

饥饿对尼罗罗非鱼体质量、静止代谢率和血液学指标的影响^{*}

李 健, 覃 悦, 蒋美君, 廖永岩, 吴海萍, 贾久满, 叶秀荣, 杨绍宇
(北部湾大学 海洋学院 广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室, 广西 钦州 535011)

摘要:【目的】探讨在饥饿胁迫条件下不同体质量尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)的耐饥性和静止代谢率变化。【方法】在(25±0.5)℃条件下,对初始体质量分别为(202.50±5.24)、(62.89±3.82)g的大、小两种规格尼罗罗非鱼进行56d饥饿耐受处理,定时测定它们的体质量、静止代谢率、主要血液学指标和肝体比。【结果】1)当饥饿时间大于或等于14d,大规格尼罗罗非鱼的体质量与饥饿处理开始时相比有统计学意义上的减少($p<0.05$);小规格尼罗罗非鱼体质量在整个饥饿处理期间由(62.89±3.82)g降至(51.10±3.57)g,但该变化无统计学意义。2)在饥饿处理期间大规格尼罗罗非鱼静止代谢率最高时为(20.87±1.01)mg·h⁻¹,最低时为(10.89±0.27)mg·h⁻¹,下降了47.82%,两者差异具有统计学意义($p<0.05$);小规格尼罗罗非鱼的静止代谢率在整个饥饿处理期间下降了56.10%,从(8.11±0.38)mg·h⁻¹降至(3.56±0.17)mg·h⁻¹,两者差异具有统计学意义($p<0.05$)。3)大、小两种规格尼罗罗非鱼血液中红细胞数量和血红蛋白质量浓度均随着饥饿时间的延长而逐渐降低,且它们的这两个血液学指标在处理开始与处理结束时的差异均有统计学意义($p<0.05$)。4)大、小两种规格尼罗罗非鱼的肝体比在饥饿56d后均有较大程度的下降,小规格尼罗罗非鱼的肝体比下降程度更大。【结论】尼罗罗非鱼的耐饥性较强,且大规格尼罗罗非鱼比小规格尼罗罗非鱼有更强的饥饿耐受能力。

关键词:饥饿;尼罗罗非鱼;体质量;静止代谢率;血液学指标

中图分类号:Q175

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2022)06-0039-07

饥饿是鱼类经常面临的一种生理压力^[1-11]。在自然环境中,鱼类往往会因为洄游、食物分布不均、季节变化等环境因素而缺乏食物;在人工养殖环境中,鱼类也会因为繁殖密度过大、投饵不均匀或投饵延迟而缺乏食物^[12-15]。由于鱼类在饥饿过程中缺乏外部能量供应,因而自身的生长繁殖、能量代谢特征、形态结构等方面都受到很大影响^[1,14,16]。机体通过消耗自身储存的能量物质(糖、脂类和蛋白质)为生命活动提供能量,然而不同种类和大小的鱼类在能量物质利用分配上存在一定的差异^[10]。有研究显示,南方鲇(*Silurus meridionalis*)的静止代谢率在饥饿早期迅速下降以减少能量消耗,并主要依靠脂肪作为能量物质^[17];随着饥饿时间的延长,该鱼种的脂肪被大量消耗,而后维持生命活动所需的能量主要由蛋白质提供^[17-20]。对于草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)而言,它在遭遇饥饿胁迫时静止代谢率会出现持续下降,并主要以肝脏和肌肉中的脂类以及糖原作为能量物质^[20-21]。此外,斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)在饥饿初期主要通过消耗脂肪和肌肉中的蛋白质来为机体提供能量,在饥饿第7d后,该鱼种体内脂肪含量保持相对稳定,而后主要以蛋白质作为能量物质^[22]。

尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)为鲈形目(Perciforme)丽鱼科(Cichlidae)罗非鱼属(*Oreochromis*)鱼类,广泛分布于整个非洲大陆的淡水和沿海的咸淡水水域中,是当地主要经济鱼类^[23]。目前,尼罗罗非鱼养殖业也已成为中国广西壮族自治区重要的优势特色产业^[24-25]。本研究对不同体质量尼罗罗非鱼的饥饿耐受能力和在饥饿条件下的静止代谢调节模式进行了考察,有关研究结果可为尼罗罗非鱼的科学养殖提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验对象及驯化

2018年4月于广西壮族自治区钦州市鱼苗繁殖基地购买250尾体质量为10g以下的幼小尼罗罗非鱼进行

^{*} 收稿日期:2022-05-12 修回日期:2022-06-07 网络出版时间:2022-12-08 16:37

资助项目:国家自然科学基金(No. 31672287;No. 31460208);广西学位与研究生教育改革课题(No. JGY2019177);广西高等教育本科教学改革工程重点项目(No. 2019JGZ133);广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室项目(No. 2018ZB03);广西高校中青年教師基础能力提升项目(No. 2018KY0623;No. 2019ZB03)

第一作者简介:李健,男,副研究员,博士,研究方向为鱼类生理生态,E-mail:jianlinefu@163.com;通信作者:杨绍宇,男,讲师,博士,E-mail:ysybt@126.com

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail//50.1165.N.20221207.1710.009.html

人工饲养,并在正式实验前放入北部湾大学海洋学院室内循环水养殖系统内驯化 30 d。每日于 9:00、18:00 投喂广东省佛山市顺德锦峰饲料厂有限公司生产的锦峰配合饲料,使驯养的尼罗罗非鱼达到饱食状态。实验用水为曝气后的自来水,用充气泵连续向水体充入空气以确保水体溶氧量大于 $6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,水温控制在 $(25.0 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$,光照周期为 12 h 光照:12 h 黑暗,日换水量约为驯养水体体积的一半,通过虹吸管清除驯养水体底部的残饵和粪便。

1.2 实验设计与操作

于 2018 年 9 月—2019 年 1 月进行饥饿实验。驯化过程结束后,随机选取无伤、健康且体质量约为 200 g 的大规格尼罗罗非鱼 23 尾,单尾饲养于室内水族箱中并禁食 2 d 以消除尼罗罗非鱼的消化活动的影响,同时将禁食 2 d 后作为饥饿 0 d。之后随机选取其中 18 尾进行为期 56 d 的饥饿处理,剩余 5 尾鱼不进行饥饿处理而是作为初始对照并测定它们的静止代谢率、体质量和主要血液学指标,然后解剖实验鱼取得肝组织并计算肝体比。饥饿实验期间不喂食,实验水体的溶氧量、水温及光照周期与驯化期间均保持一致。分别在饥饿 0、1、3、7、14、21、28、35、42、49 d 后测定实验鱼的静止代谢率、体质量和主要血液学指标;并在饥饿处理结束时(饥饿 56 d)首先测定实验鱼的上述指标,然后解剖实验鱼取得肝组织并计算肝体比。

对大规格罗非鱼的饥饿实验结束后,随机选取经 30 d 驯化的无伤、健康且体质量约为 60 g 小规格尼罗罗非鱼 19 尾进行饥饿处理,有关步骤与大规格罗非鱼的饥饿实验相同,但进行饥饿处理的实验鱼数量略少,为 14 尾。

1.3 静止代谢率的测定

使用实验室定制的流水式呼吸仪测定实验鱼的静止代谢率。采用美国哈希公司出品的 HQ30D 型溶氧仪与测定日当天 8:00、10:00、12:00 和 14:00 定时测定每尾实验鱼的耗氧率,将它们的平均值作为该尾鱼当天的静止代谢率。单尾实验鱼的耗氧率采用公式 $R = \Delta O_2 \times V$ 计算。式中: R 为单尾实验鱼的耗氧率(单位: $\text{mg} \cdot \text{h}^{-1}$), ΔO_2 为放有实验鱼的呼吸室与空白呼吸室的溶氧量差值(单位: $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), V 为呼吸室内水流速率(单位: $\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$)。

1.4 主要血液学指标的测定及肝体比的计算

用一次性注射器在 1 min 内从实验鱼的尾静脉采血,将血样快速加入冰冷离心管中,且其中含 $1 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 肝素钠抗凝剂^[26]。用质量分数为 0.65% 的生理盐水将血样稀释 200 倍后,在重庆奥特光学仪器有限公司生产的 B204 型显微镜下以 400 倍放大倍率用 Neubauer 计数板进行红细胞计数,所得红细胞数量以单位体积血液中的红细胞个数计。血样的血红蛋白质量浓度用上海科学仪器有限公司制造的 752N 型紫外分光光度计在入射光波长为 540 nm 条件下进行测定^[27]。实验鱼的肝体比的计算方式为:肝体比 = $\frac{\text{肝组织质量}}{\text{体质量}} \times 100\%$ 。

1.5 统计分析

采用 Excel 2011 软件对原始数据进行整理,有关指标数据均以“平均值±标准误”表示。用 SPSS 22.0 软件对有关指标数据进行统计分析。如数据通过方差齐性检验,则采用单因素方差分析并使用 Duncan 法进行多重比较;对于偏态分布或方差不齐的数据采用 Krushal-Wallis 检验并通过逐步降低法比较组间差异。当 $p < 0.05$ 时,上述统计分析的结果具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 饥饿对大规格尼罗罗非鱼体质量、静止代谢率和主要血液学指标的影响

表 1 显示:1) 大规格尼罗罗非鱼的体质量随着饥饿时间的延长而逐渐减少;与饥饿 0 d 时相比,饥饿 56 d 后实验鱼的体质量减少了 16.31%;当饥饿时间大于或等于 14 d,实验鱼的体质量与饥饿 0 d 时相比具有统计学意义上的减少($p < 0.05$);当饥饿时间大于或等于 49 d,实验鱼的体质量与饥饿 0~14 d 后相比具有统计学意义上的减少($p < 0.05$)。2) 饥饿 56 d 后实验鱼的静止代谢率与饥饿 0 d 时相比下降了 47.82%;在饥饿 7~56 d 后,实验鱼的静止代谢率较饥饿 0~3 d 后均有统计学意义上的下降($p < 0.05$);在饥饿 28~56 d 后,实验鱼的静止代谢率与饥饿 7~21 d 后相比也有统计学意义上的下降($p < 0.05$)。3) 饥饿 56 d 的实验鱼血液中红细胞数量与饥饿 0 d 时相比减少了 60.56%;当饥饿时间大于或等于 3 d,实验鱼血液中红细胞数量与饥饿 0 d 时相比具有统计学意义上的减少($p < 0.05$);饥饿 56 d 的实验鱼血液中红细胞数量与饥饿 0~49 d 后相比均有统计学意义

上的减少($p<0.05$)。4) 实验鱼在饥饿 56 d 后血液中血红蛋白质量浓度与饥饿 0 d 时相比下降了 73.46%,且差异具有统计学意义($p<0.05$);与饥饿 0~1 d 后相比,饥饿 7 d 的实验鱼血液中血红蛋白质量浓度具有统计学意义上的下降($p<0.05$);饥饿 56 d 的实验鱼血红蛋白质量浓度与饥饿 1~49 d 后相比也有统计学意义上的下降($p<0.05$)。

表 1 饥饿对大规格尼罗罗非鱼体质量、静止代谢率和主要血液学指标的影响
Tab. 1 Effect of starvation on body weight, oxygen consumption rate, and hematological indices of large-size *O. niloticus*

饥饿时间/d	<i>n</i>	体质量/g	静止代谢率/ (mg·h ⁻¹)	红细胞数量/ (×10 ⁶ 个·mL ⁻¹)	血红蛋白质量浓度/ (g·L ⁻¹)
0	18	202.50±5.24 ^a	20.87±1.01 ^a	2.13±0.15 ^a	87.4±5.8 ^a
1	18	200.68±5.10 ^{ab}	18.64±0.98 ^a	2.01±0.13 ^{ab}	83.8±3.7 ^a
3	18	196.89±4.97 ^{abc}	19.65±1.06 ^a	1.69±0.07 ^{bc}	74.7±4.6 ^{ab}
7	18	191.82±4.93 ^{abcd}	15.72±0.81 ^b	1.70±0.06 ^{bc}	55.4±3.7 ^b
14	18	186.89±4.67 ^{bcd}	13.56±0.67 ^c	1.44±0.12 ^{cd}	60.5±2.9 ^b
21	18	183.62±4.78 ^{cdef}	13.43±0.64 ^c	1.54±0.11 ^{cd}	48.3±2.6 ^c
28	17	181.11±4.70 ^{def}	11.71±0.39 ^d	1.24±0.07 ^d	42.6±1.9 ^{cd}
35	17	177.10±4.85 ^{def}	10.89±0.27 ^d	1.34±0.06 ^d	38.5±2.7 ^{de}
42	17	174.03±4.65 ^{ef}	11.32±0.40 ^d	1.22±0.05 ^d	34.0±2.3 ^e
49	15	170.67±5.21 ^f	11.66±0.34 ^d	1.24±0.08 ^d	32.0±4.2 ^e
56	15	169.47±5.21 ^f	11.60±0.30 ^d	0.84±0.05 ^e	23.2±3.0 ^f

注:*n* 为样本个数,上标不同字母表示同列数据间的差异具有统计学意义($p<0.05$),下同

2.2 饥饿对小规格尼罗罗非鱼体质量、静止代谢率和主要血液学指标的影响

表 2 显示:1) 经过 56 d 饥饿的小规格尼罗罗非鱼体质量逐渐降低,到实验结束时实验鱼体质量与饥饿 0 d 时相比下降了 18.75%,但整个实验过程中实验鱼的体质量均无统计学意义上的变化。2) 实验鱼在饥饿 56 d 后,与饥饿 0 d 时相比静止代谢率下降了 56.10%,且差异具有统计学意义($p<0.05$);饥饿 3~56 d 的实验鱼静止代谢率均比饥饿 0 d 时更低,差异均具有统计学意义($p<0.05$);饥饿 42 d 后实验鱼的静止代谢率与饥饿 0~35 d 后相比有统计学意义上的下降($p<0.05$)。3) 经过 56 d 饥饿,实验鱼血液中红细胞数量与饥饿 0 d 时相比下降了 43.95%;饥饿 7 d 的实验鱼血液中红细胞数量与饥饿 0~1 d 后相比有统计学意义上的下降($p<0.05$)。4) 从饥饿 0 d 到饥饿 56 d,实验鱼血液中血红蛋白质量浓度下降了 55.69%;饥饿 3 d 的实验鱼血液中血红蛋白质量浓度明显比饥饿 0 d 时更低,差异具有统计学意义($p<0.05$);饥饿 28 d 的实验鱼血液中血红蛋白含量与饥饿 0~21 d 后相比更低,且差异具有统计学意义($p<0.05$)。

2.3 饥饿对大、小两种规格尼罗罗非鱼体质量、静止代谢率和主要血液学指标影响的比较

从饥饿时间对大、小两种规格尼罗罗非鱼的协方差统计分析结果可知,本研究设置的饥饿时间对大、小两种规格的尼罗罗非鱼有着统计学意义上的影响($p<0.05$)(表 3)。

2.4 大、小两种规格尼罗罗非鱼在饥饿处理前后的体质量与肝体比比较

由表 4 可知:大、小两种规格尼罗罗非鱼的肝体比在饥饿 56 d 后均有较大程度的下降,其中小规格尼罗罗非鱼的肝体比下降程度更大。

3 讨论

3.1 尼罗罗非鱼的耐饥饿能力

本研究中,在经历 56 d 饥饿后,大、小两种规格的尼罗罗非鱼体质量与饥饿处理开始时相比都有不同程度的减少,且减少程度均未超过 20%。过去的研究发现:斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)在经过 56 d 饥饿后体质量与饥饿处理开始时相比减少了 25.06%^[28];南方鲇在饥饿 52 d 后,体质量比饥饿处理开始时减少了 26.72%^[29];饥饿 42 d 的白斑狗鱼(*Esox lucius*)体质量比研究开始时减少了 18.76%^[30];在经历 28 d 饥饿处理

后,哲罗鱼(*Hucho taimen*)体质量与研究开始时相比减少了 36.07%^[31]。由此可见,尼罗罗非鱼可能比上述鱼类的饥饿耐受能力更强。

表 2 饥饿对小规格尼罗罗非鱼体质量、静止代谢率和主要血液学指标的影响

Tab. 2 Effect of starvation on body weight, oxygen consumption rate, and hematological indices of small-size *O. niloticus*

饥饿时间/d	<i>n</i>	体质量/g	静止代谢率/ (mg·h ⁻¹)	红细胞数量/ (×10 ⁶ 个·mL ⁻¹)	血红蛋白质量浓度/ (g·L ⁻¹)
0	14	62.89±3.82 ^a	8.11±0.38 ^a	1.57±0.05 ^a	64.1±2.4 ^a
1	14	61.74±3.77 ^a	7.07±0.35 ^{ab}	1.58±0.06 ^a	61.9±3.1 ^{ab}
3	14	61.12±3.74 ^a	6.36±0.32 ^b	1.41±0.07 ^{ab}	55.7±3.2 ^{bc}
7	14	59.78±3.62 ^a	5.65±0.21 ^c	1.34±0.06 ^b	51.9±2.7 ^{cd}
14	14	57.60±3.56 ^a	4.96±0.18 ^d	1.31±0.04 ^b	46.4±1.7 ^d
21	14	55.91±3.44 ^a	4.64±0.20 ^d	1.23±0.06 ^b	45.5±2.1 ^d
28	14	55.41±3.41 ^a	4.58±0.22 ^d	0.98±0.03 ^c	28.4±1.5 ^e
35	14	54.59±3.43 ^a	4.71±0.29 ^d	0.88±0.02 ^c	35.0±2.0 ^e
42	13	52.89±3.42 ^a	3.56±0.17 ^e	1.02±0.02 ^d	28.5±3.0 ^e
49	13	52.82±3.48 ^a	3.62±0.16 ^e	1.03±0.05 ^d	32.7±1.7 ^e
56	12	51.10±3.57 ^a	3.73±0.30 ^e	0.96±0.07 ^c	28.5±1.7 ^e

表 3 饥饿对大、小两种规格尼罗罗非鱼体质量、静止代谢率和主要血液学指标影响的比较

Tab. 3 Comparison of effects of starvation on body weight, oxygen consumption rate, and hematological indices of large-size and small-size *O. niloticus*

指标	影响因子	<i>F</i>	<i>p</i>	指标	影响因子	<i>F</i>	<i>p</i>
体质量	体质量规格	2 168.12	<0.001	红细胞数量	体质量规格	44.8	<0.001
	饥饿时间	39	<0.001		饥饿时间	50.11	<0.001
	体质量规格×饥饿时间	14.4	<0.001		体质量规格×饥饿时间	5.67	<0.05
静止代谢率	体质量规格	802.73	<0.001	血红蛋白质量浓度	体质量规格	48.7	<0.001
	饥饿时间	20.6	<0.001		饥饿时间	99	<0.001
	体质量规格×饥饿时间	3.97	<0.05		体质量规格×饥饿时间	9.81	<0.05

表 4 大、小两种规格尼罗罗非鱼在饥饿处理前后的体质量与肝体比比较

Tab. 4 Comparison of body mass and hepatosomatic index of large-size and small-size *O. niloticus* before and after starvation

饥饿时间/d	大规格尼罗罗非鱼			小规格尼罗罗非鱼		
	<i>n</i>	体质量/g	肝体比	<i>n</i>	体质量/g	肝体比
0	5	189.53±6.34	1.92%±0.18%	5	67.34±7.08	2.97%±0.20%
56	15	169.47±5.21	0.87%±0.04%	12	51.10±3.57	0.81%±0.07%

3.2 大、小两种规格尼罗罗非鱼耐饥饿能力的比较

本研究发现,大、小两种规格尼罗罗非鱼在饥饿 56 d 后,不仅体质量都呈下降趋势,且饥饿处理期间均有少量个体死亡(表 1、表 2)。肝是动物重要的储能器官,在面临饥饿胁迫时,肝内的肝糖原和内脂将被分解,从而为动物提供生存所必需的能量^[15,20,32-33]。在本研究中,小规格尼罗罗非鱼的肝体比与大规格尼罗罗非鱼相比,下降程度更大,这表明了大规格尼罗罗非鱼的肝在应对饥饿胁迫时比小规格尼罗罗非鱼的肝具有更强的抗逆性。

3.3 大、小两种规格尼罗罗非鱼在饥饿条件下静止代谢率变化的比较

饥饿 0~3 d 的大规格尼罗罗非鱼的静止代谢率保持相对稳定;在饥饿 7 d 后,实验鱼的静止代谢率急剧下降;饥饿 14~21 d 后,实验鱼的静止代谢率再次呈现相对稳定状态;在饥饿 28~56 d 后,实验鱼的静止代谢率也

保持了相对稳定的状态(表1)。小规格尼罗罗非鱼的静止代谢率变化也呈这种“稳定→下降→稳定→稳定”的趋势:在饥饿0~1 d期间静止代谢率保持稳定;在饥饿3~14 d期间静止代谢率有较大程度下降;在饥饿21~35 d后,静止代谢率维持了相对稳定的状态;在饥饿的42~56 d后,静止代谢率又出现了一个相对稳定的状态(表2)。有研究表明:经历了60 d饥饿的鲃鱼(*Silurus asotus*)静止代谢率变化存在“下降→稳定→下降→稳定→下降→稳定”的变化趋势,与饥饿处理开始时相比下降64.58%^[9];南方鲃的静止代谢率在52 d的饥饿处理期内表现为“下降→稳定→下降→稳定”的变化趋势,与饥饿处理开始时相比下降了36.87%^[29];当草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)经历28 d饥饿处理时,它的静止代谢率呈近似线性下降的趋势^[20]。经过56 d的饥饿处理后,与处理开始时相比,大规格尼罗罗非鱼静止代谢率下降了44.42%,而小规格尼罗罗非鱼静止代谢率下降了54.01%。由此可以看出,与小规格尼罗罗非鱼相比,大规格尼罗罗非鱼具有更高的饥饿耐受性。

3.4 大、小两种规格尼罗罗非鱼在饥饿条件下主要血液学指标变化的比较

本研究结果显示,在饥饿56 d处理期间大、小两种规格尼罗罗非鱼主要血液学指标如红细胞数量、血红蛋白质量浓度均以波动方式下降。此外,大规格尼罗罗非鱼的红细胞数量在饥饿0~1 d、3~21 d和28~49 d这3个时间阶段均保持了相对的稳定;而小规格尼罗罗非鱼的红细胞数量和血红蛋白分别在饥饿7 d和3 d后就有明显下降。这一结果与前文关于大规格尼罗罗非鱼比小规格尼罗罗非鱼对饥饿的耐受能力更强的推断是基本一致的。

综上所述,本研究发现经历56 d饥饿处理的尼罗罗非鱼的体质量减少速率较慢,说明尼罗罗非鱼具有一定的饥饿耐受性。当面临饥饿压力时,大规格尼罗罗非鱼和小规格尼罗罗非鱼都通过降低它们的静止代谢率来维持基本的生命活动。与大规格尼罗罗非鱼相比,小规格尼罗罗非鱼的体质量和静止代谢率下降速率较快,主要血液学指标也较早地出现了较为明显的下降;因此,大规格尼罗罗非鱼与小规格尼罗罗非鱼相比具有更高的饥饿耐受性。

参考文献:

- [1] CARUSO G, DENARO M G, CARUSO R, et al. Short fasting and refeeding in red porgy (*Pagrus pagrus*, Linnaeus 1758): response of some hematological, biochemical and non specific immune parameters[J]. Marine Environmental Research, 2012, 81: 18-25.
- [2] 金丽, 赵娜, 周传江, 等. 饥饿对胭脂鱼血液指标及造血的影响[J]. 水生生物学报, 2012, 36(4): 665-673.
JIN L, ZHAO N, ZHOU C J, et al. Effects of starvation on hematological parameters and keratogenesis in *Myxocyprinus asiaticus*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(4): 665-673.
- [3] MARTIN S A M, DOUGLAS A, HOULIHAN D F, et al. Starvation alters the liver transcriptome of the innate immune response in Atlantic salmon (*Salmo salar*)[J]. BMC Genomics, 2010, 11: 418.
- [4] Mc MILLAN D N, HOULIHAN D F. Protein synthesis in trout liver is stimulated by both feeding and fasting[J]. Fish Physiology Biochemistry, 1992, 10(1): 23-34.
- [5] MOHAPATRA S, CHAKRABORTY T, SHIMIZU S, et al. Starvation beneficially influences the liver physiology and nutrient metabolism in Edwardsiella tarda infected red sea bream (*Pagrus major*)[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2015, 189: 1-10.
- [6] MORALES A E, PÉREZ-JIMÉNEZ A, HIDALGO M C, et al. Oxidative stress and antioxidant defenses after prolonged starvation in *Dentex dentex* liver[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, 2004, 139 (1/2/3): 153-161.
- [7] SALEM M, SILVERSTEIN J, REXROAD C E, et al. Effect of starvation on global gene expression and proteolysis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. BMC Genomics, 2007, 8: 328.
- [8] SRIDEE N, BOONANUNTANASARN S. The effects of food deprivation on hematological indices and blood indicators of liver function in *Oxyleotris marmorata*[J]. International Scholarly and Scientific Research & Innovation, 2012, 6(5): 269-273.
- [9] 汤洪芬, 曹振东, 付世建. 饥饿对鲃鱼幼鱼静止代谢率的影响[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2007, 24(1): 72-75.
TANG H F, CAO Z D, FU S J. The influence of starvation on metabolism of the juvenile Chinese catfish (*Silurus asotus* Linnaeus)[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2007, 24(1): 72-75.
- [10] 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.
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.
- [11] YENGKOKPAM S, DEBNATH D, PALB A K, et al. Short-term periodic feed deprivation in *Labeo rohita* fingerlings: effect on the activities of digestive, metabolic and anti-oxidative enzymes[J]. Aquaculture, 2013, 412/413: 186-192.
- [12] CAI L, FANG M, JOHNSON D, et al. Interrelationships between feeding, food deprivation and swimming performance in juvenile grass carp[J]. Aquatic Biology, 2013, 20(1): 69-76.
- [13] DAY R D, TIBBETTS I R, SECOR S M. Physiological responses to short-term fasting among herbivorous, omnivorous, and carnivorous fishes[J]. Journal of Comparative Physiology B, 2014, 184(4): 497-512.
- [14] TIAN X L, FANG J H, DONG S L. Effects of starvation and recovery on the growth, metabolism and energy budget of juvenile tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*) [J]. Aquaculture, 2010, 310(1/2): 122-129.
- [15] TRIPATHI G, VERMA P. Starvation-Induced impairment of metabolism in a freshwater catfish[J]. Zeitschrift für Naturforschung C, 2003, 58(5/6): 446-451.
- [16] SILVA-MARRERO J I, SÁEZ A, CABALLERO-SOLARES A, et al. A transcriptomic approach to study the effect of long-term starvation and diet composition on the expression of mitochondrial oxidative phosphorylation genes in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) [J]. BMC Genomics, 2017, 18: 768.
- [17] 张波, 谢小军. 南方鲇的饥饿代谢研究[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(5): 480-484.
ZHANG B, XIE X J. Starvation metabolism in southern catfish (*Silurus meridionalis*) [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2000, 31(5): 480-484.
- [18] 况莉, 谢小军. 温度对饥饿状态下南方鲇幼鱼氨氮排泄的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2001, 26(1): 45-50.
KUANG L AND XIE X J. Effect of water temperature on ammonia-N excretion in starved juvenile southern catfish (*Silurus Meridionalis* Chen) [J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2001, 26(1): 45-50.
- [19] 汤洪芬. 饥饿对鲇鱼幼鱼静止代谢率、身体组成及力竭性运动后过量耗氧的影响[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2007.
TANG H F. Effect of fasting on resting metabolic rate, body composition and excess post-exercise oxygen consumption in juvenile Chinese catfish (*Silurus asotus* Linnaeus) [D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2007.
- [20] 夏媛香, 邱汉勋, 闫玉莲. 饥饿对南方鲇和草鱼的生长及能量代谢的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2018, 43(6): 102-109.
XIA Y X, QIU H X, YAN Y L. On effects of starvation on growth performance and energetic metabolism in *Silurus meridionalis* and *Ctenopharyngodon Idella* [J]. Journal of Southwest Normal University (Natural Science Edition), 2018, 43(6): 102-109.
- [21] 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.
SHEN W Y, LIN H R, ZHANG W M. Effect of starvation and refeeding on biochemical composition of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fingerling [J]. Acta Zoolohica Sinica, 1999, 45(4): 404-412.
- [22] 林黑着, 刘永坚, 何建国, 等. 饥饿对斜带石斑鱼肝脏和肌肉脂肪酸组成的影响[J]. 南方水产, 2006, 2(4): 1-6.
LIN H Z, LIU Y J, HE J G, et al. Effects of starvation on fatty acid composition of muscle and liver in grouper, *Epinephelus coioides* [J]. South China Fisheries Science, 2006, 2(4): 1-6.
- [23] 刘孝华. 罗非鱼的生物学特性及养殖技术[J]. 湖北农业科学, 2007, 46(1): 115-116.
LIU X H. Biological characteristics and culture techniques of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Hubei Agric Sci, 2007, 46(1): 115-116.
- [24] 王玮, 丁建乐, 房金岑. 罗非鱼产业标准化现状及分析[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(6): 976-981.
WANG W, DING J L, FANG J C. The current situation and analysis of the standardization of tilapia industry [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(6): 976-981.
- [25] 刘光琳, 谢青夏, 梁丽, 等. 罗非鱼年总产量全国第三位[J]. 农家之友, 2018(12): 30-31.
LIU G L, XIE Q X, LIANG L, et al. The total annual output of tilapia ranks third in the country [J]. Nong Jia Zhi You, 2018(12): 30-31.
- [26] HUANG Q, ZHANG Y, LIU S, WANG W, et al. Intraspecific scaling of the resting and maximum metabolic rates of the crucian carp (*Carassius auratus*) [J]. PLoS ONE, 2013, 8(12): e82837.
- [27] DACIE J V, LEWIS S N. Practical Hematology[M]. 5th edition. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1975.
- [28] 谭肖英, 罗智, 王为民, 等. 饥饿对小规格斑点叉尾鲷体重及鱼体生化组成的影响[J]. 水生生物学报, 2009, 33(1): 39-45.
TAN X Y, LUO Z, WANG W M, et al. Effects of starvation on body weight and biochemical composition of small-sized channel catfish *Ictalurus punctatus* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2009, 33(1): 39-45.

- [29] 况莉. 饥饿状态下南方鲇(*Silurus meridionalis*)氮排泄及能量利用的研究[D]. 重庆:西南师范大学, 2001.
KUANG L. Studies on ammonia-N excretion and energy utilization in the southern catfish (*Silurus meridionalis*) during starvation[D]. Chongqing: Southwest Normal University, 2001.
- [30] 杜劲松, 高攀, 胡建勇, 等. 饥饿和再投喂对白斑狗鱼生长性能和生化组成的影响[J]. 水生态学杂志, 2010, 3(6): 96-100.
DU J S, GAO P, HU J Y, et al. Effects of starvation and refeeding on growth and biochemical compositions of *Esox lucius* [J]. Journal of Hydroecology, 2010, 3(6): 96-100.
- [31] 崔存河, 金宪, 杨成辉, 等. 饥饿后再投喂对哲罗鱼生长和体成分的影响[J]. 黑龙江水产, 2013(3): 43-46.
CUI C H, JIN X, YANG C H, et al. Effects of starvation and refeeding on growth and biochemical compositions of *Hucho taimen* [J]. Heilongjiang Fisheries, 2013(3): 43-46.
- [32] CHELLAPPA S, HUNTINGFORD F A, STRANG R H C, et al. Condition factor and hepatosomatic index as estimates of energy status in male three-spined stickleback[J]. Journal of Fish Biology, 1995, 47(5): 775-787.
- [33] FU S J, ZENG L Q, LI X M, et al. The behavioral, digestive and metabolic characteristics of fishes with different foraging strategies[J]. Journal of Experimental Biology, 2009, 212(14): 2296-2302.

Animal Sciences

Effects of Starvation on Body Mass, Resting Metabolic Rate, and Hematological Indices in *Oreochromis niloticus*

LI Jian, QIN Yue, JIANG Meijun, LIAO Yongyan, WU Haiping,
JIA Jiuman, YE Xiurong, YANG Shaoyu

(Guangxi Key Laboratory of Beibu Gulf Marine Biodiversity Conservation, College of Ocean,
Beibu Gulf University, Qinzhou Guangxi 535011, China)

Abstract: [Purposes] To investigate the starvation tolerance and the resting metabolic regulations of *Oreochromis niloticus* with different body mass under starvation stress. [Methods] The starvation tolerance experiment was conducted on large *O. niloticus* with initial body mass of (202.50 ± 5.24) g and small *O. niloticus* with initial body mass of (62.89 ± 3.82) g at (25 ± 0.5) °C for 56 days. [Findings] 1) When the starvation time was longer than or equal to 14 days, the body weight of tilapia was significantly lower than that of the control group ($p < 0.05$). The body weight of small-size *O. niloticus* decreased from (62.89 ± 3.82) g to (51.10 ± 3.57) g, with no significant difference. 2) The resting metabolic rate of the fish decreased from (20.87 ± 1.01) mg · h⁻¹ to (10.89 ± 0.27) mg · h⁻¹ ($p < 0.05$), a 47.82% decreased from 0 to 56 days after starvation. The resting metabolic rate of small-size *O. niloticus* decreased by 56.10% from (8.11 ± 0.3) mg · h⁻¹ to (3.56 ± 0.17) mg · h⁻¹ ($p < 0.05$). 3) The number of red blood cells and the hemoglobin mass concentration in blood of large-size and small-size *O. niloticus* was gradually decreased with the prolongation of starvation time ($p < 0.05$). 4) The hepatosomatic index of *O. niloticus* (especially small-size *O. niloticus*) decreased deeply after starvation. [Conclusions] *O. niloticus* has starvation tolerance, and compared with small-size *O. niloticus*, the starvation tolerance of large-size *O. niloticus* is better.

Keywords: starvation; *Oreochromis niloticus*; body mass; resting metabolic rate; hematological indices

(责任编辑 方 兴)