

饥饿再投喂对花鲈幼鱼生理生化指标的影响

胡玲珠¹, 周宣羽¹, 张 顺¹, 徐善良^{1,2*}

(1.宁波大学 海洋学院, 浙江 宁波 315832; 2.应用海洋生物技术教育部重点实验室, 浙江 宁波 315832)

摘要: 为了研究饥饿再投喂对花鲈幼鱼生理生化指标(肝指数、摄食率、血液生理生化指标、肌肉成分)的影响, 设 S5、S10、S15 共 3 个实验组, 分别在饥饿 5、10、15 d 后, 恢复投喂至第 35 天, 对照组 S0 持续正常喂食, 分别于饥饿结束时、恢复投喂 5 d 及实验结束时取样. 结果表明: (1) 肝指数在饥饿胁迫后严重下降, S15 组下降至初始值的 40% 左右. (2) 实验组恢复投喂时的摄食率较 S0 组下降了 10.8%~24.0%, 恢复投喂后有所回升. (3) 花鲈血液生理指数受到饥饿胁迫的影响显著, 3 个饥饿实验组的白细胞、红细胞数目和血红蛋白含量均大幅度下降; 反之, 蛋白含量都有一定程度的增加; 恢复投喂后的各指标基本能恢复到正常水平. (4) 饥饿胁迫对灰分无显著影响. 粗脂肪表现出下降趋势, 但实验结束时, 除 S15 组外都能恢复到正常水平. 粗蛋白在 S15 组才出现下降, 恢复投喂后能迅速恢复到对照组水平. 分析认为, 在花鲈饥饿过程中肌肉脂肪的调动先于肌肉蛋白, 而恢复投喂后, 肌肉蛋白的恢复先于肌肉脂肪.

关键词: 花鲈; 饥饿; 再投喂; 肝指数; 血液指标; 肌肉成分

中图分类号: S917.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2021) 04-0008-07

在鱼类养殖过程中, 经常会遇到因食物短缺而遭受饥饿胁迫的情况, 在自然野生环境中此状况更加常见. 饥饿胁迫对鱼类生理生态的影响涉及到多方面, 饥饿可以引起鱼类代谢、组织结构、繁殖、肌肉组成成分、体内酶活性和血液常规指标、鱼体能值等的变化^[1-4]. 一旦恢复进食后, 某些鱼类有时能出现补偿生长现象, 而且与其饥饿胁迫时间和恢复摄食时间长短有关. 不同鱼类不同饥饿处理均会出现不同的补偿生长强度, 一般可分为部分补偿生长、完全补偿生长、超补偿生长^[5-6]. 完全补偿生长的鱼类恢复摄食后, 其体重增加与持续充足摄食的鱼体重基本持平, 超补偿生长鱼类体重增加程度甚至比持续充足摄食的鱼类还要高, 有关这方面的研究已深入到各个层面^[7-10].

鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)属鲈形目, 鲈科, 花鲈属. 花鲈主要分布于中国、日本和朝鲜沿海, 是我国各海区常见的中大型经济鱼类, 也是沿海各地重要的养殖鱼种之一. 有关花鲈的饥饿研究

已有报道, 钱云霞等^[11]研究了饥饿对成年花鲈蛋白酶和血液生理生化指标影响; 曾庆民^[12]探讨了饥饿对花鲈幼鱼生长效果影响; 朱艺峰等^[13]报道了周期性饥饿下花鲈幼鱼形态变化和补偿生长的机理; 楼宝等^[14]提出了饥饿及恢复投喂过程中成年花鲈肌肉组成的变化; 潘艳艳等^[15]研究了饥饿及恢复摄食对花鲈肠道壁及内容物微生物菌群的影响. 但已有文献研究相对单一, 本文则较全面地研究了饥饿及再投喂下鲈鱼的肝指数、摄食率、血液生理生化参数及肌肉成分的变化, 旨在了解花鲈幼鱼饥饿生理特征, 进一步为花鲈在营养、消化生理、生物能量学等方面研究提供资料, 同时为降低花鲈养殖成本、提高养殖效益提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用花鲈幼鱼驯养在宁波大学曹光彪科技楼的鱼类养殖实验槽内, 体长 12~17 cm, 体质量

收稿日期: 2020-07-23.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(31872586); 浙江省自然科学基金(LY18C190008); 浙江省重大科技专项(2019C02059).

第一作者: 胡玲珠(1995-), 女, 安徽池州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 鱼类繁殖与发育. E-mail: 1289729477@qq.com

*通信作者: 徐善良(1962-), 男, 浙江舟山人, 教授, 主要研究方向: 水产动物繁育. E-mail: xushanliang@nbu.edu.cn

62~96 g. 驯养期间盐度 22, 水温 18~20 ℃.

1.2 实验设计

实验设 S5、S10、S15 共 3 个实验组, 分别为在饥饿 5、10、15 d 后, 再恢复正常投喂, 各组总实验时间均为 35 d. S5 组为饥饿处理 5 d 后, 恢复饱食投喂 30 d; S10 组为饥饿处理 10 d 后, 恢复饱食投喂 25 d; S15 组为饥饿处理 15 d 后, 恢复饱食投喂 20 d. 并设对照组(持续饱食投喂), 每组均设 3 平行, 每个平行 18 尾幼鱼.

1.3 实验方法

实验在室内 12 个 200 L 水槽中进行. 对照组及恢复投喂后于每天饱食投喂 2 次(7:00 和 17:00), 投喂山东产“升索”海水鱼 7#浮性饲料. 每日吸污换水, 保持水质理化指标稳定. 试验盐度 20, 水温 18~20 ℃, pH 7.8~8.1, 溶解氧 7 mg·L⁻¹ 以上, 氨氮 0.5 mg·L⁻¹ 以下, 亚硝酸氮 0.05 mg·L⁻¹ 以下.

实验组分别在饥饿结束、恢复投喂 5 d 以及实验结束时取样, 对照组于实验开始和结束时取样. 取样时, 在每个平行桶随机取 2 尾, 先称鱼质量(精确至 0.01 g), 再于尾静脉处抽血, 然后置冰盘中解剖, 取其肝脏并准确称量(至 0.001 g), 肝脏与鱼体样品保存在-20 ℃冰箱中待测, 血液立即送检.

血液生理指标测定: 用抗凝管抽血 1 mL 送医院, 采用 SK9000 全自动血细胞分析仪, 对血液常规指标(白细胞、红细胞和血红蛋白等)进行测定. 血液生化指标测定: 非抗凝血于 4 ℃放置 12 h 后

离心取血清, 采用日立 H-7600 全自动生化分析仪对总蛋白、白蛋白、球蛋白、甘油三酯等 4 项生化指标进行测定. 鱼体样品肌肉成分测定: 分别采用凯氏定氮法(GB/T 6432-1994)测定粗蛋白含量; 采用索氏乙醚抽提法(GB/T 6433-2006)测定粗脂肪含量; 采用连续灰分测定仪, 550 ℃灼烧 6 h (GB/T 6438-2007)测定灰分含量.

1.4 数据统计分析

所有数据均用平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示, 利用 SPSS 19.0 对所有数据进行方差分析, 并用 Duncan's 法进行组间差异显著性分析. 定义 $P < 0.05$ 为差异显著. 相关计算公式如下:

$$Q = L / M \times 100 \%,$$

$$N = N_d / M \times 100 \%,$$

$$M_j = (M_e - M_s) / M_s \times 100 \%,$$

$$M_h = (M_f - M_e) / M_e \times 100 \%,$$

$$Z = (M_e - M_s) / M_s \times 100 \%,$$

式中: Q 为肝指数, %; L 为肝质量, g; M 为体质量, g; N 为摄食率, %; N_d 为日摄食量, g; M_j 为体质量下降率, %; M_e 为饥饿结束时体质量, g; M_s 为实验初始体质量, g; M_h 为体质量恢复率, %; M_f 为恢复投喂 5 d 时体质量, g; Z 为增重率, %.

2 结果与分析

2.1 饥饿及再投喂对花鲈肝指数的影响

饥饿及再投喂下花鲈的体质量、肝质量、肝指

表 1 不同饥饿胁迫下及再投喂后花鲈体质量、肝质量、肝指数的变化

项目	组别	实验初始	饥饿结束	平均下降率/%	恢复投喂 5 d	5 d 平均恢复率/%	投喂结束	增重率/%
体质量/g	S0	80.3±15.7 ^a	—	—	—	—	95.3±12.4 ^b	21.30 ^A
	S5	85.9±11.1 ^{bc}	76.3±5.9 ^a	6.52 ^B	81.3±12.7 ^b	4.52 ^B	92.9±12.9 ^c	10.62 ^B
	S10	85.3±9.6 ^c	70.2±9.0 ^a	15.90 ^B	78.2±7.8 ^b	11.03 ^{AB}	89.5±9.3 ^c	6.43 ^B
	S15	81.8±12.0 ^b	63.6±11.6 ^a	22.80 ^A	74.0±11.0 ^{ab}	18.71 ^A	85.8±12.3 ^b	3.84 ^B
肝质量/g	S0	1.40±0.08 ^a	—	—	—	—	1.89±0.14 ^b	31.04 ^A
	S5	1.44±0.18 ^b	0.79±0.25 ^a	43.33 ^B	0.94±0.22 ^{ab}	16.42 ^B	1.46±0.12 ^b	0.79 ^B
	S10	1.36±0.15 ^c	0.46±0.19 ^a	68.08 ^A	0.85±0.24 ^b	100.60 ^A	1.24±0.19 ^c	-11.53 ^C
	S15	1.41±0.14 ^d	0.34±0.22 ^a	72.28 ^A	0.60±0.15 ^b	63.00 ^{AB}	1.11±0.16 ^c	-22.32 ^D
肝指数/%	S0	1.57±0.10 ^{aA}	—	—	—	—	1.78±0.15 ^{bb}	10.39 ^A
	S5	1.64±0.20 ^{cA}	1.04±0.16 ^{aB}	32.94 ^C	1.16±0.09 ^{bb}	5.90 ^B	1.55±0.07 ^{cb}	-4.49 ^B
	S10	1.54±0.32 ^{cA}	0.67±0.13 ^{aA}	54.91 ^B	1.01±0.22 ^{bb}	61.15 ^A	1.28±0.14 ^{bcA}	-17.13 ^C
	S15	1.61±0.18 ^{dA}	0.53±0.17 ^{aA}	68.86 ^A	0.86±0.11 ^{ba}	73.58 ^A	1.29±0.11 ^{cA}	-23.02 ^C

注: 同行数据上标小写字母相同表示差异不显著($P > 0.05$), 字母不同表示差异显著($P < 0.05$); 同数据上标大写字母相同表示差异不显著($P > 0.05$), 字母不同表示差异显著($P < 0.05$).

数等数据见表 1。饥饿处理组体质量随饥饿时间延长而下降, 皆显著低于初始体质量($P < 0.05$), 平均下降幅度 6.25%~22.80%, S15 组下降最显著($P < 0.05$), 是 S5 组 3 倍以上; 在恢复投喂 5 d 后, 体质量均有所增加, 恢复率 4.52%~18.71%, 饥饿时间越长恢复率越大, S15 组恢复水平最显著; 15 d 投喂结束时, 对照组增重显著, 增重率达到 21.30%, 3 个饥饿处理组体质量虽然均超过初始体质量, 但增重率显著低于对照组, 仅为对照组 1/2~1/6。肝质量和肝指数的变化规律相似, 饥饿 5~15 d 后, 肝质量下降率达到 43.3%~72.2%; 饥饿 5 d 后, 肝指数就迅速减小, 下降率就达 32.9%, 相较于体质量的下降幅度, 肝指数对饥饿反应较敏感; 饥饿 10 d 后的下降率 54.9%, 15 d 后的肝指数下降了 68.9%, 下降水平最为显著; 恢复投喂 5 d 后, S10 和 S15 组的肝指数值恢复迅速, 恢复幅度显著达到 61.1%~73.6%; 但投喂结束后, 仅 S0 对照组肝指数增长 10%, 3 个饥饿组均未恢复到起始水平, 且随饥饿时间延长恢复越差($P < 0.05$)。

2.2 饥饿再投喂对花鲈摄食率的影响

饥饿再投喂对花鲈的日摄食率影响如图 1 所示。由图可见, 恢复投喂 5 d 后, S15 饥饿组的摄食率较 S0 有显著下降, 摄食率由 1.67%降至 1.37%, 约下降了 18%, S5 组下降了 11%, 而 S10 组不降反升, 摄食率提高了 10%。实验结束时, 除 S15 组摄食率略低于对照组, S5 和 S10 组恢复正常, 与对照组无显著性差异($P > 0.05$)。

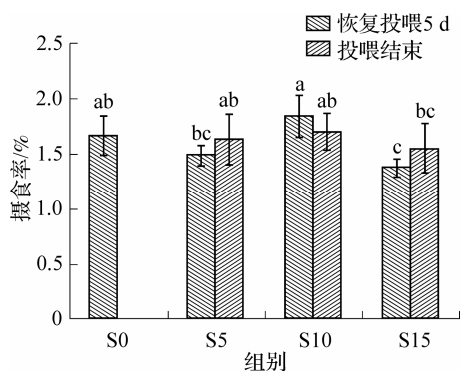


图 1 花鲈幼鱼饥饿再投喂组与对照组的摄食率比较

2.3 饥饿再投喂对花鲈血液生理指标的影响

饥饿再投喂对花鲈血液生理指标影响见表 2。由表可见, 血液的白细胞对饥饿极其敏感, 饥饿 5 d 后花鲈的白细胞数量急剧下降至正常的 20.6%,

饥饿 10 d 后仅为正常鱼的 6.7%, 饥饿 15 d 后降到约 4.7%。恢复投喂 5 d 后, S5 和 S10 组已迅速回归正常值, 但 S15 组仍显著低于正常值, 投喂结束时 S15 组也能基本恢复到正常值。饥饿对红细胞数量也有显著影响, 数量变化趋势与白细胞相似。饥饿 5 d 后, 红细胞数量迅速下降为正常鱼的 39.5%, 饥饿 10 d 后降为 12.9%, 饥饿 15 d 后约为 9.9%。恢复投喂 5 d 后, S5 和 S10 组基本能恢复正常值, 而 S15 组仅恢复了约 41% 水平, 在投喂结束后, 3 组都基本恢复到了正常值。血红蛋白含量对饥饿胁迫响应也较显著, 饥饿 5 d 后降为对照组的 35.9%, 饥饿 10 d 后则降到 22.7%, 饥饿 15 d 降至 17.1%。恢复投喂 5 d 后, S5 和 S10 组基本恢复到正常水平, 但 S15 仅恢复了 43.8%, 但投喂结束后, 3 组也均基本恢复正常。虽然血红蛋白总量受饥饿胁迫影响, 含

表 2 不同饥饿胁迫下及再投喂后花鲈血液生理指标变化

项目	组别	实验初始	饥饿结束	恢复投喂 5 d	实验结束
白细胞/ ($\times 10^9$)	S0	122.3	—	—	120.7
	S5	119.6	25.7	121.2	119.0
	S10	120.0	8.3	121.3	125.6
	S15	124.1	5.8	80.5	118.6
血红蛋白/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	S0	125.0	—	—	124.0
	S5	128.0	46.0	129.0	119.0
	S10	123.0	29.0	117.0	125.6
	S15	122.0	22.0	56.0	118.6
红细胞/ ($\times 10^{12}$)	S0	3.62	—	—	3.57
	S5	3.34	1.32	3.32	3.25
	S10	3.48	0.45	2.63	3.81
	S15	3.54	0.33	1.46	3.13
红细胞 压积/%	S0	36.8	—	—	37.7
	S5	37.7	15.4	34.9	34.7
	S10	36.1	5.1	29.2	38.2
	S15	37.0	2.2	17.7	34.0
平均红细胞 体积/ μL	S0	112.7	—	—	113.1
	S5	113.1	104.9	105.2	109.9
	S10	113.6	114.7	111.4	100.5
	S15	112.2	100.3	40.4	113.0
平均红细胞 血红蛋白量/ pg	S0	39.0	—	—	38.8
	S5	38.3	34.8	38.8	40.0
	S10	39.1	64.4	44.4	37.3
	S15	38.7	66.3	38.3	41.7

量会下降, 但平均红细胞血红蛋白量却随着饥饿而增长, 且随着天数的增长趋于稳定. 重新摄食后, 都会逐渐恢复, 最终与对照组无明显差异.

2.4 饥饿再投喂对花鲈血液生化指标的影响

饥饿再投喂对花鲈血液生化指标影响见表 3. 由表可见, 血液中的总蛋白、球蛋白、白蛋白在饥饿 5、10、15 d 后都有一定程度的增加, 在恢复投喂后均有下降. 在投喂结束后, S10 和 S15 组的 3 项指标仍超越了初始值和 S0 组, 但与正常水平相差不多. 血液中甘油三酯在饥饿 5 d 后略有下降, 但在饥饿 10 d 后显著下降, 为初始值的 68%, 饥饿 15 d 后降到 46%. 恢复投喂 5 d 后, 甘油三酯含量均显著增加, 其中 S15 组恢复速度较快. 在投喂结束后, 甘油三酯都基本恢复.

表 3 不同饥饿胁迫下及再投喂后花鲈血液生化指标变化

项目	组别	实验初始	饥饿结束	恢复投喂 5 d	投喂结束
总蛋白/ (g·L ⁻¹)	S0	35.6	—	—	33.8
	S5	33.6	43.4	35.8	35.1
	S10	37.1	44.5	30.2	40.2
	S15	34.5	41.7	38.4	40.1
白蛋白/ (g·L ⁻¹)	S0	9.8	—	—	9.9
	S5	9.3	11.7	10.7	9.1
	S10	10.2	10.9	9.5	10.8
	S15	9.6	11.2	10.2	10.1
球蛋白/ (g·L ⁻¹)	S0	25.2	—	—	24.8
	S5	24.6	33.7	24.1	24.5
	S10	25.1	34.6	26.7	28.4
	S15	24.4	32.5	27.2	27.7
甘油三酯/ (mmol·L ⁻¹)	S0	2.19	—	—	2.20
	S5	2.20	1.98	2.38	2.16
	S10	2.16	1.47	2.02	1.92
	S15	2.22	1.02	1.87	1.97

2.5 饥饿再投喂对花鲈肌肉成分的影响

饥饿再投喂对花鲈肌肉成分影响见表 4. 由表可见, 饥饿对粗蛋白含量的影响体现在饥饿 15 d 后, 在恢复投喂的 5 d 后均能迅速恢复, 结束投喂时与正常值无显著差异. 粗脂肪含量随饥饿天数的增加表现出持续下降趋势, S10 和 S15 组脂肪含量在恢复投喂 5 d 后继续下降. 投喂结束时, S5 和 S10 组能基本恢复, 但仍显著低于正常水平($P <$

0.05), 而 S15 与对照组有极显著差异($P < 0.01$). 花鲈肌肉粗灰分在不同饥饿胁迫下无显著变化, 恢复投喂后的粗灰分值与对照组相差不大.

表 4 不同饥饿胁迫下及再投喂后花鲈肌肉成分变化 %

项目	组别	实验初始	饥饿结束	恢复投喂 5 d	投喂结束
粗蛋白	S0	18.35±0.27 ^a	—	—	18.33±0.21 ^a
	S5	18.36±0.24 ^a	18.22±0.24 ^a	18.12±0.04 ^a	18.37±0.17 ^a
	S10	18.61±0.06 ^a	18.35±0.07 ^b	17.96±0.1 ^c	18.13±0.15 ^c
	S15	18.25±0.18 ^a	15.89±0.02 ^c	17.99±0.07 ^b	18.0±0.09 ^{ab}
粗脂肪	S0	1.16±0.02 ^a	—	—	1.15±0.04 ^a
	S5	1.17±0.02 ^b	1.03±0.02 ^d	1.11±0.05 ^a	1.09±0.02 ^c
	S10	1.14±0.03 ^a	0.91±0.02 ^c	0.74±0.03 ^d	1.03±0.03 ^b
	S15	1.17±0.02 ^a	0.71±0.02 ^b	0.64±0.05 ^c	0.71±0.03 ^b
粗灰分	S0	1.61±0.16 ^a	—	—	1.63±0.03 ^a
	S5	1.62±0.05 ^a	1.68±0.02 ^a	1.64±0.05 ^a	1.68±0.02 ^a
	S10	1.68±0.03 ^a	1.66±0.03 ^a	1.60±0.01 ^b	1.59±0.03 ^b
	S15	1.65±0.07 ^a	1.64±0.03 ^a	1.66±0.04 ^a	1.67±0.03 ^a

注: 同行数据上标小写字母相同表示差异不显著($P > 0.05$), 字母不同表示差异显著($P < 0.05$).

3 讨论

3.1 饥饿再投喂对花鲈肝指数和摄食率的影响

肝脏是鱼类储存肝糖原的地方, 在饥饿胁迫 5 d 后肝指数迅速下降, 在饥饿胁迫 10 d 和 15 d 后, 肝指数趋于稳定, 说明在受饥饿胁迫 5~10 d 内, 花鲈都利用肝糖原为能量来源, 这与高露姣等^[16]对史氏鲟(*Acipenser schrencki*)幼鱼饥饿初期(7 d)内分解肝糖原功能的结论一致, 也与郭雪峰^[17]对幼鳊(*Elopichthys bambusa*)饥饿胁迫下肝糖原消耗趋势相同. 在本实验中, 花鲈受饥饿胁迫后体质量迅速下降, 15 d 饥饿结束时, 体质量下降程度最大, 降至初始值的 77.2%. 恢复投喂 5 d 后, 饥饿组花鲈的体质量明显恢复, 尤以 S15 组恢复率最大, 说明受饥饿胁迫导致的机体组织能量物质的流失在短时间内迅速得到补充, 且消耗越多, 补充也越快. 投喂结束后, 3 个饥饿组的体质量都比起始体质量有所增长, 但肝质量和肝指数出现了负增长, 表明饥饿胁迫肝糖原和粗脂肪的积累没有完全恢复正常.

相关研究表明, 摄食率的恢复与饥饿后的补偿生长有密切关系^[18]. 在梁拥军等^[19]对星斑川鲮

(*Platichthys stellatus*)摄食率的研究中发现,到恢复投喂 5 d 之后,摄食率开始下降,随着时间的延长,摄食率逐渐上升,接近对照组摄食水平.本实验发现,S5 和 S15 组在恢复投喂 5 d 后,摄食率均小于对照组,而 S10 组恢复 5 d 的摄食率高于对照组,这与李耕等^[20]对西伯利亚鲟(*Acipenser baeri*)的摄食率研究的结论相似,投喂结束后,实验鲟鱼的摄食率与对照组摄食率水平相近.由此可见,S10 实验组在恢复投喂 5 d 时出现了补偿生长,花鲈对饲料摄取大大增加,但饥饿时间过长会对鱼体组织造成伤害,从而导致摄食率明显降低.从体质量增重率分析最终实验组均未表现补偿生长.

3.2 饥饿再投喂对花鲈血液指标的影响

在对银鲫(*Carassius auratus gibelio*)^[21]和泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)^[22]的饥饿再投喂的实验中发现,其白细胞数量受饥饿胁迫总体上升,红细胞数量减少,血红蛋白含量下降,红细胞体积变大、脆性增加.在本实验的饥饿过程中,花鲈的白细胞数量迅速减少,饥饿 5 d 后的白细胞数量下降至正常的 20.6%.随着饥饿天数的增加,白细胞数量持续降低,这反映了花鲈幼鱼在饥饿状态下,其免疫能力大大减弱,与其他相关实验结论不同,可能与花鲈本身对饥饿胁迫的特殊反应有关.红细胞和血红蛋白也在饥饿 5 d 后急速下降,与多数研究结果一致^[23-24].红细胞和血红蛋白的减少也就意味着氧运输能力的减弱,而鱼类只能通过降低代谢强度来维持其生存.而杨成辉等^[24]得到了不同的结果,他们对哲罗鱼(*Hucho taimen*)饥饿再投喂的研究中发现,哲罗鱼在短期(7~14 d)的饥饿胁迫下,红细胞数量和血红蛋白含量呈上升趋势,之后才有所回落.

有研究表明^[11],受饥饿胁迫后,鱼体血液中的总蛋白、白蛋白和球蛋白会减少,变化规律表现在其第 1~2 周内的含量有显著上升,第 3~4 周内的含量下降.根据楼宝等^[14]报导,花鲈饥饿及恢复投喂过程中的血清蛋白显示,花鲈饥饿 5 d 和 10 d 后,血清蛋白浓度没有下降,直到饥饿 15 d 后,才发现血清蛋白浓度显著降低,在恢复投喂 5 d 后又有明显地回升.本实验结果表明,饥饿 5、10、15 d 的花鲈总蛋白均有所上升,饥饿恢复 5 d 后都有回落.实验结束后,总蛋白都高于对照组.对照组花鲈的

白蛋白和球蛋白比为 0.38,而正常白斑狗鱼(*Esox lucius*)的白球比为 0.56,淡水南方鲇(*Silurus meridionalis*)白球比为 0.99,鲤(*Cyprinus carpio*)白球比为 2.1.随着饥饿时间延长,花鲈白球比还发生明显下降,表明花鲈免疫力水平也随饥饿程度的加剧而下降.

3.3 饥饿再投喂对花鲈肌肉成分的影响

花鲈对饥饿的耐受能力较强^[12-14].在一定饥饿处理后恢复投喂,可使其获得补偿生长甚至超补偿生长.我们知道大部分鱼类受到饥饿胁迫后,首先是消耗肝糖原提供能量,脂肪同时也被消耗,用于供能以维持新陈代谢.当糖原和脂肪都被消耗后,骨骼肌中的蛋白才被作为能源动用^[25-28],但有些种类优先消耗脂肪或蛋白用以供能^[25-26].姜志强等^[29]研究显示,美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)主要利用脂肪来作为能量的补充;沈文英等^[30]实验表明,白鲫(*Carassius auratus*)在短期饥饿内先消耗蛋白质,并且增加脂肪的储备,但持续饥饿后,机体将主要利用脂肪供能;张波等^[31]在对真鲷(*Pagrus major*)幼鱼的饥饿研究中发现,其主要的能量来源是体内蛋白质;吴立新等^[32]在泥鳅的饥饿研究中发现,首先被利用的是蛋白质和脂肪,随着饥饿时间的延长,脂肪消耗到一定程度后,主要消耗蛋白质;还有草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)鱼种^[33]、鮠状黄姑鱼(*Nibea miichthioides*)^[34]和史氏鲟幼鱼^[16]等大量饥饿鱼类研究表明,由于生活方式和身体结构的差异,不同鱼类面对饥饿胁迫所作出的适应以及能量消耗等有着较大的差异,即利用身体贮能物质的顺序不同.饥饿再投喂后,鱼体肌肉成分会有一定的恢复,但不同鱼类也表现出很大差异.鲶鱼(*Silurus asotus*)^[35]饥饿再投喂后,蛋白质和脂类含量同时升高.受到饥饿胁迫的草鱼鱼种^[33]再投喂后,脂类含量、糖类含量都有所增加,蛋白质则变化不明显.美国红鱼的肌肉成分在短期内均能恢复到充足摄食鱼的水平^[29].本研究表明,花鲈在饥饿过程中消耗肌肉中粗脂肪,饥饿时间到 15 d 后,才发现粗蛋白含量降低,再投喂 5 d 后,肌肉中先恢复的是粗蛋白,并且该阶段的脂肪仍在继续消耗,随后才在继续投喂的过程中得以恢复,但粗脂肪含量并未恢复到原来水平.Wilson 等^[36]研究发现,再投喂会导致身体的脂肪

组成增加; Hayward 等^[37]、Quinton 等^[38]实验发现, 饥饿处理的真鲷恢复充分摄食后, 鱼体的肌肉组成接近, 与对照组水平无明显差异. 这与本实验结果有些类似, 即在花鲈饥饿过程中, 肌肉脂肪的调动先于肌肉蛋白, 而恢复投喂后, 肌肉蛋白的恢复先于肌肉脂肪.

参考文献:

- [1] Alvarez A, Garcia B, Garrido M D, et al. The influence of starvation time prior to slaughter on the quality of commercial-sized gilthead seabream (*Sparus aurata*) during ice storage[J]. Aquaculture, 2008, 284(1/2/3/4): 106-114.
- [2] 李锐鑫, 刘泓宇, 谭北平, 等. 饥饿及再投喂处理对草鱼生长、葡萄糖代谢和转运蛋白 1 表达的影响[J]. 中国水产科学, 2018, 25(1):74-85.
- [3] Paul A J, Paul J M, Smith R L. Compensatory growth in Alaska yellowfin sole, *Pleuronectes asper*, following food deprivation[J]. Journal of Fish Biology, 2010, 46(3): 442-448.
- [4] 张怡波, 吕慧明, 袁子, 等. 饥饿再投喂对黑鲷幼鱼消化酶活性与血液生理生化指标的影响[J]. 宁波大学学报(理工版), 2019, 32(5):12-16.
- [5] 沈文英, 寿建昕. 鱼类补偿生长的研究进展[J]. 水利渔业, 2003, 23(4):40-42.
- [6] 周凡, 钱婷, 贝亦江, 等. 周期性“饥饿-再投喂”对大口黑鲈幼鱼补偿生长的影响[J]. 水产学杂志, 2019, 32(3):27-33.
- [7] 王万良, 王建银, 周建设, 等. 饥饿和恢复投喂对亚东鲑幼鱼的补偿生长[J]. 水产科学, 2018, 37(1):100-104.
- [8] 唐金玉, 曾令清, 彭姜岚, 等. 饥饿对中华倒刺鲃幼鱼最大代谢和运动能力的影响[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2018, 35(3):64-68.
- [9] Favero G C, Gimbo R Y, Montoya L N F, et al. Fasting and refeeding lead to more efficient growth in lean pacu (*Piaractus mesopotamicus*)[J]. Aquaculture Research, 2018, 49:359-366.
- [10] Dar S A, Srivastava P P, Varghese T, et al. Effects of starvation and refeeding on expression of ghrelin and leptin gene with variations in metabolic parameters in *Labeo rohita* fingerlings[J]. Aquaculture, 2017, 484:219-227.
- [11] 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[J]. 中国水产科学, 2002, 9(2):133-137.
- [12] 曾庆民. 饥饿对花鲈生长效果的比较研究[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2004, 9(2):122-126.
- [13] 朱艺峰, 林霞, 吴望星, 等. 周期性饥饿下花鲈的形态变化与饥饿状态的相对判别分析[J]. 中国水产科学, 2006, 13(1):45-51.
- [14] 楼宝, 史会来, 毛国民, 等. 饥饿及恢复投喂过程中花鲈肌肉组成及非特异免疫水平的变化[J]. 水产学报, 2008, 32(6):929-938.
- [15] 潘艳艳, 顾晓英, 张德民, 等. 饥饿及恢复喂食对花鲈肠道菌群多样性的影响[J]. 水产学报, 2016, 40(5):776-784.
- [16] 高露姣, 陈立桥, 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.
- [17] 郭霄峰. 饥饿状态下幼鳊补偿生长机制研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016.
- [18] 祁东风, 杨苏亮, 李海静, 等. 动物补偿生长研究进展[J]. 动物营养学报, 2016, 28(6):1655-1660.
- [19] 梁拥军, 孙向军, 张升利, 等. 饥饿后再投喂对星斑川鲷生长、摄食的影响[J]. 水产科学, 2011, 30(3):125-131.
- [20] 李耕, 姜志强, 韩毅颖, 等. 饥饿和再投喂对西伯利亚鲟摄食和生长的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2009, 24(S1):121-124.
- [21] 董学兴, 吕林兰, 黄金田, 等. 饥饿后再投喂对异育银鲫血液生理和非特异性免疫指标的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(23):76-79.
- [22] 黄辨非, 童响波, 罗静波. 饥饿对泥鳅某些血液指标的影响[J]. 淡水渔业, 2006, 36(6):33-35.
- [23] 黄权, 高峰, 孟繁伊, 等. 饥饿和再投喂对花羔红点鲑肌肉组分和血液指标的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2009, 31(4):460-466; 475.
- [24] 杨成辉, 蔡勋, 刘霞, 等. 饥饿和再投喂对哲罗鱼幼鱼血液生理生化指标的影响[J]. 淡水渔业, 2009, 39(1): 36-40.
- [25] Navarro I. Fasting and starvation[J]. Biochemistry & Molecular Biology of Fishes, 1995, 17(4):393-434.
- [26] Metón I, Fernández F, Baanante I V. Short- and long-term effects of refeeding on key enzyme activities in glycolysis-gluconeogenesis in the liver of gilthead seabream (*Sparus aurata*)[J]. Aquaculture, 2003, 225 (1/2/3/4):99-107.
- [27] 柴毅, 罗静波, 张远炯. 饥饿对奥尼罗非鱼能量物质消耗的影响[J]. 长江大学学报(自然科学版)农学卷, 2010, 7(4):41-43.
- [28] 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.
- [29] 姜志强, 贾泽梅, 韩延波. 美国红鱼继饥饿后的补偿生

- 长及其机制[J]. 水产学报, 2002, 26(1):67-72.
- [30] 沈文英, 金俊. 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(自然科学版), 2002, 22(2): 49-51.
- [31] 张波, 孙耀, 唐启升. 饥饿对真鲷生长及生化组成的影响[J]. 水产学报, 2000, 24(3):206-210.
- [32] 吴立新, 蔡勋, 陈炜. 饥饿和再喂食对泥鳅生化组成的影响[J]. 生态学杂志, 2006, 25(1):101-104.
- [33] 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.
- [34] 孔令军, 王岩, 李翠, 等. 网箱养殖鲢状黄姑鱼停喂不同时间后的补偿生长[J]. 中国水产科学, 2006, 13(4): 591-596.
- [35] Zhang B, Xie X J. Starvation metabolism in the southern catfish (*Silurus meridionalis*)[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2000, 31(5):480-484.
- [36] Wilson P N, Osbourn D F. Compensatory growth after under nutrition in mammals and birds[J]. Biological Reviews, 1960, 35(3):324-361.
- [37] Hayward R S, Noltie D B, Wang N. Use of compensatory growth to double hybrid sunfish growth rates[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1997, 126(2):316-322.
- [38] 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]. Journal of Fish Biology, 2010, 37(1):33-41.

Effects of starvation and refeeding on physiological and biochemical indices in juvenile of *Lateolabrax Japonicus*

HU Lingzhu¹, ZHOU Xuanyu¹, ZHANG Shun¹, XU Shanliang^{1,2*}

(1. School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315832, China;

2. Key Laboratory of Applied Marine Biotechnology of Ministry of Education, Ningbo 315832, China)

Abstract: To investigate the physiological and biochemical indices of refeeding on the starving *Lateolabrax Japonicus* juveniles, the regularly fed *Lateolabrax Japonicus* juveniles were served as the control group S0. And S5, S10 and S15 groups were starved for 5 d, 10 d and 15 d, respectively. All the juveniles were refed normally to the 35th day following starvation. Samples were collected at the end of the starvation, the fifth day and the last day of refeeding, respectively. Results are as follows: (1) The liver index of the *L. Japonicus* which were fasted for 5 days was reduced to about 78% of the initial value. After fasting for 10 days, it was reduced to 50%. After 15 days, it was reduced to 40%. (2) Compared to S0 group, the feeding rate of the experimental groups reduced evidently by 10.8% to 24.0%. (3) WBC, RBC, hemoglobin of the *L. Japonicus* were all significantly affected by hunger stress, with all the indices dropped dramatically. On the contrary, TP, GLB, ALB in blood of *L. Japonicus* all increased after starving for 5, 10 and 15 days. And all the indices recovered to average levels after refeeding. At the end of the experiment, the indices all returned to the average level and the response of the S15 group was the slowest. (4) Hunger stress had no significant effect on crude ash content. Crude fat content showed a downward trend. At the end of the experiment, the protein level of S5 group and S10 group returned to normal levels, while there were still significant differences between S15 group and the control group. The protein content didn't decrease following starvation for 5 and 10 days and it decreased following starvation for 15 days. However, after refeeding for 5 days, the content resumed quickly and showed insignificant difference compared to the control group. The results indicated that the fat in muscle was firstly utilized and protein was the second when suffering from starvation. After refeeding, the protein in muscle resumed first, which was followed by fat.

Key words: *Lateolabrax Japonicus*; starvation; refeeding; liver index; blood indices; muscle composition

(责任编辑 章践立)