来提供能量,黄鲈(*Macquaria ambigua*)也首先动用肝脏内的物质^[17],而冬鲮(*Pleuronectes americanus*)则首先消耗其皮下脂肪^[18]。饥饿和再投喂条件下鳊鱼幼鱼肝糖原和肝指数的变化趋势相似,表明其肝指数的变化主要是由肝糖引起的,与南方鲇(*Silurus meridionalis*)幼鱼研究中的结果相似^[19]。

血糖和肝糖原水平是反映动物糖代谢和全身组织细胞功能状态以及内分泌机能的一个重要指标,同时也可以反映饵料和营养是否适当、肝脏机能是否良好^[20]。血糖来自食物中消化吸收后的葡萄糖及肝糖元的分解和异生作用。肌肉和肝脏以糖原形式储存糖,血液中则以葡萄糖形式存在,两者之间在通常情况下保持动态平衡状态^[21]。大多数鱼中,肝糖原通常首先被分解为葡萄糖用来提供能量,同时也用来维持血糖浓度^[22]。本研究结果显示,实验鱼在饥饿和恢复投喂的过程中,对应A、B两组之间的

血糖浓度均没有出现显著性差异,表现出较好的稳定性;饥饿过程中,肝糖原的下降快于血糖浓度;再投喂后,肝糖原的恢复也比血糖要快,与草鱼幼鱼研究中的结果相似^[4]。这进而验证了肝糖原的分解与维持血糖浓度、保证内环境的稳定直接相关。

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):181-187.
- [2] Machado C R, Garofalom A R, Miglioroni R H. Effects of starvation-refeeding and insulin on energy-linked metabolic process in catfish *Rhamdio hilarii* adapted to carbohydrate-rich die[J]. Gen and Comp Endocrinol 1988,71:429-437.
- [3] Flavia S R, Gilberto M, Eliane T O, et al. Mobilization and recovery of energy stores in traí'ra, *Hoplias malabaricus* bloch(Teleostei, Erythrinidae) during long-term starvation and after re-feeding[J]. Comp Physiol B, 2006, 176:721-728.
- [4] 祝尧荣, 沈文英. 饥饿和再投喂对草鱼鱼种糖代谢的影响[J]. 绍兴文理学院学报, 2002, 22(4):23-25.
- [5] 吴蒙蒙, 李吉方, 韩照峰, 等. 饥饿和恢复投喂对金鲢体组分和糖原含量的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(1):56-60.
- [6] De Pedro N, Delgado M J, Gancedo B, et al. Changes in glucose, glycogen, thyroid activity and hypothalamic catecholamines in tench by starvation and refeeding[J]. Comp Physiol B, 2003, 173:475-481.
- [7] 杜启艳, 王萍, 王友利, 等. 长期饥饿和再投喂对泥鳅不同组织糖原、酸性磷酸酶和碱性磷酸酶的影响[J]. 江西师范大学学报(自然科学版), 2008, 32(4):488-493.
- [8] 张喜南. 动物生物化学[M]. 北京:高等教育出版社, 1992:253-254.
- [9] 黄如彬, 丁昌玉, 林原怡. 生物化学实验[M]. 北京:世界图书出版社, 1995:109-110.
- [10] Sliding H P. Effects of experimented feeding and starvation on the proximate composition of the european bass *Pi-centrarchus labrax*[J]. Mar Biol, 1976, 34:85-91.
- [11] Kutty M N. Ammonia quotient in sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*)[J]. F Res Bd Can, 1978, 35:1003-1005.
- [12] Zamal H, Ollevier F. Effect of feeding and lack of food on growth, gross biochemical and fat acid composition of juvenile catfish[J]. Fish Biol, 1995, 46:404-414.
- [13] 王燕妮, 张志蓉, 郑曙明. 鲤鱼的补偿性生长及饥饿对淀粉酶的影响[J]. 水利渔业, 2001, 21(5):6-7.
- [14] 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分的影响[J]. 动物学报, 1999, 45(4):404-412.
- [15] Car D W, James H T. Effect of fasting on fatty acid composition of muscle, liver and abdominal fat in channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J]. Journal of the world aquaculture society, 1994, 25:126-134.
- [16] Jarsson A, Lewander K. Metabolic effects of starvation in the eel *Anguilla anguilla*[J]. Comp Biochem Physiol, 1973, 44:367-374.
- [17] Collinsa L, Anderson T A. The regulation of endogeneous energy stores during starvation and refeeding in the somatic tissues of the golden perch[J]. Fish Biol, 1995, 47:1004-1015.
- [18] Maddock D M, Burton M P M. Some effects of starvation on the lipid and skeletal tissue layers of the winter flounder, *Pleuronectes americanus*[J]. Can Zool, 1994, 72:1672-1679.
- [19] 付世建, 谢小军, 袁伦强. 饲料淀粉水平对南方鲇幼鱼摄食后肝指数的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2005, 30(3):548-551.
- [20] 赵万鹏, 刘永坚, 潘庆, 等. 草鱼摄食后血糖和肝糖原质量分数的变化[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2002, 41(3):64-67.
- [21] 林浩然. 鱼类生理学[M]. 广东:高等教育出版社, 1997:86.
- [22] Amalia P, Maria J G, Amalia E M, et al. Effect of dietary composition[J]. Aquaculture, 2007, 265:325-335.

Animal Sciences

Effects of Starvation and Refeeding on Metabolism of Glucose in Juvenile *Parabramis pekinensis*

FAN Guo-yan , ZHAO Chun-yan , LI Ying-wen

(Engineering Research Center of Bioactive Substances , Chongqing Key Laboratory of Animal Biology , College of Life Sciences , Chongqing Normal University , Chongqing 400047 , China)

Abstract : The effects of short-term starvation and refeeding with different time courses on hepatosomatic index(HSI) , liver glycogen and serum glucose in juvenile *Parabramis pekinensis* is investigated. The fish were randomly allocated into control and treatment groups (20 ± 1) ℃ , control group was sustained fed , treatment groups were starved for 0 , 1 , 4 , 7 , 12 d or starved for 12 d then refed for 1 , 4 , 7 , 15 d respectively. Samples were taken after the process. The result showed that , as starvation continued , HSI and liver glycogen decreased significantly ($p < 0.05$). Fasting for 4 days , the two indices were (1.34 ± 0.05) and (10.53 ± 4.18) $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, and been both markedly below original value ; when starved for 12 days , the two indices were (0.96 ± 0.04) and (4.03 ± 0.81) $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, which were the lowest value , respectively. As refeeding continued , HSI and liver glycogen increased significantly ($p < 0.05$). The value of liver glycogen after refeeding for 1 d and 15 d had returned to those of original level ($p > 0.05$). During the experiment , serum glucose took on a similar trend with HSI and liver glycogen , and it had a less variation extent. The results indicated that serum glucose had a better stability than the other two indices ; moreover , liver glycogen recovered faster than HSI. So , we suggest that during the starvation , the fish mainly uses glucide as energy source , mobilizes the substance in liver firstly and the change of liver glycogen has a direct relationship with the stability of serum sugar.

Key words : *Parabramis pekinensis* ; starvation ; refeeding ; HSI ; liver glycogen ; serum glucose

(责任编辑 方 兴)