

饥饿和再投喂对鮰血液生理生化指标的影响

乔志刚^{1,2} 张建平¹ 牛景彦¹ 王武²

(1. 河南师范大学生命科学学院, 新乡 453007; 2. 上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090)

摘要: 在室内可控条件下, 对鮰 (*Silurus asotus* Linnaeus) 进行 7d、14d 和 21d 的饥饿处理, 随后各组恢复投喂 20d, 研究饥饿和再投喂对鮰血液生理生化指标的影响。结果显示: 饥饿过程中, 鮰血液红细胞数和血红蛋白 14d 内上升, 血红蛋白上升显著 ($p < 0.05$), 21d 后两项生理指标开始下降; 饥饿 7d 后血糖浓度显著下降 ($p < 0.05$), 饥饿 14d 和 21d 后趋于相对稳定; 总蛋白、白蛋白和球蛋白均呈下降趋势, 分别在饥饿的 14d、7d 和 21d 后与饥饿前达到显著性差异 ($p < 0.05$); 甘油三酯和总胆固醇分别在饥饿 7d 和 21d 后显著下降 ($p < 0.05$); 饥饿 14d 后 Na^+ 和 Cl^- 浓度显著下降 ($p < 0.05$), 21d 后 Na^+ 浓度却又显著上升 ($p < 0.05$), Cl^- 浓度有所回升; Ca^{2+} 浓度在饥饿过程中逐渐下降, 且差异显著 ($p < 0.05$)。饥饿对 K^+ 浓度和碱性磷酸酶活力没有明显影响。恢复投喂 20d 后, 测定的血液指标均有不同程度的恢复。采用二元三次方程 (CUB 类型) 就各项生理生化指标对饥饿时间 (d) 进行的回归分析表明, Ca^{2+} 与饥饿时间的决定系数 (R^2) 最大, 为 0.964, 因此将鮰血液的 Ca^{2+} 浓度作为其饥饿的评价指标则相对可信。

关键词: 鮰; 饥饿; 再投喂; 血液指标

中图分类号: Q174 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2008)05-0631-06

在自然及养殖条件下, 鱼类经常会在生活周期的一定阶段由于营养因素 (饵料基础、饵料的可得性及其质量) 而受到饥饿胁迫。饥饿是影响鱼类生理生态状况的重要因子之一, 过去对鱼类饥饿生理的研究, 主要集中在鱼类形态学、组织学及相关器官的生化组成和变化等方面^[1-7]。近年来国内外学者开始关注饥饿过程中鱼类血液的生理生化变化^[8], 如 Gillis 和 Ballantyne 对北美湖生红点鲑 (*Salvelinus salvelinus* Linnaeus)^[9], 沈文英等对银鲫 (*Carassius auratus gibelio gibelio* Bloch)^[10]、钱云霞等对鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus* Cuvier)^[11]、陈惠群等对鳗鲡 (*Anguilla anguilla* Linnaeus)^[12]、陈晓耘对南方鮰 (*Silurus meridionalis* Chen)^[13] 的血液学指标进行了研究。开展鱼类血液指标的研究, 不仅对全面阐明鱼类生物学特征有重要的理论价值, 而且对评价鱼类的健康与营养状况及解释鱼类继饥饿后的补偿生长机理也有着重要的指导作用。

鮰 (*Silurus asotus* Linnaeus), 属鮰科、鮰属, 是我国土著经济鱼类之一, 广泛分布于珠江、长江、黄河、黑龙江等水系。因其肉鲜刺少, 肥而不腻,

且具有化食积、加速愈合伤口的药膳作用, 而深受群众所喜食。随着我国水产养殖结构的调整, 鮰在池塘及其他水域中的养殖不断增多, 人们对鮰的研究也越来越多, 内容涉及了鮰的繁殖生物学、胚胎发育、人工繁殖及苗种培育技术等^[14], 但目前未见关于饥饿和再投喂对鮰血液指标影响的报道。作者以鮰幼鱼为研究对象, 对饥饿和再投喂过程中其血液生理生化指标的变化进行了初步研究, 旨在了解饥饿和再投喂过程中鮰血液生理生化指标的变化特点, 丰富鱼类血液学的研究内容, 为鮰产业化提供技术服务。

1 材料与方法

1.1 实验用鱼及其驯养 实验采用独立的玻璃水族箱 (135cm × 45cm × 100cm), 于 2005 年 10—12 月在河南师范大学水产养殖基地水族生态室进行。实验中每箱加 75cm 深水, 箱内使用可调式恒温潜水加热棒维持水温 (26 ± 1)°C。实验用鱼均为自行培育, 健康活泼的鮰幼鱼, 不分雌雄。实验正式开始前 30d, 将鮰消毒后放入水族箱内进行适应性饲养, 每

收稿日期: 2006-05-31; 修订日期: 2008-03-28

基金项目: 河南省自然科学基金 (0324030026) 资助

作者简介: 乔志刚 (1964—), 男, 河南淮阳人; 副教授, 博士研究生; 研究方向为集约化养殖及苗种工程。E-mail: hnsddsy@sohu.com

通讯作者: 王武 (1941—), 男, 江苏太仓人; 教授, 博导; 主要从事集约化水产养殖方面的研究和教学工作。E-mail: wwang@shfu.edu.cn

箱放养 20尾。驯养采用鲜活水蚯蚓为饵料;养殖用水为曝气 48h 后的自来水,每 2 天换水 1 次,整个实验期间,采用充气、换水和过滤相结合的方法维持各水族箱内水体溶氧 5.0mg/L 以上, pH 7.0—8.0, $\text{NH}_4^+ \cdot \text{N}$ 0.02—0.03mg/L, $\text{NO}_2^- \cdot \text{N}$ 0.01—0.03mg/L。实验期间每天记录水温,清除水族箱内粪便和污物,定期更换过滤棉。

1.2 实验方法 驯养结束后,将驯养的鮟幼鱼随机分为 4 组,每组三个平行,每平行(每箱)放养 15 尾,分别进行 0d(正常投喂组-C 组)、7d(饥饿 7d 组-S₇ 组)、14d(饥饿 14d 组-S₁₄ 组)和 21d(饥饿 21d 组-S₂₁ 组)的饥饿处理。饥饿结束后,采用鲜活水蚯蚓进行恢复饱食投喂 20d。各组分别在饥饿前、饥饿结束后及恢复投喂 20d 后取材。由于实验用鱼均为同一批孵化的鱼苗,且各组开始饥饿的时间一致,因此饥饿 0d 组的饥饿前取材样本,也是其他各组饥饿前的取材样本。每次取材时,分别从每箱中随机抽取 5 尾,其中 4 尾用于生化指标测定,1 尾用于生理指标测定,每组分别测定 3 个样本。

1.3 样品制备与测定

1.3.1 采血 采血时不对实验鱼进行任何麻醉处理,用湿纱布稳住鱼体,暴露尾部,使用 1mL 针筒尾静脉抽血,抽血前 1d 实验鱼停食。

1.3.2 血液生理指标测定 将采取的尾静脉血,单尾分别置入含有 EDTA K₂ 抗凝血的负压管中常温保存,用于测定生理指标。

红细胞(RBC)计数:用 0.65% 鱼用生理盐水作 200 倍稀释,Neubauer 计数板计数^[15]。

血红蛋白(Hb)测定:采用紫外可见分光光度计比色法^[15]。

1.3.3 血液生化指标测定

将采取的尾静脉血,经 3000r/min 分别离心 15min,收集血清,将四尾鱼的血清混合后作为一个

样本,然后测定各指标的值。血糖、蛋白质、甘油三酯、胆固醇和碱性磷酸酶采用 RT-1904C 半自动生化分析仪(美国雷杜公司)测定,测定用试剂由中生北控生物科技股份有限公司(北京)提供;K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Cl⁻ 等无机离子采用 S-2000 电解质分析仪(北京松上技术有限公司)测定。所有生理生化指标 5h 内(从采血到测定结束)测定完成。

1.4 数据处理 数据整理和图表制做使用 Excel 2003 软件。试验结果使用 SPSS11.0 统计软件进行方差分析和回归分析。每组数据用平均值±标准误表示。

2 结果

2.1 鮟血液生理指标的变化

饥饿处理前鮟红细胞数为 (2.28 ± 0.15) × 10¹²/L, 饥饿 7d、14d 后红细胞数呈上升趋势,继续饥饿鮟红细胞数略有下降;饥饿期间,各饥饿组与饥饿前鮟红细胞数相比较均无显著性差异($p > 0.05$)。饥饿处理前鮟血红蛋白含量为 (11.17 ± 0.60) g/100mL, 饥饿 7d、14d 和 21d 鮟血红蛋白含量呈上升趋势,但饥饿的后期,血红蛋白上升的趋势开始回落,至 21d 饥饿结束时,其血红蛋白含量仍然略高于饥饿前水平;饥饿期间,各饥饿组与饥饿前血红蛋白含量相比较,S₁₄ 组有显著性差异($p < 0.05$),其余则无显著性差异($p > 0.05$)。

恢复投喂 20d 后,各饥饿组鮟红细胞数高于正常投喂组;与正常投喂组相比,S₇ 组有显著性差异($p < 0.05$),而 S₁₄ 和 S₂₁ 组无显著性差异($p > 0.05$)。各组恢复投喂 20d 后,其血红蛋白含量均呈下降趋势,但各组下降后基本稳定在 9.7—10.7g/100mL 之间;S₇、S₁₄ 和 S₂₁ 各组鮟血红蛋白含量与正常投喂组相比较均无显著性差异($p > 0.05$)。饥饿和再投喂过程中鮟血液生理指标的变化(表 1)。

表 1 饥饿和再投喂对鮟鱼血液生理指标的影响(平均数±标准误差)

Tab. 1 Effects of starvation and refeeding on the hematological indices of *Silurus asotus* (mean ± S.E.)

项目 Item	0d(C组)	饥饿时间 Starvation time (d)		
		7d(S ₇ 组)	14d(S ₁₄ 组)	21d(S ₂₁ 组)
红细胞 Red blood cell (10 ¹² /L)	饥饿结束后	2.28 ± 0.15 ^{ab}	2.46 ± 0.21 ^{ab}	2.77 ± 0.19 ^a
	恢复投喂 20d 后	1.83 ± 0.20 ^a	2.48 ± 0.11 ^b	1.99 ± 0.15 ^{ac}
血红蛋白 Hemoglobin (g/100mL)	饥饿结束后	11.17 ± 0.60 ^a	12.60 ± 0.47 ^{ab}	13.13 ± 0.61 ^b
	恢复投喂 20d 后	9.83 ± 1.65	10.70 ± 0.44	9.70 ± 0.06

注:同一行中数据具不同上标的表示具显著差异($p < 0.05$);下同

Note: Different upper script in the same row indicate significant difference ($p < 0.05$); The same as follows

2.2 鮟血液生化指标的变化

饥饿处理前鮟血糖为(7.41 ± 0.26) mmol/L,饥饿7d、14d和21d过程中血糖持续下降,至21d时,鮟血糖含量为饥饿前的73.14%;饥饿期间,各饥饿组的血糖水平与饥饿前相比较均有显著性差异($p < 0.05$),但各饥饿组之间的血糖水平无显著性差异($p > 0.05$)。这说明饥饿会使鮟血糖迅速下降,而后即维持在一定范围内不再大幅度下降。恢复投喂20d后,正常投喂组鮟血糖基本稳定,饥饿各组的鮟血糖均呈上升趋势,各饥饿组恢复投喂后的血糖水平虽有差别,但差异不显著;各饥饿组与正常投喂组的血糖水平相比较, S_2 组有显著性差异($p < 0.05$)。

饥饿处理前鮟血液总蛋白为(49.15 ± 0.98) g/L,其中白蛋白(16.46 ± 0.59) g/L、球蛋白(32.69 ± 1.42) g/L。饥饿过程中总蛋白、白蛋白和球蛋白均呈下降趋势,与饥饿前相比较,其中白蛋白在饥饿14d后达到显著性差异($p < 0.05$),而总蛋白和球蛋白则在饥饿21d后达到显著性差异($p < 0.05$)。恢复投喂20d后,与饥饿期间相比较,除白蛋白略有升高外,其余各组的总蛋白、白蛋白和球蛋白均呈下降趋势;恢复投喂后,饥饿各组与正常投喂组相比较, S_1 组鮟血液总蛋白和球蛋白与正常投喂组有显著性差异($p < 0.05$), S_1 、 S_{14} 和 S_{21} 各组鮟血液白蛋白与正常投喂组相比较均无显著性差异($p > 0.05$)。在饥饿和再投喂过程中,各饥饿处理组鮟白球比与正常投喂组相比较无显著性差异($p > 0.05$)。

饥饿处理前鮟血液甘油三酯为(7.21 ± 1.40) mmol/L,饥饿后 S_1 、 S_{14} 和 S_{21} 各组的甘油三酯,均呈下降趋势,各饥饿组的甘油三酯水平与饥饿处理前相比较均有显著性差异($p < 0.05$),但各饥饿组间相比较无显著性差异($p > 0.05$)。恢复投喂20d后,正常投喂组鮟血液甘油三酯略有下降,而 S_1 、 S_{14} 和 S_{21} 各组

的鮟血液甘油三酯则大幅度升高,各处理组间鮟血液甘油三酯相比较均无显著性差异($p > 0.05$)。

饥饿处理前鮟血液总胆固醇为(7.59 ± 0.34) mmol/L,饥饿使 S_1 、 S_{14} 和 S_{21} 各组的总胆固醇下降,与饥饿处理前相比较,鮟血液总胆固醇饥饿21d后达到显著性差异($p < 0.05$)。恢复投喂20d后,正常投喂组和 S_{14} 组鮟血液总胆固醇略有降低,而 S_1 组和 S_{21} 组略有升高,但总体与饥饿结束时相比较变化幅度不大;恢复投喂20d后,各组间鮟血液总胆固醇相比较, S_1 组与C组、 S_{14} 和 S_{21} 组有显著性差异($p < 0.05$),其余各组间则无显著性差异($p > 0.05$)。

饥饿处理前鮟血液碱性磷酸酶活力为(86.08 ± 11.58) IU/L,饥饿7d、14d、21d过程及各处理组恢复投喂20d后,碱性磷酸酶基本稳定,各组间相比较均无显著性差异($p > 0.05$)。

饥饿处理前鮟血液中 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 等无机离子的含量分别是(4.76 ± 0.66)、(129.63 ± 0.66)、(2.31 ± 0.02)、(109.00 ± 0.10) mmol/L。饥饿过程中, Na^+ 和 Cl^- 浓度先降后升,而 K^+ 浓度则相反,先升后降, Ca^{2+} 浓度持续下降。其中,饥饿14d、21d组 K^+ 浓度与饥饿处理前相比较有显著性差异($p < 0.05$);饥饿7d、14d组 Cl^- 浓度与饥饿处理前相比较有显著性差异($p < 0.05$),而饥饿21d组与饥饿处理前相比较无显著性差异($p > 0.05$);各饥饿组 Na^+ 和 Ca^{2+} 浓度与饥饿处理前相比较有显著性差异($p < 0.05$)。恢复投喂20d后,各饥饿组 K^+ 浓度与正常投喂组相比较有显著性差异($p < 0.05$)。饥饿7d、14d组 Na^+ 和 Cl^- 浓度与正常投喂组相比较有显著性差异($p < 0.05$),饥饿21d组与正常投喂组间则无显著性差异($p > 0.05$)。各饥饿组 Ca^{2+} 浓度与正常投喂组相比较无显著性差异($p > 0.05$)。饥饿和再投喂过程中鮟血液生化指标的变化(表2)。

表2 饥饿和再投喂对血液生化指标的影响(平均数±标准误)

Tab. 2 Effects of starvation and refeeding on the blood biochemical indices of *Silurus asotus* (mean ± S.E.)

项目 Item		饥饿时间 Starvation time (d)			
		0d(对照组)	7d	14d	21d
血糖 Serum glucose (mmol/L)	饥饿结束后	7.41 ± 0.26^a	6.16 ± 0.27^b	5.55 ± 0.29^b	5.42 ± 0.41^b
	恢复投喂20d后	7.48 ± 1.00^a	8.58 ± 0.83^{ab}	9.55 ± 0.73^{ab}	10.84 ± 0.81^b
总蛋白 Total protein (g/L)	饥饿结束后	49.15 ± 0.98^a	44.32 ± 2.97^a	40.81 ± 2.34^a	29.50 ± 3.65^b
	恢复投喂20d后	43.33 ± 1.20^a	43.16 ± 2.37^a	40.79 ± 1.50^a	26.20 ± 1.92^b
白蛋白 Albumin (g/L)	饥饿结束后	16.46 ± 0.59^a	11.43 ± 0.17^b	12.62 ± 0.82^b	9.11 ± 0.87^c
	恢复投喂20d后	14.33 ± 2.08^{ab}	17.82 ± 2.19^a	14.68 ± 0.72^a	9.97 ± 1.04^b
球蛋白 Globin (g/L)	饥饿结束后	32.69 ± 1.42^a	32.89 ± 2.85^a	28.19 ± 1.87^{ab}	20.40 ± 3.61^b
	恢复投喂20d后	29.00 ± 2.08^a	25.34 ± 0.58^a	26.11 ± 0.82^a	16.22 ± 1.47^b

续表

项目 Item		饥饿时间 Starvation time (d)			
		0d(对照组)	7d	14d	21d
白球比 (AP/GP)	饥饿结束后 恢复投喂 20d后	0.51 ±0.04 0.51 ±0.08	0.35 ±0.03 0.70 ±0.09	0.45 ±0.03 0.56 ±0.01	0.47 ±0.10 0.62 ±0.08
甘油三酯 Serum triglyceride (mmol/L)	饥饿结束后 恢复投喂 20d后	7.21 ±1.40 ^a 4.33 ±1.32	1.89 ±0.12 ^b 5.47 ±0.36	2.08 ±0.32 ^b 4.56 ±0.32	1.27 ±0.04 ^b 3.47 ±0.04
总胆固醇 Total cholesterol (mmol/L)	饥饿结束后 恢复投喂 20d后	7.59 ±0.34 ^a 5.69 ±0.70 ^a	7.24 ±0.60 ^a 7.42 ±0.59 ^b	6.47 ±0.08 ^a 5.16 ±0.18 ^a	4.93 ±0.20 ^b 5.32 ±0.21 ^a
碱性磷酸酶 AKP (U/L)	饥饿结束后 恢复投喂 20d后	86.08 ±11.58 73.00 ±20.52	91.27 ±8.17 80.61 ±6.32	91.62 ±15.68 87.39 ±8.79	80.09 ±10.36 81.23 ±4.16
K ⁺ (mmol/L)	饥饿结束后 恢复投喂 20d后	2.42 ±0.06 ^a 4.76 ±0.66 ^a	3.47 ±0.12 ^{ab} 3.23 ±0.35 ^b	4.95 ±0.94 ^b 3.43 ±0.13 ^b	4.58 ±0.22 ^b 3.07 ±0.15 ^b
Na ⁺ (mmol/L)	饥饿结束后 恢复投喂 20d后	129.63 ±0.66 ^a 137.63 ±1.66 ^a	122.60 ±1.59 ^b 150.20 ±1.97 ^b	121.13 ±0.33 ^b 143.70 ±1.15 ^c	133.90 ±0.92 ^c 134.23 ±0.44 ^a
Ca ²⁺ (mmol/L)	饥饿结束后 恢复投喂 20d后	2.31 ±0.02 ^a 1.67 ±0.05	2.01 ±0.06 ^b 1.66 ±0.05	1.95 ±0.05 ^b 1.67 ±0.04	1.47 ±0.03 ^c 1.55 ±0.01
Cl ⁻ (mmol/L)	饥饿结束后 恢复投喂 20d后	109.00 ±0.10 ^a 112.33 ±0.70 ^a	104.90 ±0.84 ^b 120.23 ±0.78 ^b	104.27 ±0.39 ^b 117.33 ±0.67 ^c	111.03 ±0.87 ^a 111.40 ±1.06 ^a

3 讨论

3.1 饥饿和再投喂对鮰血液生理指标的影响

在饥饿过程中,鮰的红细胞数和血红蛋白含量虽有变化,但变化幅度较小,而在短期饥饿的过程中其红细胞数和血红蛋白含量不但不下降,反而呈上升趋势。恢复投喂后,其红细胞数和血红蛋白含量变化也不明显。同杂食性的雌鲫相比,饥饿半月,雌鲫的红细胞数目即下降了正常值的40%^[16],一定程度上表明作为肉食性鱼类的鮰个体,在对血液生理指标的稳定上,可能具有较强的调节能力。

我们知道红细胞及其血红蛋白在血液中的重要生理作用是运输氧。研究表明,鮰短期饥饿,红细胞数和血红蛋白含量呈上升趋势,而饥饿至21d,血红细胞数低于饥饿处理前,血红蛋白含量虽略高于饥饿处理前,但也呈下降趋势。这种短期饥饿红细胞数和血红蛋白上升的生理现象,其意义可能在于饥饿鱼类以充分的氧供应保持个体的能量代谢,争取在短时间内获得食物以摆脱饥饿对个体生存的威胁,但随着饥饿程度的加深,如鱼类仍不能得到食物供应,则饥饿的鱼类势必要减少氧的供应,从而降低个体的能量代谢水平以最大限度地维持个体的生存。陈惠群等^[12]对鳗鲡的饥饿实验表明随着饥饿时间的延长,血红蛋白含量表现为先升高后下降的趋势,也是对此现象生理意义推测的佐证。

3.2 饥饿和再投喂对鮰血液生化指标的影响

鱼类血糖的来源主要有三条途径,即:食物中糖的消化吸收;肝糖元的分解;蛋白质、脂肪等的糖异生作用。三条途径在激素及神经系统的调节下使血糖浓度保持一定水平,以维持鱼类正常的生命活动^[17]。实验表明,饥饿7d鮰的血糖浓度下降了16.9%,以后几周虽然略有下降,但降幅不大,而相对维持在一个恒定的水平。这说明在摄食状况下,鮰血糖浓度的维持主要是依靠食物中的碳水化合物消化吸收实现的;而在饥饿时,鮰不再从食物中得到碳水化合物,其血糖浓度的维持主要靠糖异生作用来实现,这与许多研究表明的鱼类在饥饿时其糖异生作用明显提高^[9]是一致的。各饥饿组恢复投喂20d后,各组血糖浓度均迅速恢复,并超过正常投喂组水平,也说明了摄食即食物中糖的消化吸收是鮰血糖的主要来源。钱云霞等^[11]在对养殖鲈鱼饥饿1周后,发现其血糖浓度下降了42.9%,大于鮰饥饿1周后血糖下降的幅度(下降16.87%)。

饥饿7d后,鮰血液中甘油三酯显著下降了73.79%,随后维持在一个相对稳定的水平上;饥饿14d后,鮰的总蛋白显著下降了16.97%,21d后显著下降了39.98%。许多研究表明,鱼类在饥饿过程中,糖的异生作用明显提高^[18]。但本实验中下降的甘油三酯和蛋白是否转化为血糖,有待于进一步的研究证明。

实验测定鮰正常投喂状态下白蛋白和球蛋白之

比为 0.51,与南方鮟的白球比(0.99)^[13]差别较大,说明不同种类的鱼类其血液中的白蛋白和球蛋白的含量差别较大。我们知道血液中的蛋白对维持血浆胶体渗透压有着重要作用。为了维持正常生命活动,具有各种功用的血清蛋白会一直在体内合成和分解,维持一种动态的平衡。对鮟血液的白球比分析发现,各饥饿组与正常投喂组相比较,白球比均无显著性差异,表现出鮟血液的白球比相对稳定的性质。这说明饥饿虽然会引起鮟血液总蛋白、白蛋白和球蛋白的变化,但鮟自身亦表现出了通过调节两种蛋白的比率来维持血浆胶体渗透压的能力。

饥饿对鮟血液中的无机离子含量都有影响,其中 Na^+ 与 Cl^- 两种离子变化相似先降后升, K^+ 则先升后降, Ca^{2+} 的含量随着饥饿时间的延长不断下降。通过对 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 三种离子的相关性分析表明, K^+ 的变化与 Cl^- 没有相关性,而 Na^+ 的变化与 Cl^- 相关性很高,其皮尔逊相关系数为 0.985。这与养殖鲈鱼^[11]的结果一致。

3.3 鮟血液生理生化指标对饥饿时间的回归分析

就测定的各项生理生化指标对饥饿时间(以天为单位,d)采用 CUB 方程 ($Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^2 + b_3 X^3$, $0 \leq X \leq 21$)类型进行回归分析,结果见表 3。表中的 R^2 为决定系数,其值越大,表明两因子之间的相关性越大。从分析结果可见,在建立的各项血液指标对时间的回归方程中,以 Ca^{2+} 的 R^2 值最大,达 0.964,而碱性磷酸酶的 R^2 值最小,仅为 0.073。这表明在测定的所有血液指标中, Ca^{2+} 浓度的变化与饥饿时间的关联最为密切,加之 Ca^{2+} 浓度的测定也相对较易,因此,采用 Ca^{2+} 浓度的变化作为评价鮟饥饿的首选指示指标是合理的。而钱云霞等^[11]在就养殖鲈鱼的血液生理生化指标对饥饿时间回归分析后,建议用血红蛋白作为衡量养殖鲈鱼饥饿程度的首选指标;但本实验研究发现,鮟血红蛋白在饥饿过程中的变化比较复杂,而且按 CUB 方程类型和饥饿时间进行回归分析后得到的 R^2 值仅为 0.534,所以本实验中血红蛋白不能作为评价鮟饥饿的首选指示指标。

表 3 鮟血液生理生化指标对饥饿时间的回归方程

Tab. 3 Regression equation of hematological and blood biochemical indices of *Silurus asotus*

项目 Item	方程类型 Equation type	R^2	d. f.	F	回归方程系数 Index of regression equations			
					b_0	b_1	b_2	b_3
红细胞数 RBC	CUB	0.482	8	2.48	9.5057	-2.5671	0.5060	-0.0299
血红蛋白 Hb	CUB	0.534	8	3.05	64.3997	-23.4980	9.7670	-1.5184
血糖 G	CUB	0.761	8	8.51	38.6443	-34.4040	14.0420	-1.8218
总蛋白 TP	CUB	0.786	8	9.79	25.7553	10.9056	-4.2750	0.3034
白蛋白 AP	CUB	0.887	8	20.99	1.2375	-1.1273	0.4506	-0.0541
球蛋白 GP	CUB	0.658	8	5.13	24.5267	-25.4810	9.2458	-1.0822
白球比 AP/GP	CUB	0.342	8	1.38	7.8640	-0.3537	0.1378	-0.0582
甘油三酯 TG	CUB	0.845	8	14.5	1116.5600	-1041.8000	324.1150	-32.5290
总胆固醇 TC	CUB	0.798	8	10.53	-526.0100	1202.1800	-585.9800	83.3318
碱性磷酸酶 AKP	CUB	0.073	8	0.21	4.0467	-3.7289	2.4767	-0.3778
钾 K^+	CUB	0.672	8	5.47	112.6330	-2.0889	-2.2000	0.6556
钠 Na^+	CUB	0.933	8	36.9	3.5067	-1.8639	0.7767	-0.1094
氯 Cl^-	CUB	0.908	8	26.18	6.9767	-3.6644	1.5267	-0.2156
钙 Ca^{2+}	CUB	0.964	8	70.74	4.5567	3.7672	-1.5300	0.1928

参考文献:

- [1] Ehrlich K F, Blaxter J H S, Pemberton R. Morphological and histological changes during growth and starvation of Herring and Plaice larvae [J]. *Marine Biology*, 1976, **35**: 105—108
- [2] Bisbal G A, Bengtson D A. Description of starving condition in summer flounder *Paralichthys dentatus* early history stage [J]. *Fish Bulletin*, 1995, **93**: 217—230
- [3] Maddock D M, Burton M P M. Some effects of starvation on the lipid and skeletal muscle layers of the winter flounder, *Pleuronectes americanus* [J]. *Can J Zool*, 1994, **72**: 1672—1679
- [4] MacLeod M G. Effects of salinity and starvation on the alimentary canal anatomy of the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson [J]. *Fish Biol*, 1978, **12**: 71—79
- [5] Jobling M. Effects of starvation on proximate chemical composition and energy utilization of plaice, *Pleuronectes platessa L* [J]. *Fish Biol*, 1980, **17**: 325—334
- [6] Wright D A, F D Martin. The effect of starvation on RNA: DNA ratios and growth of larval striped bass, *Morone saxatilis* [J]. *Fish Biol*, 1985, **27**: 479—485

- [7] Xie X J, Deng L, Zhang B. Advances and studies on ecophysiological effects of starvation on fish [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1998, **22**(2): 181—188 [谢小军, 邓利, 张波. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展. 水生生物学报, 1998, 22(2): 181—188]
- [8] Zhou Y, Guo W C, Yang Z G, et al. Advances in the study of haemotological indices offish [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2001, **10**(2): 163—165 [周玉, 郭文场, 杨振国, 等. 鱼类血液学指标研究的进展. 上海水产大学学报, 2001, 10(2): 163—165]
- [9] Gillis T E, Ballantyne J S. The effects of starvation on plasma free amino acid and glucose concentrations in lake sturgeon [J]. *J Fish Biol*, 1996, **49**(6): 1306—1316
- [10] Shen W Y, Zhang L H, Zhang Y P, et al. Effect of starvation on blood composition and ovarian development in *Carassius auratus gibelio* [J]. *Zoological Research*, 2003, **24**(6): 441—444 [沈文英, 张利红, 郑永萍, 等. 饥饿对银鲫血液组分和卵巢发育的影响. 动物学研究, 2003, 24(6): 441—444]
- [11] Qian Y X, Chen H Q, Sun J F. Effect of starvation on blood physiology and biochemical indexes of cultured *Lateolabrax japonicus* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2002, **9**(2): 133—136 [钱云霞, 陈惠群, 孙江飞. 饥饿对养殖鲈鱼血液生理生化指标的影响. 中国水产科学, 2002, 9(2): 133—136]
- [12] Chen H Q, Yang W G. Effects of starvation on some blood proprieties of Japanese eel, *Aguilla japonica* [J]. *Fisheries Science*, 2001, **20**(2): 10—11 [陈惠群, 杨文鸽. 饥饿鳗鲡某些血液指标的影响. 水产科学, 2001, 20(2): 10—11]
- [13] Chen X Y. Effects of starvation on the blood of south catfish (*Silurus meridionalis* Chen) [J]. *Southwest Agr Univ*, 2000, **22**(2): 167—169 [陈晓耘. 饥饿对南方鮰幼鱼血液的影响. 西南农业大学学报, 2000, 22(2): 167—169]
- [14] Qiao Z G, Chang G L, Shi L, et al. The weaning food for the larval of *Silurus asotus* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2004, **34**(2): 11—13 [乔志刚, 常国亮, 石灵, 等. 鲇仔鱼开口饵料的研究. 淡水渔业, 2004, 34(2): 11—13]
- [15] Chen Q C, Yan D Y, Wu Z X. Laboratory exercises in physiology [M]. Beijing: Science Press 1995, 60—68 [陈其才, 严定友, 吴政星. 生理学试验. 北京: 科学出版社. 1995, 60—68]
- [16] Lin G H. Blood study on *Carassius auratus* [J]. *Acta Zoological Sinica*, 1979, **25**(3): 210—218 [林光华. 鲫鱼血液的研究. 动物学报, 1979, 25(3): 210—218]
- [17] Wei Qi Jiu Xiong Blood and circulation physiology of fish [M]. Shanghai: Science and Technology Press 1982, 88—89 [尾琦久雄. 鱼类血液与循环生理. 上海: 上海科学技术出版社. 1982, 88—89]
- [18] Gillis T E, Ballantyne J S. The effects of starvation on plasma free amino acid and glucose concentrations in lake sturgeon [J]. *J Fish Biol*, 1996, **49**(6): 1306—1316

EFFECTS OF STARVATION AND REFEEDING ON THE BLOOD INDICES OF SILURUS ASOTUS

QIAO Zhi-Gang^{1,2}, ZHANG Jian-Ping¹, NIU Jing-Yan¹ and WANG Wu²

(1. College of Life Science, Normal University of Henan, Xinxiang 453007;

2. College of Aquatic Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090)

Abstract: Under the controllable indoor conditions, *Silurus asotus* were disposed with the starvation of 7d, 14d and 21d respectively. After that, each group was resumed to refeed for 20 days. Then the effects of starvation and refeeding on the physiological and bio-chemical of the blood of *Silurus asotus* were studied in this experiment. Results were revealed as following: The numbers of the red cells increased after starvation in 14d and then decreased ($p > 0.05$) after starvation for 21d. The hemoglobin content increased significantly ($p < 0.05$) after starvation for 14d and then decreased ($p > 0.05$) after starvation for 21d. The serum glucose levels decreased sharply ($p < 0.05$) after starvation for 7d and then kept stably. The concentrations of total protein, albumin and globulin decreased significantly ($p < 0.05$) after starvation for 14d, 7d and 21d, respectively. The serum triglyceride and the total cholesterol and globulin decreased significantly ($p < 0.05$) after starvation for 7d and 21d, respectively. The concentrations of Na^+ and Cl^- decreased significantly ($p < 0.05$) after starvation of 14d. After starvation for 21d, the concentrations of Na^+ increased significantly ($p < 0.05$) and the Cl^- increased again ($p > 0.05$). The concentrations of Ca^{2+} decreased significantly ($p < 0.05$) after starvation. No differences were detected among the groups in the K^+ concentrations and AKP activity. After re-feeding for 20d, the blood indices all recovered at different levels. Regressions are developed to simulate the relationship between starvation time and each parameter that the highest coefficients of determination for all parameters are on cube regression equation, among which the coefficients of determination of the concentrations of Ca^{2+} are the highest, 0.964. The Ca^{2+} concentrations may be the starvation indices for assessment of their easy detection.

Key words: *Silurus asotus*; Starvation; Refeeding; Blood indices