

文章编号: 1000-0615(2019)04-1058-11

DOI: 10.11964/jfc.20180411232

34 °C水温下吉富罗非鱼对饲料脂肪的需求量

周梦馨^{1,2}, 田娟², 文华^{2*}, 陆星²,
蒋明², 吴凡², 刘伟², 喻丽娟²

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 农业农村部淡水生物多样性保护重点实验室, 湖北 武汉 430223)

摘要: 为研究34 °C水温下吉富罗非鱼对饲料脂肪的需求量, 选用初始体质量为(50.88±1.57) g的吉富罗非鱼360尾, 随机分成6组(每组设3个重复, 每重复20尾), 饲喂脂肪含量分别为0.22%(对照组)、2.83%、4.98%、7.45%、9.23%和12.47%的6种纯化饲料, 在34 °C水温下饲养56 d后, 测定并分析了吉富罗非鱼的生长性能、体成分、部分血清生化和肝脏脂肪代谢酶活性等指标。结果显示, 随饲料脂肪水平升高, 吉富罗非鱼增重率、特定生长率、蛋白质效率与蛋白质保留率均呈现先上升后下降的趋势, 饲料系数和摄食率呈现相反的趋势; 12.47%实验组肝体比显著高于其他实验组, 其他指标组间无显著性差异。饲料脂肪水平对吉富罗非鱼的成活率无显著影响。对照组全鱼粗脂肪含量显著低于其他实验组; 当饲料脂肪含量为7.45%~12.47%时, 肌肉粗脂肪含量显著高于对照组; 肝脏粗脂肪含量在饲料脂肪含量为2.83%~9.23%时较对照组显著降低。血清甘油三酯和总胆固醇随饲料脂肪水平升高呈现先下降后上升的趋势; 肝脏脂肪酶和脂蛋白酯酶活性随脂肪水平的增加呈上升趋势, 在12.47%组达到最大值; 肝脂酶的活性呈先上升再下降最后趋于稳定的趋势, 在脂肪水平为2.83%时最高, 显著高于其他各组。经回归分析, 在34 °C水温下, 吉富罗非鱼要获得最佳的增重率、蛋白质效率和最低饲料系数对饲料脂肪的需求量分别为4.92%、5.67%和6.49%。

关键词: 吉富罗非鱼; 34 °C水温; 脂肪; 需求量

中图分类号: S 963.1

文献标志码: A

温度是影响鱼类摄食、生长发育、繁殖、存活等的重要环境因素之一^[1-2]。在适宜温度范围内, 鱼类生长速率随水温的升高而升高; 而在低温或高温时, 鱼类通常不能获得正常的生长速率^[3]。研究表明, 鱼类处在不适宜的水温中, 会通过改变其营养摄入以适应温度的变化^[4], 如已有研究证实高温水环境中的鲤(*Cyprinus carpio*)会增加对维生素C的需求量^[5]。因此, 非适宜生长温度条件下鱼类的营养素需求参数有待确定。

吉富罗非鱼(GIFT *Oreochromis niloticus*)是我国南方地区淡水养殖主要品种之一, 属热带暖

水性鱼类, 适宜水温为28~31 °C^[6-7], 但在我国吉富罗非鱼主要养殖区, 它们会经历一段较长时间的高温季节(6-9月), 此时水温会超过31 °C, 最高可达34 °C^[8]。在实际生产过程中发现, 水温过高会对养殖吉富罗非鱼产生明显的负面影响, 如摄食量下降、生长减速、死亡率升高等^[9]。在持续高温下, 尤其是水温持续达到34 °C以上时, 吉富罗非鱼的饲料利用率和生长速率下降^[10]。因此, 有必要研究吉富罗非鱼在持续水温过高的养殖环境下对饲料主要营养素的需求量。

脂肪是鱼类在生长发育中必不可少的主要

收稿日期: 2018-04-07 修回日期: 2018-08-06

资助项目: 中国水产科学研究院基本科研业务费专项(2018HY-ZD0504); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-46)

通信作者: 文华, E-mail: wenhua.hb@163.com

营养素之一,是鱼类体内主要的能量贮备形式和重要的能源物质,也是鱼类必需脂肪酸的来源、许多中间代谢反应的必需物质和脂溶性维生素的载体^[11]。目前国内外已报道了奥尼罗非鱼(*O. niloticus*♀×*O. aureus*♂)幼鱼(21±1) °C^[12]、尼罗罗非鱼(*O. niloticus*)幼鱼(28±4) °C^[13]和吉富罗非鱼幼鱼(21~27) °C^[14]饲料适宜的脂肪需求量分别为12%、8.30%~9.75%和7.67%~9.34%,而有关持续高温下吉富罗非鱼对饲料脂肪适宜需求量的研究还未见报道。因此本实验使用含有不同脂肪水平的纯化饲料,在室内循环水养殖系统中,将水温控制为34 °C,喂养吉富罗非鱼56 d,通过对吉富罗非鱼的生长性能、体成分、部分血清指标和脂肪代谢酶等指标进行分析,以期确定34 °C水温下吉富罗非鱼对饲料脂肪的需求量,为吉富罗非鱼适应高温季节的配合饲料配制提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 实验饲料配制

以酪蛋白、明胶为蛋白源,以玉米油、大豆油为脂肪源(质量比1:1),糊精为糖源配制成6组纯化饲料。饲料中脂肪的设计添加量为0、2.5%、5.0%、7.5%、10.0%和12.5%,实测脂肪水平分别为0.22%、2.83%、4.98%、7.45%、9.23%和12.47%。饲料原料粉碎过60目筛,按表1比例称量后混合均匀,少量的成分用逐级扩大法混合,加20%的水,用绞肉机(常定五金制品厂,大型电动52号绞肉机,模板直径2.0 mm)挤压成条状,用履带式饲料干燥机于60 °C烘2 h后,破碎成长度为2.0~3.0 mm的颗粒,过10目筛,除去细小粉末和颗粒后,用塑料袋密封后贮存于-20 °C冰箱备用。

1.2 实验鱼和饲养管理

实验鱼来源于广西罗非鱼国家级育种试验场。正式实验前挑选健康活泼、规格一致的吉富罗非鱼暂养于长江水产研究所室内循环水养殖桶中(养殖水有效体积400 L),暂养期间采用表观饱食的方法进行投喂,所投喂的饲料为6种实验饲料等质量混合后的饲料。驯养期间先控制水温为28 °C,待实验鱼适应养殖系统1周后,以每天1 °C的速率升温至34 °C,在34 °C水温下稳

定3 d后,挑选规格均匀的吉富罗非鱼[平均初始体质量为(50.88±1.57) g]随机分配到18个养殖桶中,每个养殖桶放养20尾,随机分为6组,每组3个重复,分别投喂6组实验饲料,每天投喂3次(8:30~9:30、12:30~1:30、16:30~17:30),表观饱食投喂。每天早上投喂前对循环水养殖系统的过滤沙缸进行一次反冲洗,同时缓慢加注10%曝气后的城市自来水,将水温降幅控制在1 °C内。在反冲洗的同时,通过养殖桶底部少量排水清除底部粪便,每天记录水温、摄食情况和实验鱼死亡情况。养殖持续56 d。饲养期间通过循环水养殖系统的8根3 kW加热棒和自动温控仪将水温控制为(34±0.5) °C,通过1台750 W增氧机对养殖系统进行连续曝气,实验期间每日检测1次溶解氧、pH和水温,每周检测1次氨氮和亚硝酸盐,养殖期间水质参数为溶解氧含量>4 mg/L, pH 6.5~7.0,总氨氮<0.2 mg/L,亚硝酸盐<0.05 mg/L。养殖实验于2016年10月—2017年1月完成。

1.3 样品采集

养殖实验结束后,将鱼体饥饿24 h,以桶为单位称重。每桶随机取6尾鱼,其中3尾用于测定全鱼的营养成分;另外3尾用于测定鱼体形体指标、生长性能、血清生化指标和脂肪代谢酶活性。具体操作:先测量体质量,再从尾静脉取血(血液在4 °C下静置4 h后,以3 000 r/min离心10 min,取上层血清);然后取出内脏,分离出肝脏,并称取内脏和肝脏的质量;最后取肌肉(第1根背鳍至最后1根背鳍之间,侧线以上白肌)。将所有样品存放在-80 °C冰箱备用。

1.4 指标测定

生长性能测定 根据以下公式,计算增重率(WGR)、特定生长率(SGR)、饲料系数(FCR)、摄食率(FIR)、蛋白质效率(PER)、蛋白质保留率(PRR)、肝体比(HSI)和脏体比(VSI)。

$$\text{成活率(survival rate, SR, \%)} = N_t / N_0 \times 100\%;$$

$$\text{增重率(weight gain rate, WGR, \%)} = (W_t - W_0) / W_0 \times 100\%;$$

$$\text{特定生长率(specific growth rate, SGR, \% / d)} = (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100\%;$$

$$\text{饲料系数(feed conversion ratio, FCR)} = W_f \times W_d / (W_t - W_0);$$

$$\text{摄食率(feed intake rate, FIR, \%)} = W_f \times 2 / (W_t + W_0)$$

表 1 实验饲料配方及营养组成(风干基础)
Tab. 1 Formula and proximate chemical composition of the experimental diets (air-dry basis) %

项目 items	饲料脂肪水平/% dietary lipid levels					
	0.22	2.83	4.98	7.45	9.23	12.47
原料 ingredient						
大豆油 soybean oil	0	1.25	2.50	3.75	5.00	6.25
玉米油 corn oil	0	1.25	2.50	3.75	5.00	6.25
酪蛋白 casein	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00
明胶 gelatin	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
糊精 dextrin	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00
氯化胆碱 choline chloride	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
维生素预混料 ¹⁾ vitamin premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
无机盐预混料 ²⁾ mineral premix	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
磷酸二氢钙 Ca (H ₂ PO ₄) ₂	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
膨润土 bentonite	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
微晶纤维素 microcrystalline	17.05	14.55	12.05	9.55	7.05	4.55
合计 total	100	100	100	100	100	100
营养组成 proximate composition						
粗蛋白 crude protein	35.98	36.28	35.96	35.77	35.78	36.36
粗脂肪 crude lipid	0.22	2.83	4.98	7.45	9.23	12.47
灰分 ash	2.85	2.96	2.93	3.27	3.15	3.05
水分 moisture	7.94	7.61	7.35	6.92	6.53	6.36
总能/(kJ/g) gross energy	17.62	18.27	18.72	19.28	19.88	20.37

注: 1) 维生素预混料由下列成分组成(预混料mg/g), 硫胺素盐酸盐 5, 核黄素 10, 泛酸钙 10, D-生物素 0.6, 盐酸吡哆醇 4, 叶酸 1.5, 肌醇 200, L-维生素C-2-磷酸镁 60, 烟酸 6.05, α-维生素E醋酸酯 50, 维生素K 4, 视黄醇醋酸酯 2 000 IU, 维生素D₃ 400 IU, 再用微晶纤维素添加至1 g。2) 无机盐预混料由下列成分组成(预混料mg/g), 磷酸二氢钙 135.8, 乳酸钙 327, 硫酸亚铁 2.125, 硫酸镁 137, 磷酸二氢钠 87.2, 氯化钠 43.5, 氯化铝 0.15, 碘酸钾 0.125, 氯化钾 75, 氯化铜 0.1, 硫酸锰 0.80, 氯化钴 1, 硫酸锌 3, 再用微晶纤维素添加至1 g
Notes: 1) the vitamin mixture supplied the following (mixture mg/g), thiamin hydrochloride 5, riboflavin 10, calcium pantothenate 10, D-biotin 0.6, pyridoxine hydrochloride 4, folic acid 1.5, inositol 200, L-ascorbyl-2-monophosphate-Mg 60, nicotinic acid 6.05, α-tocopheryl acetate 50, menadione 4, retinol acetate 2 000 IU, cholecaliferol 400 IU, all ingredients were diluted with micro-cellulose to 1 g. 2) the mineral mixture supplied the following (mg/g diet), Ca (H₂PO₄)₂ 135.8, Ca (CH₃CHOHCOO)₂·5H₂O 327, FeSO₄·6H₂O 2.125, MgSO₄·7H₂O 137, NaH₂PO₄ 87.2, NaCl 43.5, AlCl₃·6H₂O 0.15, KIO₃ 0.125, KCl 75, CuCl₂·2H₂O 0.1, MnSO₄·H₂O 0.80, CoCl₂·6H₂O 1, ZnSO₄·7H₂O 3, all ingredients were diluted with micro-cellulose to 1 g

t×100%

肝体比(hepatosomatic index, HSI, %)= $W_h/W \times 100\%$;

脏体比(viscerosomatic index, VSI, %)= $W_v/W \times 100\%$;

蛋白质效率 (protein efficiency ratio, PER, %)= $(W_t - W_0)/(W_f \times W_p \times W_d) \times 100\%$

蛋白质保留率(protein retention ratio, PRR, %)= $(W_t \times P_t - W_0 \times P_0)/(W_f \times W_p \times W_d) \times 100\%$

式中, N_t 为终末尾数, N_0 为初始尾数, W_t 为终末体质量(g), W_0 为初始体质量(g), t 为实验天数

(d), W_f 为摄入饲料量(g), W_p 为饲料中的粗蛋白含量(%), W_d 为饲料中干物质的含量(%), W_h 为鱼肝脏重(g), W_v 为鱼内脏重(g), W 为鱼体质量(g), P_t 为终末鱼体的粗蛋白质量分数(%), P_0 为初始鱼体的粗蛋白质量分数(%)。

常规营养成分测定 全鱼和饲料水分含量采用105 °C常压干燥法, 肝脏和肌肉水分含量采用冷冻干燥法测定(CHRIST型冷冻干燥剂冷冻干燥48 h), 所有样品的粗蛋白、粗脂肪和灰分含量分别采用凯氏定氮法、索氏抽提法和灼烧称重法测定。

血清生化指标测定 甘油三酯(TG)、总胆固醇(TCHO)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)的含量由全自动生化分析仪(Sysmex-800)测定,所用试剂均购自Sysmex公司。

脂肪代谢酶活性的测定 每尾鱼取0.5 g肝脏组织,加入9倍体积的4 °C生理盐水,冰浴匀浆(1 000 r/min, 10 s/次,连续4次),3 000 r/min离心10 min,取上清液测定肝脂肪酶、脂蛋白酯酶和肝脂酶活性。肝脏脂肪酶测定使用南京建成试剂盒。脂蛋白酯酶和肝脂酶活性根据张蓉等^[15]的方法测定。

1.5 数据分析

数据均以平均值±标准差(mean±SD)表示,用SPSS 19.0统计软件中One-Way ANOVA进行方差分析,并进行Duncan氏多重比较, $P<0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 34 °C下饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生长性能的影响

初始体质量为(50.88±1.57) g的吉富罗非鱼在34 °C下经过56 d的饲养,其WGR、SGR、PER和PRR随饲料脂肪水平升高均呈现先上升后下降的趋势,WGR和SGR均在饲料脂肪水平为4.98%时达到最大值,PER和PRR在饲料脂肪水平为7.45%时达到最大值(表2);FCR和FIR则呈现先下降后上升的趋势,均在饲料脂肪水平为7.45%时最低。HSI和VSI均随饲料脂肪水平升高而升高,饲料脂肪水平对吉富罗非鱼的SR无显著影响($P>0.05$)。

通过回归分析得出,吉富罗非鱼增重率(Y)和饲料脂肪水平(X)的关系为 $Y=8.113 0X+184.670 0(X\leq 4.980, R^2=0.847 5)$ 和 $Y=-5.332 7X+250.880 0(4.98\leq X\leq 12.47, R^2=0.872 6)$,当饲料脂肪水平为4.92%时,增重率最大(图1)。饲料系数(Y)和饲料脂肪水平(X)的关系为 $Y=0.004 5X^2-0.058 4X+1.395 2(R^2=0.858 4)$,当饲料脂肪水平为6.49%时,饲料系数最小(图2)。蛋白质效率(Y)和饲料脂肪水平(X)的关系为 $Y=6.869 0X+197.880 0(X\leq 4.980, R^2=0.874 8)$ 和 $Y=-4.804 3X+264.060 0(4.98\leq X\leq 12.470, R^2=0.923 4)$,当饲料脂肪水平为5.67%时,蛋白质效率最大(图3)。

2.2 34 °C下饲料脂肪水平对吉富罗非鱼体成分的影响

随饲料脂肪水平的升高,全鱼粗脂肪含量不断升高,各实验组显著高于对照组($P<0.05$) (表3);水分含量在饲料脂肪含量 $\geq 4.98\%$ 时较对照组显著升高($P<0.05$);各组全鱼的粗蛋白和灰分含量差异不显著($P>0.05$)。随饲料脂肪水平的升高,肌肉的粗脂肪含量不断升高,而水分逐渐降低;当吉富罗非鱼摄入的饲料脂肪含量 $\geq 7.45\%$ 时,其肌肉脂肪含量显著高于对照组($P<0.05$);当脂肪水平 $\geq 4.98\%$ 时,肌肉水分含量显著低于对照组($P<0.05$)。饲料脂肪含量不影响肌肉粗蛋白含量($P>0.05$),但使肌肉灰分含量较对照组显著降低($P<0.05$)。肝脏粗脂肪含量在饲料脂肪含量为2.83%~9.23%时较对照组和12.47%组显著降低($P<0.05$);水分含量在饲料脂肪含量为2.83%~4.98%时较对照组显著升高($P<0.05$)。

2.3 34 °C下饲料脂肪水平对吉富罗非鱼血清部分脂肪代谢指标的影响

随饲料脂肪水平的升高,血清TG、TCHO和LDL-C含量变化趋势均一致,呈现先下降后上升的趋势(表4);4.98%组血清TCHO含量较对照组显著降低,12.47%组较对照组显著升高($P<0.05$);当饲料脂肪水平在9.23%~12.47%时,血清TG含量显著高于对照组($P<0.05$);当饲料脂肪水平在4.98%~7.45%时,血清LDL-C含量显著低于对照组($P<0.05$)。血清HDL-C含量各实验组显著高于对照组($P<0.05$)。

2.4 34 °C下饲料脂肪水平对吉富罗非鱼肝脏脂肪代谢酶指标的影响

吉富罗非鱼肝脏脂肪酶活性随着饲料脂肪水平的升高而升高,各实验组较对照组显著升高($P<0.05$) (表5);肝脏脂蛋白酯酶的活性呈上升趋势,当饲料脂肪水平 $\geq 4.98\%$ 时,较对照组显著升高($P<0.05$);肝脂酶活性在脂肪水平为2.83%时达到最大,显著高于其他各组($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 温度对吉富罗非鱼饲料脂肪需求量的影响

温度对鱼类的饲料脂肪需求量存在一定影响^[16]。在对吉富罗非鱼饲料脂肪需求量的研究中

表 2 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生长性能和饲料利用的影响

Tab. 2 Effect of dietary lipid levels on growth performance and feed utilization of GIFT *O. niloticus*

指标 index	饲料脂肪水平/% dietary lipid level					
	0.22	2.83	4.98	7.45	9.23	12.47
初始体质量/g IBW	50.32±0.38	51.08±0.37	51.02±0.80	50.43±0.53	50.97±0.33	51.43±0.33
终末体质量/g FBW	146.3±2.84 ^a	152.28±3.87 ^{ab}	168.50±0.43 ^c	154.17±1.22 ^b	150.85±3.54 ^{ab}	148.83±2.94 ^{ab}
增重率/% WGR	190.75±4.34 ^a	198.15±9.65 ^{ab}	230.34±5.62 ^c	205.70±3.37 ^b	195.97±6.46 ^{ab}	189.38±6.17 ^a
特定增长率/(%/d) SGR	1.91±0.03 ^a	1.95±0.06 ^{ab}	2.13±0.03 ^c	2.00±0.02 ^b	1.93±0.04 ^{ab}	1.90±0.04 ^a
肝体比/% HSI	1.67±0.26 ^a	1.73±0.29 ^{ab}	1.75±0.26 ^{ab}	1.77±0.25 ^{ab}	1.79±0.20 ^{ab}	2.07±0.26 ^b
脏体比/% VSI	6.93±0.23 ^a	6.88±0.36 ^a	6.91±0.27 ^a	7.61±0.38 ^b	7.50±0.33 ^b	8.57±0.40 ^c
饲料系数 FCR	1.37±0.02 ^a	1.31±0.03 ^b	1.19±0.05 ^c	1.18±0.03 ^c	1.27±0.04 ^b	1.36±0.04 ^b
蛋白质效率/% PER	202.63±3.70 ^a	210.17±5.23 ^{ab}	234.07±11.02 ^c	236.30±6.26 ^c	219.59±6.57 ^b	202.22±6.44 ^a
蛋白质保留率/% PRR	33.71±1.69 ^a	36.37±0.93 ^b	36.73±1.73 ^b	37.53±1.0 ^b	34.07±1.03 ^a	32.11±1.03 ^a
摄食率/% FIR	2.39±0.05 ^c	2.33±0.10 ^{bc}	2.25±0.05 ^{ab}	2.16±0.05 ^a	2.26±0.06 ^{ab}	2.36±0.04 ^{bc}
成活率/% SR	100	100	100	100	100	100

注：同行上标字母不同代表显著性差异 ($P < 0.05$)，下同

Notes: values with different superscript letters within the same row are different significantly ($P < 0.05$), the same below

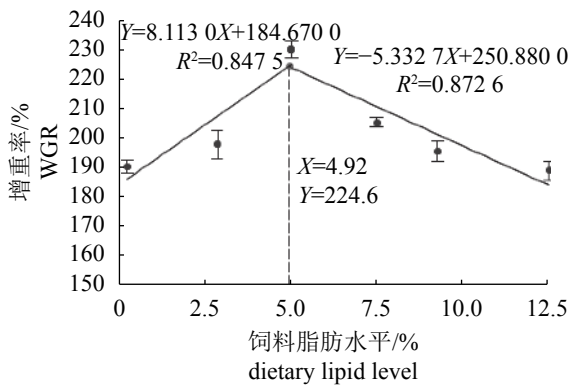


图 1 饲料脂肪水平与增重率的折线回归分析

Fig. 1 Broken-line regression analysis between weight gain rate (WGR) and dietary lipid level

发现，21 °C水温下初始体质量为(1.34±0.20) g 的奥尼罗非鱼，最适饲料脂肪水平需求量为12%，此时获得最大增重率^[12]。在25 °C水温，添加3%~5%的豆油，使饲料的总脂肪达到8.8%~10.7%时，初始体质量为128~160 g的尼罗罗非鱼生长最佳、饲料系数最低、蛋白质效率最高^[17]。初始体质量为(37.00±1.00) g的吉富罗非鱼在28 °C下养殖时，最适宜生长的饲料脂肪含量为6.19%^[18]。本实验中34 °C水温条件下，初始体质量为(50.88±1.57) g的吉富罗非鱼获得最佳的生长性能和饲料利用时对脂肪的需求量为4.92%~6.49%，这些结果仅

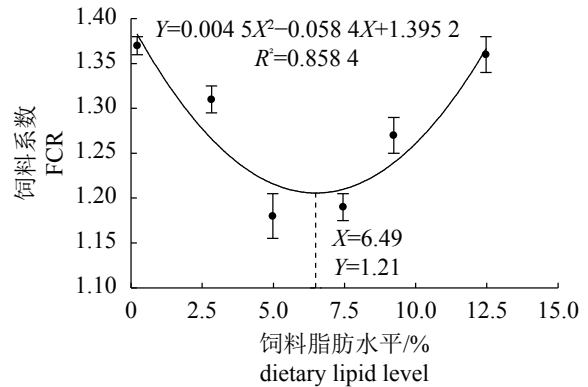


图 2 饲料脂肪水平与饲料系数的回归分析

Fig. 2 Regression analysis between feed conversion ratio (FCR) and dietary lipid level

从温度这一个因素分析，总体上表明随着温度的升高，吉富罗非鱼对脂肪的需求量有所降低，在28~34 °C水温时，吉富罗非鱼对脂肪的需求量比较接近。在对松浦镜鲤幼鱼的研究中发现，当水温为23和30 °C时，饲料脂肪最适需求量均为8%^[16]。这说明高温与适温相比，可能并不影响罗非鱼对饲料脂肪的需求量，但影响罗非鱼营养素需求量的因素包括生长阶段、规格大小、饲料源、饲料配方、评价指标等^[6]，温度对饲料脂肪需求量的影响有待进一步验证。同时本实验中吉富罗非鱼的生长性能指标如增重率、特定

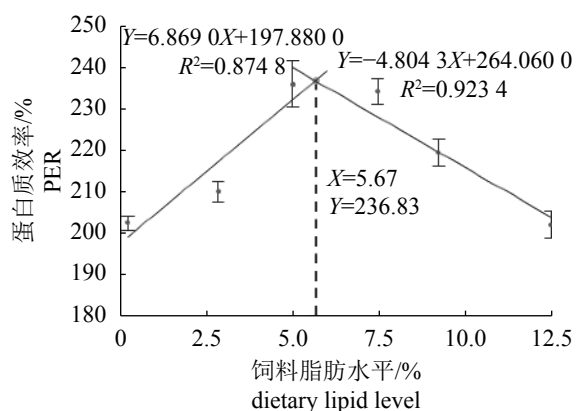


图3 饲料脂肪水平与蛋白质效率的折线回归分析
Fig. 3 Broken-line regression analysis between protein efficiency ratio (PER) and dietary lipid level

生长率、饲料效率、蛋白质效率和蛋白质保留率等, 与本实验室前期在适宜水温和同一套养殖系统中进行的养殖中期吉富罗非鱼(初始体质量约50 g)对营养素需求量的生长性能结果接近^[13, 19-20], 这可能是由于在本实验室内循环水养殖系统中34℃水温没有达到吉富罗非鱼生长的受限温度。

3.2 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼体组成的影响

本研究中, 随饲料脂肪水平的升高, 吉富

罗非鱼的全鱼和肌肉粗脂肪含量以及脏器比均随之增加。在奥尼罗非鱼^[21]、吉富罗非鱼^[22]、尖吻鲈(*Lates calcarifer*)^[23]和杂交条纹鲈(*Morone chrysops*×*M. saxatilis*)^[24]等的研究中也得到证实。这说明饲料中脂肪含量的增加会造成吉富罗非鱼体内脂肪蓄积的增加, 过量的脂肪会沉积在鱼体腹腔、肝脏和肌肉等组织中^[25]。

肝脏是鱼类最主要的贮脂器官。本实验中肝脏脂肪含量在饲料脂肪含量为2.83%~9.23%时较对照组和12.47%组显著降低, 这说明高温下, 适宜的饲料脂肪含量反而可以降低肝脏脂肪蓄积。这可能与罗非鱼脂肪代谢酶活性在一定温度范围内随温度升高而升高^[26], 以及与尼罗罗非鱼对脂肪利用率较高且可以优先利用脂肪作为能源物质有关^[27]。对照组的脂肪含量显著高于脂肪含量为2.83%~9.23%组, 其原因可能是饲料中不添加脂肪, 会导致肝脏发生糖脂代谢障碍, 不能充分利用糖类作为能源, 而将糖类大量转化为脂肪沉积于肝脏中^[28]。

3.3 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼血清生化指标的影响

血清生化指标可反映鱼体的生理或病理状况, 其中甘油三酯和总胆固醇可以反映出鱼类

表3 饲料脂肪水平对全鱼、肌肉和肝脏常规体组成的影响
Tab. 3 Effect of dietary lipid levels on whole body, muscle and liver composition of GIFT *O. niloticus* %

指标 index	饲料脂肪水平/% dietary lipid level					
	0.22	2.83	4.98	7.45	9.23	12.47
全鱼 whole body						
水分 moisture	71.65±2.13 ^c	71.20±1.15 ^{bc}	71.01±0.28 ^b	70.94±1.82 ^b	70.42±0.81 ^{ab}	69.32±1.06 ^a
粗蛋白 crude protein	16.38±0.31	17.06±1.24	15.88±0.67	16.21±0.94	15.88±0.38	16.15±0.83
粗脂肪 crude lipid	7.66±0.15 ^a	8.44±0.62 ^b	8.66±0.29 ^b	9.71±0.48 ^c	9.76±0.34 ^c	10.73±0.08 ^d
灰分 ash	4.06±0.43	4.35±0.47	3.61±0.42	3.69±0.30	3.98±0.17	3.97±0.59
肌肉 muscle						
水分 moisture	77.51±0.25 ^a	77.29±0.26 ^{ab}	76.98±0.18 ^b	76.86±0.33 ^b	76.58±0.51 ^{bc}	76.23±0.35 ^c
粗脂肪 crude lipid	2.23±0.64 ^a	2.83±0.87 ^{ab}	3.86±1.05 ^{ab}	3.82±0.49 ^b	5.49±0.87 ^c	7.57±0.13 ^d
粗蛋白 crude protein	17.62±0.51	17.70±0.49	17.95±0.30	17.87±0.19	17.73±0.44	17.57±0.37
灰分 ash	1.23±0.11 ^a	1.02±0.07 ^{bc}	1.08±0.08 ^{bc}	0.88±0.16 ^d	1.15±0.03 ^b	1.01±0.06 ^c
肝脏 liver						
水分 moisture	58.95±0.36 ^{ab}	64.04±0.93 ^c	63.76±0.61 ^c	59.48±1.71 ^b	59.23±3.04 ^b	55.76±0.20 ^a
粗脂肪 crude lipid	21.33±0.69 ^a	14.20±1.40 ^c	13.31±0.61 ^c	17.08±1.51 ^b	16.81±3.05 ^b	22.99±1.89 ^a

表4 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼血清部分脂肪代谢指标的影响
Tab. 4 Effect of dietary lipid levels on serum biochemical indices of GIFT *O. niloticus* mmol/L

指标 index	饲料脂肪水平/% lipid level					
	0.22	2.83	4.98	7.45	9.23	12.47
总胆固醇 TCHO	4.75±0.35 ^b	4.59±0.17 ^b	3.95±0.24 ^a	4.29±0.64 ^{ab}	4.76±0.51 ^b	6.53±0.66 ^c
甘油三酯 TG	1.43±0.16 ^{ab}	1.25±0.18 ^a	1.18±0.16 ^a	1.50±0.16 ^b	2.41±0.17 ^c	3.61±0.29 ^d
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C	1.00±0.10 ^a	1.35±0.07 ^b	1.43±0.18 ^b	1.31±0.13 ^b	1.33±0.14 ^b	1.44±0.10 ^b
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C	1.35±0.15 ^b	1.09±0.17 ^b	0.66±0.15 ^a	0.63±0.16 ^a	1.35±0.25 ^b	1.85±0.24 ^c

表5 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼脂肪代谢相关酶的影响
Tab. 5 Effect of dietary lipid levels on lipid metabolism enzyme of GIFT *O. niloticus* U/g prot

指标 index	饲料脂肪水平/% lipid level					
	0.22	2.83	4.98	7.45	9.23	12.47
脂蛋白酯酶 lipoprotein lipase	1.94±0.27 ^a	2.56±0.44 ^{ab}	3.18±0.88 ^b	4.84±0.20 ^c	5.75±0.56 ^c	7.92±0.66 ^d
肝脂酶 hepatic lipase	4.60±0.25 ^a	7.44±0.44 ^d	6.34±0.34 ^c	5.26±0.34 ^{ab}	5.41±0.42 ^b	5.98±0.60 ^{bc}
脂肪酶 lipase	7.53±1.02 ^a	10.67±1.18 ^b	14.29±1.51 ^c	16.00±0.50 ^c	18.48±1.39 ^d	19.73±1.28 ^d

机体中脂肪的沉积情况^[29]。血清中的甘油三酯主要有2个来源：一是从小肠食物消化吸收而来，并以乳糜微粒的形式经淋巴管进入血液；二是肝脏利用葡萄糖和脂肪酸形成的，以极低密度脂蛋白的形式从肝脏释放至血液^[30]。一般来说，甘油三酯的升降会伴随着胆固醇的升降^[31]。本实验中吉富罗非鱼甘油三酯与胆固醇的变化趋势基本一致，随饲料脂肪水平的升高呈先降低后升高的趋势，且均在脂肪水平为4.98%时达到最低，说明饲料中适宜脂肪水平可以降低血液甘油三酯。高密度脂蛋白可以将鱼体内胆固醇运回肝脏进行代谢，有效提高血液的HDL-C含量，可以预防鱼类血管动脉硬化^[32]。而低密度脂蛋白的作用正好相反，是向组织转运肝脏合成的内源性胆固醇，引起动脉硬化^[33]。本实验中，脂肪添加组血清HDL-C含量较对照组显著升高；当脂肪水平达到4.98%时，血清LDL-C含量显著下降，可能是因为鱼体肝脏自身合成内源性胆固醇的减少，而血清HDL-C含量的升高可能与饲料中不饱和脂肪酸随着脂肪含量的升高而增加有关。

3.4 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼肝脏脂肪代谢酶的影响

肝脏是动物体内最大的消化腺，也是体内的新陈代谢中心，它在脂类物质代谢中起着重要作用^[34]。同时肝脏还是动物脂肪酸 β -氧化代谢

的重要部位，是鱼类随营养状况而改变脂肪蓄积的主要调节性贮脂器官^[35]。消化酶是维持机体正常代谢的生命活性物质，可以调节鱼类对营养物质的消化吸收，进而影响鱼类的生长^[36]。动物能够通过提高自身脂肪酶的活性来适应饲料中不断增加的脂肪并提高其对脂肪的消化与吸收能力^[37]。本实验中，肝脏脂肪酶活性随着饲料脂肪含量的上升而显著提高。这与对瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)稚鱼^[38]、厚唇弱棘鲷(*Hephestus fuliginosus*)^[39]的研究结果一致。据研究奥尼罗非鱼肠道脂肪酶最适反应温度为35℃^[26]，这说明持续34℃高温下吉富罗非鱼的脂肪消化酶表现出较高的活性，从而提高了其对脂肪的利用率，特别是使脂肪更有利于供能，从而减少了吉富罗非鱼对饲料脂肪的需求量，其肝脏脂肪含量亦能说明。

脂蛋白酯酶(LPL)和肝脂酶(HL)是鱼类肝脏中参与脂肪降解的2种关键酶，合称为总脂酶(TL)。LPL是一种糖蛋白，存在于多种细胞和组织中，主要催化乳糜微粒和极低密度脂蛋白中的TG水解，产生甘油并释放出游离脂肪酸^[40]。本实验中，饲料脂肪含量水平的升高导致LPL活性升高，当饲料脂肪含量大于4.98%时，LPL活性显著高于对照组，这可能是由于高脂肪含量造成机体产生大量TG，此时需要鱼体产生大量LPL去分解TG，导致LPL含量升高。HL在肝细胞中合成，

可作为配体促进低密度脂蛋白和乳糜微粒进入肝细胞,并直接参与HDL-C的逆转运和高密度脂蛋白残粒的分解^[41]。涂玮等^[13]研究也表明,投喂饲料脂肪含量为11.13%的高脂饲料可明显降低鱼体HL和LPL水平,抑制了鱼体脂肪的代谢。但在许氏平鲷^[42](*Sebastes schlegeli*)上的研究发现,肝脏LPL、HL活性均随饲料脂肪水平的升高而升高,研究结果的不一致可能是由于实验动物、养殖条件、饲料配方、脂肪来源的不同引起的,其相关机理需作进一步探讨。

4 结论

在34℃水温下,饲料脂肪含量影响吉富罗非鱼的生长性能,以增重率、饲料系数和蛋白质效率为评价指标,吉富罗非鱼对饲料中脂肪的需求量为4.92%~6.49%;总体上随着温度的升高,吉富罗非鱼对脂肪的需求量有所降低,在28~34℃水温时,吉富罗非鱼对脂肪的需求量比较接近。随饲料脂肪含量的增加,吉富罗非鱼全鱼和肌肉的粗脂肪含量、血清HDL-C含量、肝脏脂肪酶和脂蛋白酯酶活性亦随之增加,而TG、胆固醇和肝脏脂肪含量呈先降低后升高的变化趋势,说明吉富罗非鱼饲料中添加适宜的脂肪有利于其健康和脂肪的分解代谢。

参考文献:

- [1] Handeland S O, Imsland A K, Stefansson S O. The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts[J]. *Aquaculture*, 2008, 283(1-4): 36-42.
- [2] 龙华. 温度对鱼类生存的影响[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2005, 44(增. 1): 254-257.
- Long H. The effect of temperature to fish survival[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2005, 44(suppl.1): 254-257(in Chinese).
- [3] Gislason H, Daan N, Rice J C, *et al.* Size, growth, temperature and the natural mortality of marine fish[J]. *Fish & Fisheries*, 2010, 11(2): 149-158.
- [4] Ranjan A, Jain K K, Srivasatava P P, *et al.* Dietary energy requirement of *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage, 1878) juveniles reared at two temperatures[J]. *Turkish Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 2018, 18(1): 101-108.
- [5] Hwang D F, Lin T K. Effect of temperature on dietary vitamin C requirement and lipid in common carp[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2002, 131(1): 1-7.
- [6] Ng W K, Romano N. A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle[J]. *Reviews in Aquaculture*, 2013, 5(4): 220-254.
- [7] 郭恩彦, 郭忠宝, 罗永巨. 吉富罗非鱼最适生长水温研究[J]. *广东海洋大学学报*, 2011, 31(1): 89-93.
- Guo E Y, Guo Z B, Luo Y J. Optimum water temperature for growth of GIFT, *Oreochromis niloticus*[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2011, 31(1): 89-93(in Chinese).
- [8] 马建波, 蓝宗坚, 李永锋, 等. 大宗淡水鱼夏季混养池塘水质理化因子的昼夜变化[J]. *河北渔业*, 2011, 3(4): 15-19.
- Ma J B, Lan Z J, Li Y F, *et al.* Day and night change of physical and chemical factors in freshwater polyculture ponds in summer[J]. *Hebei Fisheries*, 2011, 3(4): 15-19(in Chinese).
- [9] 朱佳杰, 林勇, 陈忠, 等. 不同温度诱导对吉富罗非鱼仔鱼生长与发育的影响[J]. *华北农学报*, 2010, 25(增. 2): 170-173.
- Zhu J J, Lin Y, Chen Z, *et al.* Effect of different temperature inducement on growth and development of the larvae genetic improvement of farmed tilapia[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2010, 25(suppl.2): 170-173(in Chinese).
- [10] 罗祖娟. 高温胁迫对吉富罗非鱼影响的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2013.
- Luo Z J. Research on the effects of heat stress on GIFT tilapia[D]. Nanning: Guangxi University, 2013(in Chinese).
- [11] Ng W K, Bduallah N, De Silva S S. The dietary protein requirement of the Malaysian mahseer, *Tor tambroides* (Bleeker), and the lack of protein-sparing action by dietary lipid[J]. *Aquaculture*, 2008, 284(1-4): 201-206.
- [12] Chou B S, Shiao S Y. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*[J]. *Aquaculture*, 1996, 143(2): 185-195.
- [13] 涂玮, 田娟, 文华, 等. 尼罗罗非鱼幼鱼饲料的适宜脂肪需要量[J]. *中国水产科学*, 2012, 19(3): 436-444.

- Tu W, Tian J, Wen H, *et al.* Optimal dietary lipid requirement of advanced juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(3): 436-444(in Chinese).
- [14] 王爱民, 韩光明, 封功能, 等. 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生产性能、营养物质消化及血液生化指标的影响[J]. 水生生物学报, 2011, 35(1): 80-87.
- Wang A M, Han G M, Feng G N, *et al.* Effects of dietary lipid levels on growth performance, nutrient digestibility and blood biochemical indices of GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2011, 35(1): 80-87(in Chinese).
- [15] 张蓉, 刘宇. 血浆脂蛋白脂酶及肝脂酶的比色测定法[J]. 华西医科大学学报, 1996, 27(1): 106-110.
- Zhang R, Liu Y. The colorimetric method for measuring activities of lipoprotein lipase and hepatic lipase in plasma[J]. Journal of West China University of Medical Sciences, 1996, 27(1): 106-110(in Chinese).
- [16] 许治冲. 不同温度下松浦镜鲤幼鱼脂肪需求量的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- Xu Z C. Study of lipid requirements of mirror carp (*Cyprinus carpio* L.) juveniles at different temperatures[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012(in Chinese).
- [17] 庞思成. 饲料中脂肪含量对罗非鱼生长的影响[J]. 饲料研究, 1994, 12(4): 10-11.
- Pang S C. Effect of dietary lipid level on the growth of tilapia[J]. Feed Research, 1994, 12(4): 10-11(in Chinese).
- [18] 石桂城, 董晓慧, 陈刚, 等. 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生长性能及其在低温应激下血清生化指标和肝脏脂肪酸组成的影响[J]. 动物营养学报, 2012, 24(11): 2154-2164.
- Shi G C, Dong X H, Chen G, *et al.* Effects of dietary lipid level on growth performance of genetic improvement of farmed tilapia (GIFT, *Oreochromis niloticus*) and its serum biochemical indices and fatty acid composition under cold stress[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2012, 24(11): 2154-2164(in Chinese).
- [19] 蒋明, 武文一, 文华, 等. 吉富罗非鱼对饲料中苯丙氨酸的需要量[J]. 中国水产科学, 2016, 23(5): 1173-1184.
- Jiang M, Wu W Y, Wen H, *et al.* Dietary phenylalanine requirement of the GIFT strain of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, reared in fresh water[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(5): 1173-1184(in Chinese).
- [20] 武文一, 蒋明, 刘伟, 等. 吉富罗非鱼对饲料精氨酸的需要量[J]. 动物营养学报, 2016, 28(5): 1412-1424.
- Wu W Y, Jiang M, Liu W, *et al.* Dietary arginine requirement of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2016, 28(5): 1412-1424(in Chinese).
- [21] 甘晖, 李坚明, 冯广鹏, 等. 饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长和血浆生化指标的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(1): 35-41.
- Gan H, Li J M, Feng G P, *et al.* Effects of different lipid levels on growth and haematological biochemistry in juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus*)[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(1): 35-41(in Chinese).
- [22] Tian J, Wu F, Yang C G, *et al.* Dietary lipid levels impact lipoprotein lipase, hormone-sensitive lipase, and fatty acid synthetase gene expression in three tissues of adult GIFT strain of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*[J]. Fish Physiology & Biochemistry, 2015, 41(1): 1-18.
- [23] Catacutan M R, Coloso R M. Growth of juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*, fed varying carbohydrate and lipid levels[J]. Aquaculture, 1997, 149(1-2): 137-144.
- [24] Gaylord T G, Gatlin A M. Gatlin A M. Dietary lipid level but not L-carnitine affects growth performance of hybrid striped bass (*Morone chrysops*×*M. saxatilis*)[J]. Aquaculture, 2000, 190(3): 237-247.
- [25] Weil C, Lefèvre F, Bugeon J. Characteristics and metabolism of different adipose tissues in fish[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2013, 23(2): 157-173.
- [26] 黎军胜, 李建林, 吴婷婷. 奥尼罗非鱼淀粉酶、脂肪酶的分布与特性[J]. 中国水产科学, 2004, 11(5): 473-477.
- Li J S, Li J L, Wu T T. Distribution and properties of amylase and lipase in alimentary tract of tilapia *Oreochromis niloticus*×*O. aureus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004, 11(5): 473-477(in Chinese).
- [27] Tian J, Wen H, Zeng L B, *et al.* Changes in the activities and mRNA expression levels of lipoprotein lipase (LPL), hormone-sensitive lipase (HSL) and fatty acid synthetase (FAS) of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during fasting and re-feeding[J]. Aquaculture, 2013, 400-401(6): 29-35.

- [28] Fu S J, Xie X J. Nutritional homeostasis in carnivorous southern catfish (*Silurus meridionalis*): is there a mechanism for increased energy expenditure during carbohydrate overfeeding?[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2004, 139(3): 359-363.
- [29] 李富伟, 蔡辉益. 肽对肉鸡生长性能的影响及其生理机理研究[J]. *动物营养学报*, 2005, 17(1): 40-44.
- Li F W, Cai H Y. The effect of peptide on growth performance of broilers and its mechanism[J]. *Chinese journal of animal nutrition*, 2005, 17(1): 40-44(in Chinese).
- [30] 唐玲, 徐奇友, 王常安, 等. 不同水温和饲料蛋白质水平对镜鲤血清生化指标的影响[J]. *大连海洋大学学报*, 2011, 26(1): 43-46.
- Tang L, Xu Q Y, Wang C A, *et al.* Effects of dietary protein levels on blood biochemical parameters in mirror common carp (*Cyprinus specularis*) at different temperatures[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2011, 26(1): 43-46(in Chinese).
- [31] 何志谦. 人类营养学: 第2版[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2000: 95-123.
- He Z Q. Human nutrition[M]. 2th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2000: 95-123(in Chinese).
- [32] 唐传核, 徐建祥, 彭志英. 脂肪酸营养与功能的最新研究[J]. *中国油脂*, 2000, 25(6): 20-23.
- Tang C H, Xu J X, Peng Z Y. Recent study on nutrition and function of fatty acids[J]. *China Oils and Fats*, 2000, 25(6): 20-23(in Chinese).
- [33] 周顺伍. 动物生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 144-145.
- Zhou S W. Animal biochemistry[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 144-145(in Chinese).
- [34] 龙章强, 彭士明, 陈立桥, 等. 饥饿与再投喂对黑鲷幼鱼体质量变化、生化组成及肝脏消化酶活性的影响[J]. *中国水产科学*, 2008, 15(4): 606-614.
- Long Z Q, Peng S M, Chen L Q, *et al.* Effects of starvation and re-feeding on body weight, tissue biochemical composition and hepatic digestive enzyme activity in juvenile black seabream, *Acanthopagrus schlegelii*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(4): 606-614(in Chinese).
- [35] Mori A S. Characteristics of serum lipoprotein features associated with lipid levels of muscle and liver from five species of fish[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1993, 59(9): 1565-1571.
- [36] 王爱民, 吕富, 杨文平, 等. 饲料脂肪水平对异育银鲫生长性能、体脂沉积、肌肉成分及消化酶活性的影响[J]. *动物营养学报*, 2010, 22(3): 625-633.
- Wang A M, Lü F, Yang W P, *et al.* Effects of dietary lipid levels on growth performance, body fat deposition, muscle composition and activities of digestive enzymes of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2010, 22(3): 625-633(in Chinese).
- [37] 曾本和, 廖增艳, 吴双, 等. 饲料脂肪水平对大鳞副泥鳅幼鱼生长性能、消化酶活性及抗氧化能力的影响[J]. *动物营养学报*, 2016, 28(4): 1105-1113.
- Zeng B H, Liao Z Y, Wu S, *et al.* Effects of dietary lipid level on growth performance, digestive enzyme activities and antioxidant ability of juvenile *Paramisgurnus dabryanus*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(4): 1105-1113(in Chinese).
- [38] 李芹, 刁晓明. 不同饵料对瓦氏黄颡鱼稚鱼生长和消化酶活性的影响[J]. *水生态学杂志*, 2009, 2(1): 98-102.
- Li Q, Diao X M. Growth and digestive enzyme activities of *Pelteobagrus vachelli* juvenile fed on different diets[J]. *Journal of Hydroecology*, 2009, 2(1): 98-102(in Chinese).
- [39] 宋理平, 韩勃, 冒树泉, 等. 脂肪水平对厚唇弱棘鲷生长及肠道脂肪酶活性的影响[J]. *广东海洋大学学报*, 2010, 30(1): 13-17.
- Song L P, Han B, Mao S Q, *et al.* Effects of dietary lipid levels on growth and lipase activities of sooty grunter, *Hephaestus fuliginosus*[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2010, 30(1): 13-17(in Chinese).
- [40] Wong H, Schotz M C. The lipase gene family[J]. *The Journal of Lipid Research*, 2002, 43(7): 993-999.
- [41] 朱瑞俊, 李小勤, 谢骏, 等. 饲料中添加氯化胆碱对草鱼成鱼生长、脂肪沉积和脂肪代谢酶活性的影响[J]. *中国水产科学*, 2010, 17(3): 527-535.
- Zhu R J, Li X Q, Xie J, *et al.* Effects of dietary supplemental choline chloride on growth performance and lipid deposition and activities of lipid metabolism enzymes of grass carp, *Ctenopharyngodon idella*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(3): 527-535(in Chinese).

- [42] 宋理平, 冒树泉, 马国红, 等. 饲料脂肪水平对许氏平
鲷脂肪沉积、血液生化指标及脂肪代谢酶活性的影
响[J]. 水产学报, 2014, 38(11): 1879-1888.
Song L P, Mao S Q, Ma G H, *et al.* Effects of dietary
lipid level on lipid deposition, blood biochemistry indic-
es and lipid metabolic enzyme activities of *Sebastes*
schlegelii[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(11):
1879-1888(in Chinese).

Optimal dietary lipid requirement of advanced GIFT *Oreochromis niloticus* reared at 34 °C water temperature

ZHOU Mengxin^{1,2}, TIAN Juan², WEN Hua^{2*}, LU Xing²,
JIANG Ming², WU Fan², LIU Wei², YU Lijuan²

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs,
Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China)

Abstract: The objective of this study was to assess the optimal dietary lipid requirement of advanced genetically improved farmed tilapia (GIFT *Oreochromis niloticus*), reared at 34 °C water temperature. In present study, 360 fish with average initial body weight of (50.88±1.57) g were randomly divided into 6 groups with 3 replicates of 20 fish in each replicate. Fish in each group were hand-fed a purified diets containing different lipid levels [0.22% (control group), 2.83%, 4.98%, 7.45%, 9.23% and 12.47%] reared at 34 °C water temperature for 56 days. At the end of feeding trial, growth performance, body composition, serum biochemical indexes and the activities of lipid metabolism enzyme in liver were measured. The results showed as follows: with the increase of lipid levels, weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR), protein efficiency rate (PER) and protein retention rate (PRR) of GIFT *O. niloticus* were increased at first and then decreased, but feed conversion ratio (FCR) and the feeding intake rate (FIR) presented the opposite trend. The highest hepatosomatic index (HSI) was in 12.47% diet group, the other groups were not significantly different in HSI. During the feeding trial, no fish died. Increasing dietary lipid levels contributed to increased whole body and muscle lipid levels. With dietary lipids levels increased (i.e., from 2.83% to 9.23%), liver crude lipid concentrations were significantly lower than that in the control group. Serum triacylglycerol (TG) and total cholesterol (TCHO) levels tended to increase first then decrease with increasing dietary lipids level. Meanwhile, lipoprotein lipase (LPL) and hepatic lipase activities increased as the level of lipid increased, and were highest in 12.47% diet group; hepatic lipase (HL) activities tended to first increase and then to decrease as the level of dietary lipid increased, and was highest in 2.83% diet group. Regression analysis showed the optimum dietary lipid level for maximum WGR and PER was 4.92% and 5.67%, respectively, and for the lowest FCR was 6.49% when GIFT reared at 34 °C water temperature.

Key words: GIFT *Oreochromis niloticus*; 34 °C water temperature; lipid; requirement

Corresponding author: WEN Hua. E-mail: wenhua.hb@163.com

Funding projects: Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund CAFS (2018HY-ZD0504); China Agriculture Research System (CARS-46)