

草鱼蛋白质和脂肪代谢对饥饿胁迫的响应

朱站英¹, 华雪铭^{1*}, 于 宁^{1,2}, 邢思华¹, 王 军¹, 周洪琪¹

(1. 上海海洋大学农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306;

2. 杭州海皇饲料开发有限公司, 浙江杭州 311100)

摘要: 实验选取平均体质量(31.86±1.47) g 的草鱼, 随机分为 2 个实验组, 对照组(CG)和饥饿组(SG), 每组 3 个平行, 饥饿处理 15、30、45 和 60 d, 测定饥饿对鱼体的生长、肌肉生化组成、血液生化指标以及蛋白质代谢的影响。结果表明: 饥饿组肥满度、脏体比、肝体比显著低于对照组。随着饥饿时间的延长, 草鱼肌肉中的水分含量逐渐增加, 脂肪和蛋白质含量呈现降低趋势, 脂肪含量在 4 个时期没有明显的差异($P>0.05$), 水分和蛋白质含量分别呈现差异性增加和降低的趋势。血清总蛋白在饥饿 15 d 时与对照组没有明显的差异($P>0.05$), 其后 3 个时期对照组显著高于饥饿组($P<0.05$), 但饥饿组后 3 个时期趋于稳定。随着饥饿时间的延长, 白蛋白、总胆固醇和甘油三酯含量在 4 个时期与对照组都有明显变化($P<0.05$), 饥饿组呈现先降低后升高再降低的波浪形变化。丙氨酸氨基转移酶活性在 15、60 d 时与对照组没有明显的变化($P>0.05$), 在 30 d 时先降低, 45 d 时显著升高($P<0.05$)。随着饥饿时间的延长, 与对照组相比 RNA : DNA 在肌肉中没有明显的差异($P>0.05$), 在肝胰脏中与对照组呈现显著性差异, 随着时间的延长饥饿组呈现先降低后增高的趋势。谷氨酸脱氢酶活性在肌肉中于饥饿 15 d 时与对照组没有明显差异($P<0.05$), 其后比对照组显著增加, 随着时间的延长饥饿组谷氨酸脱氢酶活性呈现上升的趋势; 在 15、45 d 时与对照组没有明显的变化($P>0.05$), 在 30、45 d 时显著升高($P<0.05$)。肝胰脏中谷氨酸脱氢酶活性在 4 个时期比对照组有显著的增加; 与肌肉相比, 肝胰脏和血清中谷氨酸脱氢酶活性是一种有效的反应蛋白质代谢的指标。草鱼对体内储能物质(蛋白质和脂肪)的动用并不是简单地与饥饿时间呈线性相关, 而是出现周期性和阶段性起伏的变化。

关键词: 草鱼; 饥饿; 蛋白质代谢; 脂肪代谢

中图分类号: Q 591; S 917.4

文献标志码: A

在自然界和人工养殖条件下鱼类时常因环境改变、季节变化、食物短缺、投饲不均等因素的影响而受到饥饿的胁迫, 饥饿可以影响鱼类的行为、生长代谢和组织结构, 甚至威胁鱼类的生存。因此, 国内外学者一直广泛关注在饥饿状态下鱼类生理生化的变化, 如短期饥饿对吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[1]、鮑(*Haliotis fulgens*)^[2]、鲤(*Cyprinus carpio*)^[3]和太平洋鲑(*Oncorhynchus*

spp.)^[4]等鱼类生理生化的影响, 长期饥饿对大西洋鳕(*Gadus morhua*)^[5]、大西洋鲑(*Salmo salar*)^[6]、美洲鲟(*Acipenser transmontanus*)^[7]、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[8]等鱼类对脂肪和蛋白质等营养物质的影响。草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)作为我国传统的淡水鱼养殖品种, 相关研究集中在短期饥饿对其生化组成^[9]、生长激素^[10]和糖代谢^[11]的影响, 而对草鱼蛋白质和脂肪代谢的影响未见系

收稿日期: 2011-10-27

修回日期: 2011-12-26

资助项目: 中国水产科学研究院热带亚热带鱼类选育与养殖重点开放实验室课题; 上海市科委地方院校能力建设项目(073205111); 上海高校创新团队“水产动物营养饲料与养殖环境”建设项目资助

通讯作者: 华雪铭, E-mail: xmhua@shou.edu.cn

统报道。蛋白质、脂肪和糖类作为三大能源物质, 鱼类对它们的利用方式和利用程度是饲料配方优化的重要依据, 尽管大多数鱼类能够耐受长期的饥饿胁迫, 但不同种类的鱼在不同生理生长阶段, 其耐受饥饿的能力具有不同的适应性特征, 因此对能源物质的利用也具有不同的特点^[12]。

本研究综合应用草鱼鱼种白肌和血清主要生化指标以及 RNA : DNA 和谷氨酸脱氢酶等指标, 从组织形态学、鱼类组织生化和血清生理生化三个方面探讨草鱼鱼种在长期的极端饥饿条件下对蛋白质和脂肪代谢的适应性调节, 旨在了解草鱼在饥饿过程中对能量物质的利用, 尤其是蛋白质和脂肪两大营养物质, 为了解鱼类饥饿胁迫下的一系列生化反应过程与特点、揭示鱼类适应饥饿胁迫的生态对策奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

试验设置为对照组、饥饿组, 每组设置 3 平行。实验期间对照组投喂试验饲料, 饥饿组不投喂任何饲料, 实验为期 60 d, 测定草鱼形态学指标、肌肉生化组成、血液生化指标、RNA : DNA 和谷氨酸脱氢酶。

1.2 试验饲料

试验饲料根据草鱼配合饲料营养标准(SC/T 1024-2002)制备。按试验设计采用逐级扩大混合的方法将粉状原料混匀后, 用制粒机加工成直径 1.5 mm 的颗粒, 晾干储存于-20℃备用。试验饲料营养物质含量见表 1。

1.3 饲养管理

在上海市临港新城果园特种水产养殖场进行饲养试验。在室内水泥池中放置 6 个网箱(网箱规格为 2 m×3 m×1 m), 挑选健壮、规格整齐的草鱼[(11.52±0.21) cm、(31.86±1.47) g]随机分入网箱, 每组设置 3 个平行, 每个平行 36 尾鱼。试验前用试验饲料驯养 2 周, 待摄食正常后开始正式试验。2010 年 7 月 18 日至 9 月 18 日进行生长试验, 为期 60 d, 每天投喂 2 次(08:30、16:30), 投喂量为体质量的 3%~5%, 随鱼体质量、天气及摄食情况加以调整, 并且无天然饵料补充。试验期间, 自然水温 24~34℃, NH₄⁺-N <0.3 mg/L, DO>5 mg/L。

1.4 样品的采集

分别在饲养实验进行至 15、30、45、60 d 时采集样本, 每组采集 20 尾鱼, 用 MS-222(100 mg/L)麻醉后, 测量体长、体质量, 用一次性注射器从尾静脉取血, 4℃静置 6 h 后, 4 000 r/min、4℃离心 10 min, 取血清; 无菌条件下, 解剖鱼体取其内脏和肝胰脏并称重; 然后取草鱼侧线与背鳍之间的白肌。所有样本-20℃保存、待测。

1.5 测定指标与方法

肥满度 (condition factor, CF) = 100×活体质量(g)/体长³(cm³)

脏体比 (viscerosomatic index, VSI) = 100×内脏重(g)/体质量(g)

肝体比 (hepatosomatic index, HSI) = 100×肝脏重(g)/体质量(g)

肌肉营养成分测定: 水分采用 105℃恒温干燥

表 1 试验饲料配方及营养组成

Tab. 1 Formulas and nutrient compositions of trial diets

原料名称 ingredients	含量/% content	原料名称 ingredients	含量/% content
大豆粕 soybean meal	31.0	50%胆碱 choline chloride	1.0
菜籽粕 rapeseedmeal	20.0	复合矿物质 minerals premix	0.5
小麦麸 wheatbran	19.1	食盐 salt	0.3
棉籽粕 cotton seed meal	10.0	复合多维 vitamins premix	0.2
米糠 rice bran	5.0	基本营养成分(风干样) nutrient ingredients (air-dried samples)	
鱼粉(进) fish meal	5.0	粗蛋白 crude protein	33.0
面粉 wheat flour	5.4	粗脂肪 crude lipid	5.3
磷酸二氢钙 monocalcium phosphate	1.5	粗纤维 crude fibre	7.2
大豆油 bean oil	1.0		

注: 复合多维、复合矿物质购于佛山市德宁生物科技有限公司。

Notes: Vitamins premix and minerals premix were obtained from Dening Bio-Tech Inc.

法 (GT6435-86); 粗蛋白采用凯氏定氮法 (GB/T6432-94); 粗脂肪的测定采用氯仿甲醇法^[13]。应用迈瑞生化分析仪 BS200 测定血清总蛋白、血清白蛋白、甘油三脂、谷丙转氨酶、总胆固醇酶、碱性磷酸酶活性。

肌肉中 RNA:DNA 的含量测定: 取白肌 0.50~1.00 g 作为一个样品, 参考 Schmidt-Thannhauser 法^[14]测定 RNA 和 DNA 含量。

谷氨酸脱氢酶活性的测定: 根据速率法, 采用迈瑞 BS200 生化自动分析仪和长春汇力试剂盒测定肝胰脏、血液、肌肉谷氨酸脱氢酶的活性和总蛋白含量。酶活定义: 37 °C 下, 在反应体系中每分钟催化 1 mmol/L 底物转化所需要的酶量, 单位为 U/mg prot。

1.6 数据处理

试验数据以平均值 ± 标准差表示。利用 SPSS17.0 软件进行统计, 先进行单因素方差分析 (One-Way ANOVA), 差异显著者再进行 Duncan 氏

多重比较, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果

2.1 饥饿胁迫对草鱼形态学指标的影响

饥饿期间, 试验各组草鱼鱼种的存活率均为 100%; 实验中测定的草鱼形态学指标如表 2 所示。草鱼鱼种体质量、肥满度、脏体比、肝体比与对照组都呈现明显下降趋势 ($P < 0.05$)。但肥满度在饥饿 45 d 之后, 变化不显著 ($P > 0.05$), 趋于稳定; 脏体比在饥饿 30 d 时, 与其它 3 个时期有明显的差异 ($P < 0.05$); 肝体比在饥饿 45 d 时, 与其它 3 个时期存在显著差异 ($P < 0.05$)。

2.2 饥饿胁迫对草鱼肌肉常规生化组成的影响

由表 3 可知, 随着饥饿时间的延长, 草鱼肌肉组织中的水分逐渐的增加, 脂肪和蛋白质呈现降低的趋势。脂肪在 4 个时期没有明显的差异 ($P > 0.05$), 水分和蛋白质分别呈现差异性增加和降低的趋势。

表 2 饥饿胁迫对草鱼形态学指标的影响

Tab. 2 Effects of starvation on growth of grass carp ($n=20$)

采样天数/d days of sampling	组别 group	体质量/g body weight	肥满度/% condition factor	脏体比/% viscerosomatic index	肝体比/% heptosomatic index
15	对照组 CG	39.41±2.33 ^d	1.86±0.12 ^{cd}	7.68±0.27 ^c	1.16±0.10 ^c
	饥饿组 SG	29.36±2.28 ^c	1.72±0.12 ^b	5.23±0.20 ^b	0.69±0.05 ^b
30	对照组 CG	42.56±1.73 ^e	1.98±0.09 ^e	8.20±0.25 ^c	1.89±0.15 ^e
	饥饿组 SG	27.87±2.21 ^b	1.82±0.17 ^c	4.96±0.23 ^a	0.64±0.02 ^b
45	对照组 CG	69.45±2.92 ^f	1.93±0.10 ^{de}	8.86±0.16 ^f	1.53±0.09 ^d
	饥饿组 SG	25.64±1.42 ^{ab}	1.63±0.14 ^a	5.18±0.18 ^b	0.47±0.03 ^a
60	对照组 CG	70.43±1.64 ^f	1.98±0.16 ^e	7.87±0.19 ^d	1.59±0.08 ^d
	饥饿组 SG	24.07±1.60 ^a	1.61±0.17 ^a	5.21±0.28 ^b	0.64±0.05 ^b

注: 表中数据结果以平均值±标准差表示, 同列中不同的字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下表同。

Notes: Means with different letters in the same row indicated significant difference at $P < 0.05$. The same as following.

表 3 饥饿胁迫对草鱼肌肉生化组成的影响 (湿基)

Tab. 3 Effects of starvation on biochemical composition in muscle of grass carp ($n=4$)

采样天数/d days of sampling	组别 group	水分/% moisture	脂肪/% crude lipid	蛋白/% crude protein
15	对照组 CG	80.16 ± 0.28 ^a	1.09 ± 0.01 ^{cd}	17.27 ± 0.06 ^c
	饥饿组 SG	81.45 ± 0.03 ^b	0.85 ± 0.00 ^{ab}	16.69 ± 0.16 ^d
30	对照组 CG	80.00 ± 0.47 ^a	1.19 ± 0.03 ^d	17.72 ± 0.02 ^{ef}
	饥饿组 SG	82.31 ± 0.53 ^c	0.78 ± 0.01 ^a	16.17 ± 0.05 ^c
45	对照组 CG	79.66 ± 0.36 ^a	1.27 ± 0.14 ^d	17.82 ± 0.39 ^f
	饥饿组 SG	83.05 ± 0.20 ^d	0.78 ± 0.09 ^a	15.34 ± 0.32 ^b
60	对照组 CG	80.18 ± 0.48 ^a	1.00 ± 0.09 ^{bc}	17.33 ± 0.45 ^{ef}
	饥饿组 SG	84.75 ± 0.17 ^e	0.77 ± 0.03 ^a	13.71 ± 0.04 ^a

2.3 饥饿胁迫对草鱼血清生化指标的影响

血清中总蛋白在饥饿 15 d 时与对照组没有显著差异($P>0.05$), 其后 3 个时期对照组显著高于饥饿组($P<0.05$), 但饥饿组后 3 个时期趋于稳定; 随着饥饿时间的延长, 白蛋白、总胆固醇和甘油三酯在 4 个时期与对照组都有明显的变化($P<0.05$), 饥饿组呈现先降低后升高再降低的波浪形变化(表 4)。丙氨酸氨基转移酶在 15 d、60 d 时与对照组没有明显的变化($P>0.05$), 在 30 d 时先降低, 45 d 时显著升高($P<0.05$)。

2.4 饥饿胁迫对草鱼蛋白质代谢的影响

随着饥饿时间的延长, 与对照组相比 RNA : DNA 在肌肉组织中无显著性差异($P>0.05$), 在肝脏组织中, 随着时间的延长饥饿组呈现先降低后增高的趋势, 从显著低于对照组到与对照组无显著差异(表 5)。谷氨酸脱氢酶活性在肌肉组织中在饥饿 15 d 时与对照组没有明显差异($P>0.05$), 其后比对照组显著增加, 随着时间的延长饥饿组谷氨酸脱氢酶活性呈现上升的趋势; 在血清中, 在 15、45 d 时与对照组没有明显的变化($P>0.05$), 在 30、45 d 时显著升高

($P<0.05$); 在肝脏组织中谷氨酸脱氢酶活性在 4 个时期比对照组有显著的增加($P<0.05$)。

2.5 谷氨酸脱氢酶活性在肌肉、肝胰脏、血清中与蛋白质含量的关系

由图 1~3 所示谷氨酸脱氢酶在三种组织中与蛋白质含量的线性关系: 在肌肉中的回归方程为 $y = -1.136 3x + 24.225(R^2=0.809 7, P<0.355)$, 在肝胰脏组织中的回归方程为 $y = 5.615 1x - 18.659 (R^2=0.973 4, P<0.008)$, 在血清中的回归方程为 $y = 0.021 6x + 0.939 1(R^2=0.794 9, P<0.000 02)$ 。

3 讨论

3.1 饥饿胁迫对草鱼形态学指标和肌肉常规生化组成的影响

饥饿状态下, 鱼类不能从水环境中获得必要的物质和能量, 只能被迫动用自身的营养物质来满足机体的能量代谢和维持生命活动所需。肥满度、肝体比和内脏比在一定程度上可以反映鱼类在饥饿过程中对自身营养物质的消耗^[15-17]。

表 4 饥饿胁迫对草鱼血清生化指标的影响
Tab.4 Effects of starvation on biochemical indicator in serum of grass carp (n=4)

采样天数/d days of sampling	组别 group	总蛋白/(g/L) TP	白蛋白/(g/L) ALB	丙氨酸氨基转移酶 (U/mg prot) ALT	总胆固醇 (mmol/L) TC	甘油三酯 (mmol/L) TG
15	对照组 CG	33.87±1.71 ^c	15.37±0.35 ^c	0.13±0.02 ^{ab}	6.61±0.52 ^c	1.27±0.18 ^c
	饥饿组 SG	32.80±2.87 ^c	13.43±0.74 ^d	0.13±0.03 ^{ab}	4.86±0.15 ^d	0.37±0.03 ^a
30	对照组 CG	25.57±2.22 ^b	11.03±0.93 ^c	0.21±0.05 ^b	4.00±0.46 ^c	1.08±0.13 ^{bc}
	饥饿组 SG	20.23±3.97 ^a	8.57±1.50 ^b	0.10±0.07 ^a	3.11±0.71 ^b	0.29±0.14 ^a
45	对照组 CG	27.37±1.79 ^b	8.23±0.40 ^b	0.12±0.02 ^{ab}	2.87±0.34 ^{ab}	0.20±0.04 ^a
	饥饿组 SG	16.00±0.98 ^a	12.33±1.12 ^{cd}	0.36±0.08 ^c	5.87±0.23 ^c	1.25±0.16 ^c
60	对照组 CG	28.23±1.36 ^b	12.60±0.62 ^{cd}	0.14±0.03 ^{ab}	6.40±0.37 ^c	0.99±0.05 ^b
	饥饿组 SG	16.95±3.04 ^a	6.25±1.34 ^a	0.18±0.05 ^{ab}	2.26±0.25 ^a	0.18±0.01 ^a

表 5 饥饿胁迫对草鱼蛋白质代谢的影响
Tab.5 Effects of starvation on protein metabolism of grass carp (n=4)

采样天数/d days of sampling	组别 group	RNA : DNA		谷氨酸脱氢酶/(U/mg prot) GLDH		
		肌肉 muscle	肝胰脏 hepatopancreas	肌肉 muscle	肝胰脏 hepatopancreas	血清 serum
15	对照组 CG	2.79 ± 0.46 ^{ab}	1.28 ± 0.14 ^c	4.29 ± 0.95 ^a	7.43 ± 1.13 ^{ab}	0.32 ± 0.12 ^{ab}
	饥饿组 SG	3.32 ± 0.87 ^a	0.99 ± 0.07 ^b	5.02 ± 1.01 ^{ab}	38.87 ± 5.55 ^d	0.24 ± 0.07 ^a
30	对照组 CG	2.01 ± 0.89 ^{bcd}	1.00 ± 0.07 ^b	4.82 ± 0.44 ^{ab}	11.20 ± 0.82 ^b	0.29 ± 0.07 ^{ab}
	饥饿组 SG	1.84 ± 0.41 ^{cd}	0.69 ± 0.00 ^a	6.70 ± 1.13 ^c	32.64 ± 0.94 ^{cd}	0.44 ± 0.14 ^{bc}
45	对照组 CG	2.16 ± 0.69 ^{bcd}	1.88 ± 0.13 ^c	4.32 ± 0.49 ^a	4.21 ± 1.57 ^{ab}	0.49 ± 0.07 ^c
	饥饿组 SG	1.55 ± 0.45 ^d	1.52 ± 0.13 ^{cd}	5.95 ± 0.61 ^{bc}	31.00 ± 5.67 ^{cd}	0.53 ± 0.05 ^c
60	对照组 CG	2.24 ± 0.50 ^{bcd}	1.89 ± 0.11 ^c	3.86 ± 0.82 ^a	3.04 ± 0.54 ^a	0.29 ± 0.05 ^{ab}
	饥饿组 SG	1.64 ± 0.57 ^d	1.66 ± 0.23 ^{dc}	8.88 ± 0.82 ^d	26.96 ± 2.66 ^c	0.69 ± 0.01 ^d

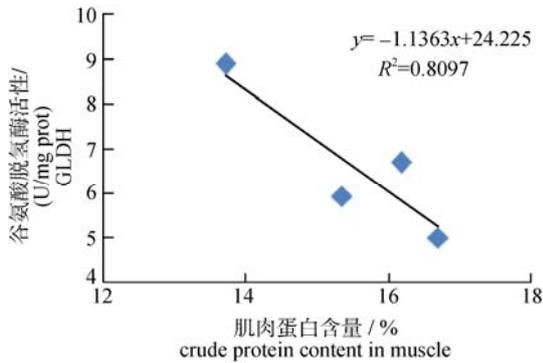


图1 饥饿组肌肉蛋白含量与GLDH的关系
 Fig. 1 The relationship between crude protein content in muscle tissue and GLDH of the starvation group

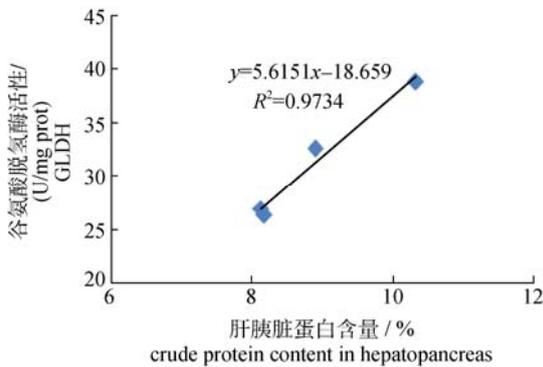


图2 饥饿组肝胰脏蛋白含量与GLDH的关系
 Fig. 2 The relationship between crude protein content in hepatopancreas and GLDH of the starvation group

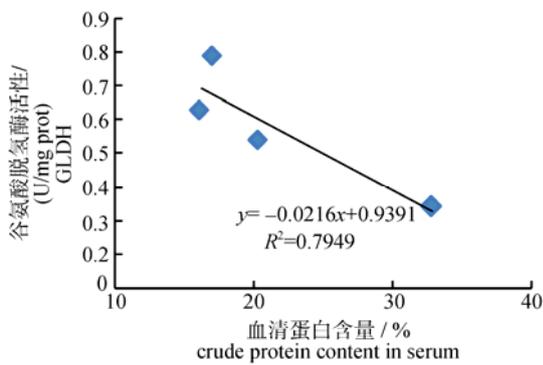


图3 饥饿组血清蛋白含量与GLDH的关系
 Fig. 3 The relationship between crude protein content in serum and GLDH of the starvation group

本实验表明, 饥饿时草鱼肥满度、脏器比、肝体比与对照组都呈现明显下降趋势, 这与斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*)^[18-19]的研究结果相似。龙章强等^[20]也指出在饥饿过程中, 黑鲷 (*Sparus macrocephalus*) 幼鱼体质量、肥满度、肝体指数均显著性下降。

饥饿条件下鱼体肥满度、肝体指数的变化, 其

实质是鱼体对自身物质和能量的消耗和利用, 故鱼体的生化组成是衡量鱼类营养状况的一个生理指标。随着饥饿时间的延长, 草鱼肌肉组织中的水分逐渐增加, 脂肪和蛋白质呈现降低的趋势。脂肪在4个时期没有明显的差异 ($P > 0.05$), 水分和蛋白质分别呈现差异性增加和降低的趋势。这与张守领等^[21]和沈文英等^[9]的研究结果相似, 由于鱼体通过分解自身的贮能物质提供能量, 机体内有机物含量减少, 水分和无机物含量相对增加, 使水分含量呈上升趋势; 但与罗波等^[4]对太平洋鲑的研究稍有不同, 在其研究中太平洋鲑肌肉中脂肪含量随饥饿时间延长而显著降低, 原因可能是由所研究的鱼种规格和饥饿时间不同而导致的。而李育培等^[22]在研究饥饿对白鲫 (*Carassius auratus cuvieri*) 能量物质消耗的影响中证明, 鱼体消耗的蛋白质 75%~100%来自肌肉, 消耗的脂肪仅有不到10%来自肌肉, 脂肪在8~16 d 出现一个消耗高峰期, 蛋白质在24~32 d 的消耗量较大, 这也可能是草鱼在饥饿15 d 后肌肉脂肪含量没有显著变化的原因, 因为脂肪在前15 d 中已经消耗了。

多数水产动物饥饿时首先动用体内储存的糖类和脂肪, 然后才消耗蛋白质, 如欧洲鳗鲡 (*Anguilla anguilla*)^[23]、大西洋鲑 (*Gadus morhua*) 及狗鱼 (*Esox lucius*)^[24]等。然而, 不同的鱼类由于生活方式和身体结构的差异, 对饥饿的适应性调节有所不同。大部分鲑鳟类饥饿时先利用蛋白质作为能源物质, 然后再利用脂肪^[25]。沈文英等^[9]等研究表明, 草鱼鱼种在早期饥饿15 d 时能较好地利用糖类作为能源物质, 而本实验中的草鱼在长期饥饿的过程中, 可能主要利用自身的蛋白质, 对脂肪的利用也一直存在。这与张守领等^[21]在饥饿对于花鲢 (*Hemibarbus maculatus*) 肌肉和血清主要生化指标的影响的研究结果相似。因此, 在恢复对草鱼的投饲时, 补充饲料蛋白质显得尤为重要。

3.2 饥饿胁迫对草鱼血清生化指标的影响

血清总蛋白和白蛋白是反映动物营养状况的指标之一, 良好的营养可使血清蛋白维持在较高的水平^[25]。胆固醇是皮质类激素和性激素的前体, 这些激素对水盐代谢、糖代谢、蛋白质代谢、脂肪代谢有着至关重要的作用。甘油三酯是鱼类脂肪代谢的主要产物, 在很大程度上可反映鱼类对脂肪的代谢情况。丙氨酸氨基转移酶在非必需氨基酸的

合成和蛋白质的分解代谢中起重要的作用。本实验中这些指标的变化并不随着饥饿时间的延长而呈现线性的增加或减小的趋势, 而是呈现波浪形变化, 这说明草鱼饥饿时消耗物质并不是呈现单一性的变化。杜震宇等^[26]认为, 在饥饿过程中鱼类对体内贮能物质的动用出现周期性和阶段性起伏的变化是因为鱼类在长期饥饿状态下对其自身储存能量的利用上有两方面的适应: 一方面降低代谢水平以节约能量消耗; 另一方面又尽可能将代谢保持在一定水平之上, 以保证在重新获得食物供应时或其它环境胁迫时能产生适当的应激反应^[27]。

3.3 饥饿胁迫对草鱼蛋白质代谢的影响

谷氨酸脱氢酶(GLDH)是蛋白质分解代谢和非必需氨基酸合成的关键酶, 其活性与蛋白质合成与分解有直接关系^[28]。GLDH 是通过催化体内氨基酸氧化脱氨基作用来参与蛋白质的分解, 具体作用是催化谷氨酸氧化脱氨基生成 α -酮戊二酸和氨, 其辅酶是 NAD^+ 或 $NADP$, 也可以催化其逆反应参与蛋白质的合成^[29]。对 GLDH 的研究目前较多的集中在植物及大动物上, 而对水产动物的研究相关报道较少。本实验测定了饥饿 15~60 d 3 种组织中 4 个时期的谷氨酸脱氢酶的活性, 就测定的 4 个时期而言, 在 3 种组织中的变化不尽相同, 说明其在鱼类中的表达有组织特异性, 其中在肝胰脏中的谷氨酸脱氢酶的含量与蛋白质含量的 R^2 值最大, P 值小于 0.01; P 值在血清中最小, 所以就测定谷氨酸脱氢酶的活性来说, 其在肝胰脏和血清中的检测可能是一种最有效的反映蛋白质代谢的指标。

谷氨酸脱氢酶的活性与蛋白质的含量在肌肉和血清中呈现负相关, 在肝胰脏中呈现正相关, 饥饿组的谷氨酸脱氢酶活性在肌肉和血清中随着饥饿时间的延长呈现逐渐升高的趋势, 在肝胰脏中呈现逐渐下降的趋势。由此可以推测, 当饥饿发生时谷氨酸脱氢酶主要在肝胰脏中先合成, 同时运输到各个组织^[30], 如肌肉、血清中进行蛋白质的分解代谢。本实验的检测是从饥饿第 15 天开始, 而肌肉是在 30 d 时表现出与对照组有明显的差异, 这可能是由于饥饿组的草鱼在此时利用了肌肉中的蛋白质作为能量物质。据此推理, 在血清中于 45 d 时呈现相同的趋势。

RNA : DNA 的变化是体内蛋白质合成状况的

体现, 与宏观上体长、体质量的变化相比, 它更能及时准确的反映鱼类生长状况。RNA : DNA 在肝胰脏组织随着时间的延长饥饿组呈现先降低后增高的趋势, 从显著低于对照组变化到与对照组无显著差异, 说明肝胰脏中蛋白质的合成能力在一定时间内随饥饿而减弱, 但减弱的程度会随着饥饿时间的延长而减小; 而谷氨酸脱氢酶活性在肌肉中随着时间的延长呈现上升的趋势。由于肌肉蛋白质的含量随饥饿时间延长呈现显著的下降趋势, 由此说明, 草鱼蛋白质分解代谢对饥饿的响应比蛋白质合成代谢更为灵敏。

4 结论

随着饥饿时间的延长, 肥满度、脏体比、肝体比与对照组相比都呈现明显下降趋势; 肌肉组织中的水分含量逐渐的增加, 脂肪和蛋白质含量呈现降低的趋势; 综合血清中的总蛋白、白蛋白、甘油三酯、总胆固醇含量、谷丙转氨酶和谷氨酸脱氢酶活性变化以及肌肉、肝胰脏中的 RNA : DNA 和谷氨酸脱氢酶活性变化, 认为草鱼对体内贮能物质(蛋白质和脂肪)的动用并不是简单地与饥饿时间呈线性相关, 而是出现阶段性起伏的变化; 肝胰脏和血清中的谷氨酸脱氢酶活性是一种有效的反应蛋白质代谢的指标。

参考文献:

- [1] 刘波, 何庆国, 唐永凯, 等. 饥饿胁迫对吉富罗非鱼生长及生理生化指标的影响[J]. 中国水产科学, 2009, 16(2): 230-238.
- [2] Viana M T, D'Abramo L R, Gonzalez M A, *et al.* Energy and nutrient utilization of juvenile green abalone (*Haliotis fulgens*) during starvation[J]. Aquaculture, 2007, 264(1-4): 323-329.
- [3] Shimeno S, Kheyyali D, Takeda M. Metabolic adaptation to prolonged starvation in carp[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1990, 56(1): 35-41.
- [4] 罗波, 冯健, 蒋步国, 等. 饥饿对太平洋鲑生长、机体组成及血浆相关生化指标变化研究[J]. 水生生物学报, 2010, 34(3): 541-546.
- [5] Guderley H, Lapointe D, Bédard M, *et al.* Metabolic priorities during starvation: enzyme sparing in liver and white muscle of Atlantic cod, *Gadus morhua* L[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A, 2003, 135(2): 347-356.
- [6] Einen O, Waagan B, Magny S, Thomassen. Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon *Salmo salar* L. Effects on weight loss, body shape, slaughter-anfillet-yield, proximate and fatty acid composition[J]. Aqua-

- culture, 1998, 166(1-2): 85-104.
- [7] Hung SSO, Liu W, Li H, Storebakken T. Effect of starvation on some morphological and biochemical parameters in white sturgeon, *Acipenser transmontanus*[J]. Aquaculture, 1997, 151(1-4): 357-363.
- [8] Bastrop R., Jirss K, Wacke R. Biochemical parameters as a measure of food availability and growth in immature rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1992, 102(1): 151-161.
- [9] 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.
- [10] 张为民, 张利红, 沈文英, 等. 饥饿状态下草鱼生长激素的分泌[J]. 水生生物学报, 2001, 25(3): 236-240.
- [11] 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.
- [12] Love R M. The Chemical Biology of Fishes, Vol 2: Advances 1968-1977[M]. London and New York: Academic Press, 1980.
- [13] Pruvost J, Vooren G V, Gouic B L, et al. Systematic investigation of biomass and lipid productivity by microalgae in photobioreactors for biodiesel application[J]. Bioresource Technology, 2011, 102(1): 150-158.
- [14] Schimidt G, Thannhauser S. A method for the determination of desoxyribonucleic acid, ribonucleic acid and phosphoproteins in animal tissues[J]. Journal of Biological Chemistry, 1945, 161: 83-89.
- [15] Gaylord T G, Gatlin D M. Dietary protein and energy modifications to maximize compensatory growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J]. Aquaculture, 2001, 194(3-4): 337-348.
- [16] Erolodogan O T, Kumlu M, Kiris G A, et al. Compensatory growth response of *Sparus aurata* following different starvation and refeeding protocols[J]. Aquaculture Research, 2006, 12(3): 201-203.
- [17] 高露姣, 陈立侨, 宋兵. 饥饿和补偿生长对史氏鲟幼鱼摄食、生长和体成分的影响[J]. 水产学报, 2004, 28(3): 279-284.
- [18] Gaylord T G, Gatlin D M. Assessment of compensatory growth in channel catfish *Ictalurus punctatus* (Rafinesque) and associated changes in body condition indices [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2000, 31(3): 326-336.
- [19] Bos worth B G, Wolters W. Effects of short term feed restriction on production, processing and body shape traits in market weight channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque)[J]. Aquaculture Research, 2005, 36(4): 344-351.
- [20] 龙章强, 彭士明, 陈立侨, 等. 饥饿与再投喂对黑鲟幼鱼体质量变化、生化组成及肝脏消化酶活性的影响[J]. 中国水产科学, 2008, 15(04): 606-613.
- [21] 张守领, 顾若波, 徐钢春, 等. 饥饿对于花鱼骨肌肉和血清主要生化指标的影响[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2006, 4(6): 513-516.
- [22] 李育培, 刁晓明, 阮少云, 等. 饥饿对白鲫能量物质消耗的影响[J]. 淡水渔业, 2008, 38(4): 57-62.
- [23] Larssaon A and K Lewander. Metabolic effects of starvation in the eel, *Anguilla anguilla*[J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1973, 44(2): 367-374.
- [24] Bernard W I, Alan T. The effect of starvation and force feeding on the metabolism of the Northern pike, *Esox lucius L.*[J]. Journal of Fish Biology, 1976, 8(1): 79-88.
- [25] Mommen T P, French C J, Hochachka P W. Sites and patterns of protein and amino acid utilization during the spawning migration of salmon[J]. Canadian Journal of Zoology, 1980, 58(10): 1785-1799.
- [26] 杜震宇, 刘永坚, 田丽霞, 等. 饥饿对于鲈肌肉、肝脏和血清主要生化组成的影响[J]. 动物学报, 2003, 49(4): 458-465.
- [27] Levy A, Perelman B, Waner T. Reference blood chemical values ostrich[J]. American Journal of Veterinary Research Struthio Camelus, 1989, 50(91): 1548-1550.
- [28] 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): 181-183.
- [29] 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. 生物化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [30] Schmidt E, Schmidt F W. Methods of enaymati analysis[M]. Third Eidtion Weinhetm: Verlag Chemie, 1981: 612-627.

Response of lipid and protein metabolism of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) to starvation

ZHU Zhan-ying¹, HUA Xue-ming^{1*}, YU Ning^{1,2}, XING Si-hua¹, WANG Jun¹, ZHOU Hong-qi¹

(1. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Agriculture, Shanghai, 201306, China;

2. Hangzhou Haihuang Feed Development Co. Ltd, Hangzhou 311100, China)

Abstract: Starvation is a situation undergone and tolerated by many fish species in the natural environment. Starvation is also an important environment factor for fish and it can affect fish growth, metabolism, behavior, reproduction, development and survival, as well as causes fish to infect diseases even to death. In order to estimate effects of starvation on growth, physiological and biochemical parameters of grass carp, fish with body weight(31.86±1.47) g were randomly divided into two groups(the starvation group, the control group), the starvation group was starved for 15, 30, 45, 60 d and the control group fed diet which met the nutritional requirements of grass carp. The results showed, with the prolonged time of starvation, hepatosomatic index and viserosomatic index decreased significantly compared with the control group ($P<0.05$). During the starvation, protein and lipid contents in muscle markedly declined, and moisture content increased ($P<0.05$). The contents of total protein, triacylglycerol, total cholesterol, ALT and ALB in the serum fluctuated in wave-like curves and decreased as a whole during starvation. As one of the important indexes reflecting the growth of fishes, RNA : DNA ratio in muscle had no significant difference, but there were significant differences in the hepatopancreas tissue compared with the control group ($P<0.05$). In order to estimate the effects of starvation on the protein metabolism, the activity of glutamate dehydrogenase was determined in serum, muscular and hepatopancreas tissues. The results showed that the activity of glutamate dehydrogenase was increased with the time increase of the starvation in the hepatopancreas, not in the other tissues. Glutamic dehydrogenase in serum and hepatopancreas was regarded as an operative index of protein metabolism compared with those in muscle tissue. To sum up, the tested fish used the substances(lipid and protein) of body which fluctuated in wave-like curves during 60-day starvation period.

Key words: *Ctenopharyngodon idellus*; starvation; lipid metabolism; protein metabolism

Corresponding author: HUA Xue-ming. E-mail: xmhua@shou.edu.cn