

投喂水平对黄鳝(*Monopterus albus*)生长、肠道 消化酶活性及部分血清生理生化指标的影响*

陈云飞^{1,2} 彭慧珍^{1,2†} 刘庄鹏^{1,2} 胡毅^{1,2①}
吕怡航³ 李昭林^{1,2} 张德洪³

(1. 湖南农业大学 湖南省特色水产资源利用工程技术研究中心 长沙 410128;
2. 水产高效健康生产湖南省协同创新中心 常德 415000; 3. 通威股份有限公司 成都 610041)

摘要 为探究不同投喂水平对黄鳝(*Monopterus albus*)生长、肠道消化酶活性及血清生理生化指标的影响,分别以初始体重为(68.85±0.44) g和(26.67±0.17) g的2种规格黄鳝为研究对象,大规格按照体重的2.8%、3.6%、4.4%和5.2%投喂;小规格按照体重的3.0%、4.0%、5.0%、6.0%和7.0%投喂;每个处理组设置3个重复,大规格组50尾/箱,小规格组100尾/箱,实验持续56 d。实验结果显示,随着投喂水平的增加,2种规格黄鳝增重率、饲料系数、肝体比以及全鱼脂肪含量都显著升高($P<0.05$),但全鱼蛋白含量呈下降趋势。大规格黄鳝在投喂水平为4.4%和5.2%时增重率达到最高水平,且组间差异不显著($P>0.05$);大规格黄鳝肠道脂肪酶和胰蛋白酶活性随投喂水平的增加而显著升高($P<0.05$);大规格黄鳝血清超氧化物歧化酶(SOD)活性、总胆固醇(TC)含量先升后降,血清甘油三脂(TG)含量呈上升趋势;大规格黄鳝在投喂水平为4.4%时,SOD和溶菌酶(LZM)活性达到组间较高水平。随着投喂水平的增加,小规格黄鳝肠道胰蛋白酶活性显著升高($P<0.05$);血清TG、TC含量升高,SOD活性降低,血糖含量呈先升后降趋势。在投喂水平为6%时,小规格黄鳝的SOD和LZM活性均处在较高水平。本研究表明,当大规格黄鳝投喂水平为4.4%、小规格黄鳝投喂水平为5%–6%时,黄鳝的生长性能达到较佳状态。

关键词 黄鳝;投喂水平;生长;肠道消化酶;血清生理生化指标

中图分类号 S932 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2017)02-0114-07

饲料投喂水平对养殖动物的生长性能会造成显著影响(覃希,2014)¹⁾,适宜的投喂水平可以增强鱼类的生长性能,也可提高幼鱼的成活率;但投喂过量可能会适得其反,当鱼类摄食的能量满足生长所需后,

多余的能量将会以脂肪的形式储存起来,与此同时,用于代谢和排泄的能量增加,这就导致饲料利用效率降低,影响了养殖鱼类的品质;当投喂水平过高时甚至可能会引起养殖环境恶化,导致养殖鱼类暴发疾病。

* 国家自然科学基金项目(31572626)和湖南省教育厅优秀青年项目(14B089)资助 [This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (No.31572626) and Excellent Youth Foundation of Hunan Education Committee (No.14B089)]. 陈云飞, E-mail: cyfei0813@163.com

†同等贡献作者

① 通讯作者: 胡毅, 教授, E-mail: huyi740322@163.com

收稿日期: 2016-07-29, 收修改稿日期: 2016-09-14

1) Qin X. The effects of feeding frequency and feeding level on growth performance and physiological function of juvenile GIFT, *Oreochromis niloticus*. Master's Thesis of Guangxi University, 2014 [覃希. 投喂频率和投喂水平对吉富罗非鱼幼鱼生长性能和生理机能的影响. 广西大学硕士研究生学位论文, 2014]

黄鳝(*Monopterus albus*)是我国特有淡水养殖经济鱼类之一,因其肉质细嫩、味道鲜美,深受广大消费者的喜爱。近年来,黄鳝养殖发展迅速,但养殖过程中发现,当投喂量不足或过量的时候,黄鳝疾病暴发率增加,同时越冬后死亡率增加,严重限制了黄鳝规模化养殖的发展进程。目前,黄鳝饲料营养在蛋白源、脂肪源以及维生素等方面研究较多(潘望城等, 2013; 周秋白等, 2011; 黎德兵等, 2015),而有关投喂水平对黄鳝的影响研究鲜有报道。本研究以 2 种规格黄鳝为实验对象,研究不同投喂水平对黄鳝生长、肠道消化酶和部分血清生理生化指标的影响,探究 2 种规格黄鳝的适宜投喂水平,为黄鳝养殖过程中合理的饲料投喂提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验所用黄鳝购于常德西湖春晓黄鳝养殖厂,以 1.5 m×2.0 m×1.5 m 的无结节聚乙烯网箱为养殖箱,网箱内种植水花生,覆盖网箱水面 90%以上。实验用饲料为商品饲料和鱼浆按 1:1 比例拌匀;所用商品饲料“黄鳝配合饲料 2 号”购于嘉康生物技术有限公司,粗蛋白含量为 43%,粗脂肪含量为 3%,钙含量为 4.5%。养殖实验于 2014 年 8 月 20 日–10 月 20 日在湖南省常德市西湖管理区进行,水温为(28.0±3.4)℃,溶氧量为(6.4±0.6) mg/L, pH 为 7.3±0.4,氨氮浓度在 0.1–0.3 mg/L 之间,亚硝酸盐低于 0.1 mg/L。

1.2 饲养与管理

黄鳝放养前先进行驯食,直至养殖黄鳝全部摄食实验饲料后开始实验。挑选规格均匀、体格健壮的大[(68.85±0.44) g]、小[(26.67±0.17) g]的 2 种规格黄鳝为养殖对象,按投喂量不同分别设置 4 个和 5 个处理组,大规格黄鳝分别按体重的 2.8%、3.6%、4.4%和 5.2%投喂,小规格黄鳝分别按体重的 3.0%、4.0%、5.0%、6.0%和 7.0%投喂,每个处理组设 3 个平行。大规格黄鳝每个网箱放养 50 尾,小规格每个网箱放养 100 尾,日投喂 1 次(17:00–18:00),养殖周期为 56 d。

1.3 样品采集与指标测定

1.3.1 样品采集 养殖实验结束后,停食 24 h 后进行称重采样。记录每个网箱黄鳝总数量和总重量,用于计算饵料系数(FCR)、成活率(SR)和增重率(WGR);每个网箱随机取 10 尾黄鳝进行尾静脉抽血,血液混合后置于 10 ml 无菌离心管中,4℃静置过夜后,3500 r/min 离心 15 min,取上清液分装,置于–80℃

冰箱保存,用于血清指标的测定。抽完血的黄鳝立即于冰上进行解剖,迅速取全肠,去除肠道附着物和粪便,用生理盐水清洗后,用滤纸擦干水分,分装于 10 ml 离心管中,置于–80℃冰箱保存,用于消化酶的测定。另外,分别称取空壳重和肝重,用于计算肝体比(HSI)和脏体比(VSI)。随机从每箱中挑选 5 尾黄鳝,于–20℃保存全鱼,用于体成分的测定。

1.3.2 生长指标的计算 饵料系数(FCR)、成活率(SR)、增重率(WGR)、肝体比(HSI)和脏体比(VSI)计算公式如下:

$$\begin{aligned} \text{SR}(\%) &= 100 \times N_t / N_0 \\ \text{WGR}(\%) &= 100 \times (W_t - W_0) / W_0 \\ \text{FCR} &= W_f / (W_n - W_m) \\ \text{HSI}(\%) &= 100 \times W_h / W_q \\ \text{VSI}(\%) &= 100 \times W_v / W_q \end{aligned}$$

式中, W_0 为黄鳝平均初始体重(g), W_t 为黄鳝平均末体重(g), W_f 为投喂总量(g), W_q 为全鱼重(g), W_n 为终末总重, W_m 为初始总重, W_h 为肝脏重(g), W_v 为内脏重(g), N_0 为实验鱼初始尾数, N_t 为实验鱼终末尾数。

1.3.3 全鱼体成分的测定 实验鱼体的常规指标的分析方法参考 AOAC (Association of Official Analytical Chemists)。将实验全鱼于 105℃恒温烘箱中烘干,检测其水分含量,样品中粗蛋白质含量采用凯氏定氮法测定;样品中粗脂肪含量采用索氏抽提法分析;样品中灰分含量采用马福炉 550℃灼烧法进行分析。

1.3.4 肠道消化酶活性和血清指标的测定 以下试剂盒均购自南京建成科技有限公司,按说明书要求进行样品处理和指标测定。测定试剂盒: 肠道胰蛋白酶(PRS)(A080-2)、 α -淀粉酶(AMS)(C016-1)、脂肪酶(LPS)(A054);血清总超氧化物歧化酶(T-SOD)(A001-1)、溶菌酶(LZM)(A050-1)、甘油三酯(TG)(A110-1)、总胆固醇(TC)(A111-1)、血清葡萄糖(GLU)(F006)。

1.4 数据统计与分析

实验数据以平均值±标准差(Mean±SD)表示,数据分析采用软件 SPSS 17.0 进行单因素方差分析(One-way ANOVA),用 Duncan's 多重比较组间差异, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 不同投喂水平对黄鳝生长的影响

投喂水平对黄鳝生长的影响见表 1。当投喂水平增加时,2 种规格黄鳝的增重率、饵料系数、终末均

重都显著升高($P<0.05$)。大规格黄鳝在投喂水平为4.0%、5.0%时,增重率无显著差异($P<0.05$);小规格黄鳝的增重率、饵料系数、终末均重在投喂水平为7.0%时都达到最高,显著高于其他各投喂组;大规格黄鳝在投喂水平为5.2%时,肝体比和脏体比都高于其他各组;小规格黄鳝肝体比和脏体比随投喂水平增加呈升高趋势,且都在6.0%投喂水平时达到最高值。

2.2 不同投喂水平对黄鳝体成分的影响

投喂水平对黄鳝体成分影响见表2。投喂水平对2种规格黄鳝的全鱼水分、粗灰分都未造成显著影响($P>0.05$)。大规格黄鳝粗脂肪含量随投喂水平的增加先升后降,在投喂水平为5.2%时,粗脂肪含量显著低于其他组($P<0.05$);小规格黄鳝粗脂肪含量随投喂水平增加呈升高趋势,但组间差异不显著($P>0.05$);2种规格黄鳝粗蛋白含量随投喂水平的升高呈下降趋势,且都在投喂水平最低时,粗蛋白含量显著高于其他投喂水平组($P<0.05$)。

2.3 投喂水平对黄鳝肠道消化酶的影响

投喂水平对黄鳝肠道消化酶影响如表3所示,不同投喂水平对2种规格黄鳝肠道淀粉酶活性未造成显著影响,但显著影响脂肪酶和蛋白酶活性。大规格黄鳝脂肪酶活性随投喂水平的增加有增强趋势,且在投喂水平为4.4%、5.2%(两组间差异不显著 $P>0.05$)时显著高于其他组($P<0.05$);投喂水平未对小规格黄鳝脂肪酶活性造成显著性影响($P>0.05$)。2种规格黄鳝肠道蛋白酶活性随投喂水平增加呈升高趋势,且分别在投喂水平为5.2%和7.0%时达到最高,显著高于其他投喂组($P<0.05$)。

2.4 投喂水平对黄鳝部分血清生化指标的影响

由表4可知,大规格黄鳝血清SOD活性在投喂水平为2.8%和5.2%时显著低于其他投喂组($P<0.05$),小规格黄鳝血清SOD活性在投喂水平为7.0%时显著低于其他各组,且在投喂水平小于7%时各组间SOD活性差异不显著($P>0.05$)。

表1 不同投喂水平对黄鳝生长的影响

Tab.1 Effects of different feeding levels on the growth of *M. albus*

规格 Size	投喂水平 Feeding level(%)	初始均重 IBW(g)	终末均重 FBW(g)	增重率 WGR(%)	饵料系数 FCR	成活率 SR(%)	肝体比 HIS(%)	脏体比 VSI(%)
大规格 Big size	2.8	68.94±0.87	132.3±0.7 ^b	90.8±1.3 ^c	1.92±0.04 ^d	85.3±3.1 ^c	6.39±0.26 ^b	15.93±0.75
	3.6	68.66±0.25	133.7±2.5 ^b	96.6±2.0 ^b	2.17±0.04 ^c	100.0±0.0 ^a	6.81±0.34 ^{ab}	16.04±0.76
	4.4	69.08±0.28	139.37±4.2 ^a	104.9±2.0 ^a	2.50±0.00 ^b	94.0±4.0 ^b	6.46±0.26 ^b	15.76±2.34
	5.2	68.85±0.45	141.7±3.0 ^a	107.0±3.6 ^a	2.87±0.09 ^a	96.7±1.2 ^{ab}	7.03±0.24 ^a	16.32±1.14
小规格 Small size	3.0	26.67±0.35	53.77±0.24 ^c	101.6±1.4 ^c	1.76±0.05 ^d	95.3±4.5 ^{ab}	5.82±0.51 ^{bc}	16.03±0.82 ^{ab}
	4.0	26.69±0.30	60.16±0.26 ^d	125.3±0.9 ^d	1.89±0.00 ^c	96.0±0.0 ^{ab}	5.36±0.47 ^c	15.07±0.76 ^b
	5.0	26.65±0.03	62.81±0.50 ^c	135.6±1.7 ^c	2.20±0.03 ^b	94.7±0.6 ^b	6.20±0.31 ^{abc}	16.31±1.04 ^{ab}
	6.0	26.73±0.15	68.30±0.07 ^b	155.5±1.3 ^b	2.27±0.02 ^b	97.0±1.0 ^{ab}	6.82±0.87 ^a	17.24±0.36 ^a
	7.0	26.60±0.03	70.20±0.21 ^a	163.9±1.0 ^a	2.50±0.00 ^a	99.0±1.0 ^a	6.45±0.66 ^{ab}	16.79±1.18 ^a

注:表中同一规格同一列数据上标字母不同表示差异显著, $P<0.05$,下同

Note: Within the same size and the same column, data with different letters indicated significant difference ($P < 0.05$). The same as below

表2 不同投喂水平对黄鳝体成分的影响

Tab.2 Effects of different feeding levels on the body composition of *M. albus*

规格 Size	投喂水平 Feeding level (%)	水分 Moisture (%)	粗灰分 Crude Ash (%)	粗脂肪 Crude lipid (%)	粗蛋白 Crude protein (%)
大规格 Big size	2.8	71.75±1.99	3.05±0.36	6.37±0.31 ^c	17.21±0.06 ^b
	3.6	71.46±1.06	2.69±0.28	6.92±0.31 ^{bc}	17.18±0.12 ^b
	4.4	71.00±1.58	3.20±0.84	7.73±0.44 ^{ab}	17.44±0.02 ^a
	5.2	71.98±1.42	3.13±1.09	8.00±0.06 ^a	16.98±0.00 ^c
小规格 Small size	3.0	71.39±0.48	3.81±1.55	7.19±0.67	17.29±0.34 ^a
	4.0	71.85±1.56	3.44±1.52	6.61±0.91	16.85±0.10 ^{ab}
	5.0	71.41±0.56	2.95±0.77	7.07±0.45	17.05±0.22 ^a
	6.0	71.07±0.34	2.56±0.08	7.58±0.53	16.92±0.16 ^{ab}
	7.0	71.84±1.21	3.18±1.44	8.65±2.16	16.43±0.18 ^b

表 3 不同投喂水平对黄鳝肠道消化酶指标的影响

Tab.3 Effects of different feeding levels on the intestinal digestive enzyme activity of *M. albus*

规格 Size	投喂水平 Feeding level (%)	淀粉酶 AMS (U/g prot)	脂肪酶 LPS (U/g prot)	胰蛋白酶 PRS (U/g prot)
大规格 Big size	2.8	0.10±0.01 ^b	23.64±2.41 ^b	29.23±0.36 ^d
	3.6	0.09±0.00 ^b	20.62±1.79 ^b	38.65±2.18 ^e
	4.4	0.07±0.01 ^a	34.45±3.58 ^a	53.91±2.27 ^b
	5.2	0.09±0.00 ^{ab}	34.37±3.43 ^a	64.90±5.25 ^a
小规格 Small size	3.0	0.10±0.00	31.52±4.71	24.61±0.48 ^e
	4.0	0.09±0.01	31.18±1.52	59.14±1.38 ^b
	5.0	0.10±0.01	31.26±2.54	64.88±3.27 ^b
	6.0	0.10±0.01	26.97±1.07	89.15±9.36 ^a
	7.0	0.10±0.01	31.37±2.46	92.59±4.09 ^a

表 4 不同投喂水平对黄鳝血清生理生化指标的影响

Tab.4 Effects of different feeding levels on the physiological and biochemical serum indices of *M. albus*

规格 Size	投喂水平 Feeding level (%)	超氧化物歧化酶 SOD (U/ml)	溶菌酶 LZM (μg/ml)	血糖 GLU (mmol/L)	甘油三酯 TG (mmol/L)	总胆固醇 TC (mmol/L)
大规格 Big size	2.8	151.01±7.33 ^b	1.11±0.06 ^b	3.08±0.33	0.47±0.01 ^b	3.55±0.19 ^c
	3.6	182.62±5.55 ^a	1.18±0.00 ^b	2.69±0.46	0.66±0.02 ^a	4.15±0.33 ^{bc}
	4.4	177.03±5.83 ^a	2.35±0.10 ^a	2.72±0.51	0.65±0.04 ^a	6.07±0.51 ^a
	5.2	154.01±9.19 ^b	1.36±0.20 ^b	2.71±0.13	0.70±0.02 ^a	4.60±0.05 ^b
小规格 Small size	3.0	180.25±4.99 ^a	0.80±0.03 ^c	2.13±0.04 ^b	0.24±0.01 ^c	3.72±0.68 ^b
	4.0	170.76±10.45 ^a	1.03±0.04 ^a	2.10±0.13 ^b	0.34±0.03 ^b	4.26±0.17 ^{ab}
	5.0	168.38±1.58 ^a	0.82±0.02 ^{bc}	2.97±0.71 ^a	0.34±0.00 ^b	4.47±0.43 ^{ab}
	6.0	173.09±6.31 ^a	1.11±0.08 ^a	2.65±0.45 ^{ab}	0.47±0.04 ^a	4.97±0.10 ^a
	7.0	152.84±13.13 ^b	0.89±0.02 ^b	2.48±0.13 ^{ab}	0.35±0.02 ^b	4.87±0.39 ^a

大规格黄鳝血清 LZM 活性在投喂水平为 4.4% 时显著高于其他各组 ($P < 0.05$), 小规格黄鳝血清 LZM 活性随投喂水平增加呈波动性变化, 分别在投喂量为 3.0% 和 6.0% 时达到最低值和最高值。投喂水平最大规格黄鳝血糖含量无显著影响 ($P > 0.05$), 小规格黄鳝血糖含量随投喂量增加先升高后降低, 在投喂量为 5.0% 时达到最高值。大规格黄鳝血清甘油三酯 (TG) 含量随投喂水平增加呈上升趋势, 在投喂水平为 2.8% 时最低; 大规格黄鳝血清总胆固醇 (TC) 含量随投喂水平增加先升后降, 在投喂水平为 3.6% 时达到最高; 小规格黄鳝血清 TG 和 TC 含量随投喂水平增加都呈上升趋势, 且都在投喂水平为 6.0% 时达到最高。

3 讨论

3.1 投喂水平对黄鳝生长的影响

摄食水平是影响鱼类生长的重要影响因素之一 (崔奕波等, 1990), 在合适的投喂水平内, 随着投喂

水平的增加, 用于鱼类生长的能量分配率会随之增加, 鱼类的生长性能也随之提高 (黄建盛等, 2012), 本研究发现, 随投喂水平增加, 黄鳝增重率和特定生长率都显著升高; 小规格黄鳝在投喂水平 $\leq 7.0\%$ 时, 其生长与投喂水平呈正相关关系, 这与段国庆等 (2015) 对黄鳝仔稚鱼和刘变枝等 (2013) 对长吻鮠 (*Leiocassis longirostris*) 幼鱼研究结果相似。大规格黄鳝在投喂水平为 4.4%–5.2% 时生长差异不显著, 说明大规格黄鳝在投喂水平为 4.4% 时摄食的能量可能已经足够维持生长代谢。研究表明, 鱼类在中间投喂水平时饲料转化效率最高 (崔奕波等, 1989), 饲料转化效率随摄食水平增加呈上升趋势, 但在较高水平变化不大 (朱晓明等, 2000); 特定生长率随摄食水平的增加呈减速增长趋势 (孙耀等, 2001)。本研究显示, 随着投喂水平增加, 2 种规格黄鳝饲料系数都显著升高, 这可能是投喂水平增加后饲料中能量多为代谢和排泄消耗, 用于生长的能量随投喂水平增加而减少, 从而使得饲料中的营养物质利用效率降低, 这

与袁勇超等(2011)¹⁾对胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)的研究结果一致。当投喂水平较高时,肝脏代谢负荷加重,过多的能量物质在肝脏组织中转变为脂肪进行储存,从而使鱼体肝体比和脏体比增加。本研究结果显示,当大黄鳊投喂水平高于 5.2%时,小规格黄鳊投喂水平高于 6.0%时,黄鳊肝体比显著增加,全鱼粗脂肪含量呈升高趋势,说明黄鳊高投喂水平投喂有使黄鳊肝脏负荷加重的趋势。

3.2 投喂水平对黄鳊肠道消化酶的影响

鱼类肠道消化酶活性与其食性(吴婷婷等, 1994)、生长阶段(戴贤军等, 2001)、生长环境(伍莉等, 2002)、饵料(杨代勤等, 2003)等因素密切相关。本研究结果显示, 2 种规格黄鳊肠道脂肪酶、胰蛋白酶活性随投喂水平增加呈上升趋势,这可能是由于随着投喂水平增加,增加的脂肪和蛋白质的摄入刺激肠道分泌相关的酶对其进行消化吸收,与黄厚见等(2013)对鲮鱼(*Liza haematocheila*)的研究结果相似。研究表明,黄鳊淀粉酶活力显著低于体内蛋白酶活性(刘家芳等, 2007),受饥饿应激后,肠道淀粉酶活性都无显著变化(阮国良等, 2013),本研究中,黄鳊淀粉酶活性也没有受到显著影响,这可能是由于黄鳊为杂食偏肉食性,对碳水化合物化合物的利用有一定的限度所致。

3.3 投喂水平对黄鳊血清生理生化指标的影响

血清生理生化指标在一定程度上反映鱼体的免疫、代谢功能状况。超氧化物歧化酶(SOD)可以清除机体内代谢产生的有害超氧化物,防止机体受损;溶菌酶(LZM)可以抵御细菌和异物的侵入,其活性是机体内非特异性免疫的重要指标之一。研究表明,随着摄食水平的升高,鱼类免疫机能随之提高(王艺超等, 2016)。本研究中,大规格黄鳊在投喂水平为 4.4%时, SOD 和 LZM 活性都较高;小规格黄鳊在投喂水平为 4.0%和 6.0%时, SOD 和 LZM 活性都处在较高水平,而高于 6.0%水平时, 2 种酶活出现显著性降低($P<0.05$)。这说明投喂水平过高或过低均可影响黄鳊的免疫功能,这可能是由于低投喂水平下因营养需要的不足导致黄鳊处在较低的代谢水平(刘庄鹏等, 2015),而投喂水平过高时,会导致肝脏受损,进而

导致代谢紊乱(覃希, 2014)²⁾。血糖(GLU)是代谢所需能量的直接来源,血糖水平保持恒定是糖、脂肪、氨基酸代谢途径之间,肝、肌、脂肪组织之间相互协调的结果;血清甘油三酯(TG)含量一定程度上反映了脂肪代谢的状况,而胆固醇(TC)则是动物合成胆汁酸、类固醇激素等生理活性物质的前体,与糖、脂肪、蛋白质代谢密切相关(邹思湘等, 2010)。本研究中,投喂水平升高,小规格黄鳊血清 GLU 含量呈升高趋势, 2 种规格黄鳊 TG、TC 都呈升高趋势,说明投喂水平影响了黄鳊的代谢功能。

4 结论

综上所述,在本实验条件下,大规格黄鳊在投喂水平为 4.4%时生长性能达到较佳状态,而小规格黄鳊在投喂水平为 5%~6%时其生长达到较佳状态。因此,根据生长及血清生理生化指标,建议大规格黄鳊适宜投喂水平为 4.4%,小规格黄鳊适宜投喂水平为 5.0%~6.0%。

参 考 文 献

- Cui YB, Wootton RJ. Components of the energy budget in the European minnow, *Phoxinus phoxinus* (L.) in relation to ration, body weight and temperature. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1990(3): 3-14 [崔奕波, 吴登 RJ. 真鳊 (*Phoxinus phoxinus* (L.)) 的能量收支各组分与摄食量、体重及温度的关系. *水生生物学报*, 1990(3): 3-14]
- Cui YB. Bioenergetics of fishes: Theory and methods. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1989, 13(4): 369-383 [崔奕波. 鱼类生物能量学的理论与方法. *动物营养学报*, 1989, 13(4): 369-383]
- Dai XJ, Shu MA. Changes of the digestive organs and digestive enzymes of *Monopterus albus* at different growth stage. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science Edition)*, 2001, 20(2): 113-116 [戴贤君, 舒妙安. 黄鳊不同生长阶段消化器官及其消化酶的变化. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2001, 20(2): 113-116]
- Duan GQ, Jiang H, Hu W, et al. Effects of feeding level on growth in young *Monopterus albus*. *Guangdong Agricultural Science*, 2015(7): 105-109 [段国庆, 江河, 胡王, 等. 投喂水平对黄鳊幼鱼生长的影响. *广东农业科学*, 2015(7):

1) Yuan YC. Optimum protein and energy levels, feeding levels and phosphorus requirement and utilization of plant protein source for *Myxocyprinus asiaticus*. Doctoral Dissertation of Huazhong Agricultural University, 2011 [袁勇超. 胭脂鱼适宜蛋白能量水平、投喂水平和磷需要量及对植物蛋白源的利用研究. 华中农业大学博士研究生学位论文, 2011]

2) Qin X. The effects of feeding frequency and feeding level on growth performance and physiological function of juvenile GIFT, *Oreochromis niloticus*. Master's Thesis of Guangxi University, 2014 [覃希. 投喂频率和投喂水平对吉富罗非鱼幼鱼生长性能和生理机能的影响. 广西大学硕士研究生学位论文, 2014]

- 105–109]
- Huang HJ, Jiang M, Li L, *et al.* Effect of ration level and ammonia exposure on food digestion and growth of juvenile mullet *Liza haematocheila*. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2013, 8(4): 521–528 [黄厚见, 蒋玫, 李磊, 等. 摄食水平和氨氮对鲮鱼幼鱼食物消化及生长的影响. *生态毒理学学报*, 2013, 8(4): 521–528]
- Huang JS, Chen G, Zhang JD, *et al.* Effects of feeding level on growth and energy budgets in young *Trachinotus ovatus*. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2012, 30(1): 18–22 [黄建盛, 陈刚, 张健东, 等. 摄食水平对卵形鲳鲹幼鱼的生长和能量收支的影响. *广东海洋大学学报*, 2012, 30(1): 18–22]
- Li DB, Shao SS, Zhang GW, *et al.* Effects of vitamin D3 supplemental level on growth performance and immune function of *Monopterus albus*. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(4): 1145–1151 [黎德兵, 邵珊珊, 张龚炜, 等. 饲料中维生素 D3 添加水平对黄鳝生长性能及免疫功能的影响. *动物营养学报*, 2015, 27(4): 1145–1151]
- Liu BZ, Zhu XM, Han D, *et al.* Effects of feeding level on growth performance of Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther) larvae. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(2): 261–267 [刘变枝, 朱晓鸣, 韩冬, 等. 投喂水平对长吻鮠仔稚鱼生长和存活的影响. *水生生物学报*, 2013, 37(2): 261–267]
- Liu JF, Yang DQ, Ruan GL. The study on digestive enzymatic activities in *Monopterus albus*. *Hubei Agricultural Sciences*, 2007, 46(5): 804–807 [刘家芳, 杨代勤, 阮国良. 黄鳝消化酶活性的研究. *湖北农业科学*, 2007, 46(5): 804–807]
- Liu ZP, Hu Y, Lv F, *et al.* Effect of overwintering on body indices, intestinal digestive enzymes and immune indices in *Monopterus albus*. *Journal of Hydroecology*, 2015, 36(3): 72–76 [刘庄鹏, 胡毅, 吕富, 等. 越冬对黄鳝形体、肠道消化酶及免疫指标的影响. *水生态学杂志*, 2015, 36(3): 72–76]
- Pan WC, Gong SY, Tian G, *et al.* Effect of different plant protein sources on growth performance and muscle nutrition in *Monopterus albus*. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2013, 32(5): 84–88 [潘望城, 龚世园, 田罡, 等. 不同植物蛋白源饲料对黄鳝生长及肉质的影响. *华中农业大学学报*, 2013, 32(5): 84–88]
- Ruan GL, Liu JF, Yang DQ. The effects of intermittent food-deprivation on growth, digestive enzyme activities and serum biochemical indices in the rice-field eel (*Monopterus albus*). *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37(7): 1058–1065 [阮国良, 刘家芳, 杨代勤. 间歇性禁食对黄鳝生长、消化酶活性及血液生化指标的影响. *水产学报*, 2013, 37(7): 1058–1065]
- Sun Y, Zhang B, Tang QS, *et al.* Effects of ration level and food species on energy budget of *Sabastodes fuscescens*. *Marine Fisheries Research*, 2001, 22(2): 32–37 [孙耀, 张波, 唐启升, 等. 摄食水平和饵料种类对黑鲷能量收支的影响. *海洋水产研究*, 2001, 22(2): 32–37]
- Wang YC, Liang MQ, Zheng KK. Effects of different ration levels on growth, activities of digestive enzymes and immunity-related enzymes in *Apostichopus japonicus* Selenka. *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(10): 87–92 [王艺超, 梁萌青, 郑珂珂. 不同投喂水平对刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)生长、消化酶及免疫相关酶活性的影响. *渔业科学进展*, 2016, 37(10): 87–92]
- Wu TT, Zhu XM. Studies on the activity of digestive enzymes in mandarin fish, black carp, grass carp, common carp, crucian carp and silver carp. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1994, 1(2): 10–17 [吴婷婷, 朱晓鸣. 鳊鱼、青鱼、草鱼、鲤、鲫、鲢消化酶活性的研究. *中国水产科学*, 1994, 1(2): 10–17]
- Wu L, Chen PF, Xing KC, *et al.* The study on intestinal and hepatic main pancreatic digestive enzymes activity in rice field eel. *Journal of Hubei Agricultural College*, 2002(1): 36–39 [伍莉, 陈鹏飞, 幸坤财, 等. 黄鳝肠道和肝胰脏主要消化酶活力的研究. *湖北农学院学报*, 2002(1): 36–39]
- Yang DQ, Yan AS, Chen F, *et al.* Effects of different diets on activities of digestive enzymes of *Monopterus albus*. *Journal of Fisheries of China*, 2003, 27(6): 558–563 [杨代勤, 严安生, 陈芳, 等. 不同饲料对黄鳝消化酶活性的影响. *水产学报*, 2003, 27(6): 558–563]
- Zhou QB, Zhu CS, Wu HD, *et al.* Effects of dietary lipid sources on tissue fatty acids profile and growth performance in female rice field eel *Monopterus albus*, *Zuiew*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, 35(2): 246–255 [周秋白, 朱长生, 吴华东, 等. 饲料中不同脂肪源对黄鳝生长和组织中脂肪酸含量的影响. *水生生物学报*, 2011, 35(2): 246–255]
- Zhu XM, Xie SQ, Cui YB. Effect of ration level on growth and energy budget of the gibel carp, *Carassius auratus gibelio*. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2000, 31(5): 471–479 [朱晓鸣, 解绶启, 崔奕波. 摄食水平对异育银鲫生长及能量收支的影响. *海洋与湖沼*, 2000, 31(5): 471–479]
- Zou SX, Li QZ, Zhu SJ, *et al.* *Animal biochemistry*. Beijing: China Agriculture Press, 2010, 203 [邹思湘, 李庆章, 朱素娟, 等. *动物生物化学*. 北京: 中国农业出版社, 2010, 203]

Effects of Feeding Level on Growth, Intestinal Digestive Enzymes Activity and Physiological and Biochemical Characteristics of Serum in the Asian Swamp Eel (*Monopterus albus*)

CHEN Yunfei^{1,2}, PENG Huizhen^{1,2†}, LIU Zhuangpeng^{1,2}, HU Yi^{1,2①}, LÜ Yihang³,
LI Zhaolin^{1,2}, ZHANG Dehong³

(1. Hunan Agricultural University, Hunan Engineering Technology Research Center of Featured Aquatic Resources Utilization, Changsha 410128;

2. Collaborative Innovation Center for Efficient and Healthy Production of Fisheries in Hunan Province, Changde 415000;

3. Tongwei Co., LTD, Chengdu 610041)

Abstract An 8-week feeding experiment was conducted to study the effects of different feeding levels on growth performance, intestinal digestive enzyme activities and serum physiological and biochemical indices of Asian swamp eel (*Monopterus albus*) at two different sizes [mean initial body weight: big-size (68.85±0.44 g) and small-size (26.67±0.17 g)]. There were four big-size groups which had 4 feeding rates (2.8%, 3.6%, 4.4% and 3.6% body weight/day); And five small-size groups which had 5 feeding rates (3.0%, 4.0%, 5.0%, 6.0% and 7.0% body weight/day). The stocking densities were 50 fry/4500-litre tank of big-size groups and 100 fry/4500-litre tank of small-size groups. Each group had three biological repeats. The results showed that with the increase of feeding levels for the two sizes of swamp eel, the weight gain rate, feed coefficient, liver body rate, and content of fat in the whole fish were significantly higher ($P<0.05$), but the content of protein in the whole fish had a decreasing tendency. When the feeding level was 4.4% and 5.2% for big-size swamp eel, the weight gain rate reached a peak, and there were no significant differences between the two groups. The activities of intestinal lipase and trypsin were significantly increased ($P<0.05$) with the increase of feeding level; serum superoxide dismutase (SOD) activity and total cholesterol (TC) content showed a trend from rise to decline; serum triglycerides (TG) content was rising. When the feeding level was 4.4%, the activities of SOD and lysozyme (LZM) reached the highest level among all the groups of big-size swamp eel. In pace with the rising of feeding level for the small-size groups, intestinal trypsin activity was increased significantly ($P<0.05$); the content of serum TG and TC rose gradually; the SOD activity was decreased; the content of blood sugar had a fluctuated trend. Compared with other groups of small-size swamp eel, the activities of SOD and LZM had higher standards when the feeding level was 6%. In conclusion, when the feeding level were 4.4% for the big-size and 5%–6% for the small-size respectively, the growth performance of swamp eel reached a better status.

Key words *Monopterus albus*; Feeding level; Growth; Intestinal digestive enzymes; Serum physiological and biochemical indices

① Corresponding author: HU Yi, E-mail: huyi740322@163.com