

文章编号: 1674-5566(2023)06-1205-11

DOI: 10.12024/jsou.20220903971

中成鱼阶段线鳢对饲料蛋白和脂肪的最适需求量

李彦先^{1,2,3}, 王晓东⁴, 胡海滨^{1,5}, 张健⁵, 梅逸强⁵, 潘雷雷⁵, 姜瑞丽⁵,
宋涛⁵, 负彪¹, 庄界成³, 解绶启², 钱雪桥^{1,6}

(1. 广东海大集团股份有限公司 畜牧水产研究中心, 广东 广州 511400; 2. 中国科学院水生生物研究所 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430072; 3. 广东海大集团股份有限公司昇龙生物科技有限公司, 越南 隆安 850000; 4. 烟台海关技术中心, 山东 烟台 264000; 5. 广东海因特生物技术集团有限公司, 广东 广州 511400; 6. 农业农村部微生物生态资源养殖利用重点实验室, 广东 广州 511400)

摘要: 线鳢(*Channa striata*)是东南亚广泛养殖的一种高经济价值淡水肉食性鱼类,但中成鱼阶段(体质量>100 g)线鳢的基础营养需求研究尚处于空白阶段。本研究首先通过添加不同水平鱼粉,设计6组等脂的蛋白梯度实验饲料,探索中成鱼阶段线鳢(初始体质量约150 g)的最适蛋白需求量。养殖实验持续8周,每日两餐饱食投喂。结果显示,当饲料脂肪含量为15%时,随着饲料蛋白含量从36%升高到51%,线鳢的生长性能和饲料效率先升高后趋稳定,而蛋白沉积率则先升高后降低。回归模型拟合增重率和蛋白沉积率,获得中成鱼阶段线鳢对饲料蛋白的最适需求量分别为41.5%和42.3%。在获得最适蛋白需求的基础上,通过添加不同水平的大豆磷脂油,设计6组等氮的脂肪梯度实验饲料,研究中成鱼阶段线鳢(初始体质量约150 g)对饲料中脂肪的最适需求量。养殖实验持续8周,每日两餐饱食投喂。结果显示,当饲料蛋白含量为42%时,随着饲料脂肪从9%升高到19%,线鳢的生长性能和饲料效率先升高后趋稳定,而脂肪沉积率则先升高后降低。回归模型拟合增重率和蛋白沉积率,获得中成鱼阶段线鳢对饲料脂肪的最适需求量分别为15.2%和15.3%。综上,中成鱼阶段线鳢对饲料蛋白和脂肪的最适需求量分别为41.5%~42.3%和15.2%~15.3%。

关键词: 线鳢; 中成鱼阶段; 蛋白需求量; 脂肪需求量

中图分类号: S 965.199 **文献标志码:** A

全球人口持续增长,在2050年预计将达到97亿^[1]。为保障粮食安全,全球粮食产量需要在现有基础上增产25%~70%^[2]。水产养殖自20世纪80年代开始迅猛发展,目前已成为全球增长最快的食品生产板块之一,在全球食品供应链中发挥着重要作用^[3-4]。鱼类具有高蛋白、低脂肪、易消化等特点,是日常膳食中高不饱和脂肪酸和微量营养素如维生素E、硒、锌等的重要来源^[5]。据估算,全球食用鱼消费量在2019—2030年将以1.4%的年均增长率增加,在2030年达到2800万t^[3]。

线鳢(*Channa striata*)是一种凶猛的淡水肉食性鱼类,在亚洲和非洲国家广泛养殖,具有很高的经济价值^[6]。该鱼肉质细嫩鲜美,肌间刺少,具

有药用价值^[7],因此广受消费市场的欢迎。线鳢具有鳃上器官,可呼吸空气,具有耐低氧的特点;此外,线鳢对水体氨氮的耐受度也很高,因此该鱼以池塘和网箱养殖的方式在世界范围内蓬勃发展^[8]。目前,线鳢对饲料中蛋白和脂肪的需求研究主要集中在仔稚鱼^[9-13]和幼鱼^[14]阶段,中成鱼阶段(体质量>100 g)的研究尚处于空白期。一般而言,鱼类不同生长阶段对蛋白、脂肪的需求不同,而中成鱼阶段是配合饲料使用的主要阶段。因此,中成鱼阶段线鳢对饲料蛋白、脂肪需求的研究亟待展开。

为了确立中成鱼阶段线鳢对饲料蛋白和脂肪的最适需求量,本研究根据线鳢仔稚鱼^[9-13]和

收稿日期: 2022-09-05 修回日期: 2022-12-01

基金项目: 广州开发区国际科技合作项目(2021GH15)

作者简介: 李彦先(1989—),男,博士,研究方向为营养生理学。E-mail: liyx119@haid.com.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

幼鱼^[14]已有的研究成果以及越南线鳢商业饲料的营养设计水平,首先配置蛋白梯度实验饲料,饱食投喂线鳢,开展最适蛋白需求研究;在获得最适蛋白需求量的基础上,再通过配置脂肪梯度实验饲料,开展最适脂肪需求研究。本文的研究结果,完善了线鳢营养需求数据,推动了商业配方的设计优化。

1 材料与方

1.1 配方设计与饲料制作

蛋白需求实验:在以鱼粉、鸡肉粉、豆粕为蛋白源,以海水鱼油和大豆磷脂油为脂肪源,以面粉为淀粉源的基础饲料中,添加不同水平的鱼粉,设计6组等脂的蛋白梯度实验饲料,并分别命名为P36、P39、P42、P45、P48和P51(表1)。

脂肪需求实验:在以鱼粉、鸡肉粉、豆粕为

蛋白源,以海水鱼油和大豆磷脂油为脂肪源,以面粉为淀粉源的基础饲料中,添加不同水平的大豆磷脂油,设计6组等氮的脂肪梯度实验饲料,并分别命名为L09、L11、L13、L15、L17和L19(表2)。

所有原料经超微粉碎之后过80目筛。按照实验配方表,除鱼油和大豆卵磷脂之外,其他原料按逐级放大原则,在混合机中混合均匀。然后将大豆卵磷脂溶解到鱼油中,经加热后喷涂到混合机中与物料混合均匀。最后向混合均匀的物料中加入蒸馏水,搅拌混合形成饲料面团,将面团置于牧羊双螺杆挤压机(MY56×2A)制成浮性膨化饲料。经膨化后的饲料颗粒,放置在热风烘干机中,在50℃恒温下干燥8h。风干后的饲料置于双层塑料袋中,保存在-20℃冰箱中备用。

表1 蛋白需求实验饲料配方及营养水平(干物质基础)

Tab. 1 Formulation and proximate composition of the experimental diets for estimating the protein requirement (dry matter basis)

原料 Ingredients	实验饲料 Diet						%
	P36	P39	P42	P45	P48	P51	
秘鲁鱼粉 Peruvian fish meal ^a	16.0	20.5	25.0	29.5	34.0	38.5	
65海水鱼粉 Fish meal 65 ^a	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	
鸡肉粉 Poultry meal ^a	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	
豆粕 Soybean meal ^a	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
面粉 Wheat flour	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	
微晶纤维素 Microcrystalline cellulose	21.8	17.7	13.5	9.4	5.3	1.1	
海水鱼油 Fish oil	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
大豆磷脂油 Soy lecithin	6.7	6.3	6.0	5.6	5.2	4.9	
预混料 Premix ^b	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
饲料成分							
粗蛋白 Crude protein	36.1	39.1	42.0	44.9	47.9	51.0	
粗脂肪 Crude lipid	15.1	15.0	14.9	14.9	15.0	15.0	
灰分 Ash	8.8	9.5	10.4	11.3	12.1	12.7	

注:^a秘鲁鱼粉:粗蛋白68.3%,粗脂肪8.6%;65海水鱼粉:粗蛋白66.1%,粗脂肪7.4%;鸡肉粉:粗蛋白68.6%,粗脂肪14.5%;豆粕:粗蛋白46.5%,粗脂肪1.8%;^b预混料包括矿物质和维生素预混料,矿物质预混料(mg/kg饲料):硫酸镁,1200;硫酸铜,10;硫酸铁,80;硫酸锌,50;硫酸锰,45;氯化钴(1%),50;碘酸钙(1%),60;亚硒酸钠(1%),20;沸石粉,3485;维生素预混料(mg/kg饲料):维生素B₁,25;核黄素(80%),45;维生素B₆(盐酸吡哆醇),20;维生素B₁₂,10;维生素K₃,10;肌醇,800;维生素B₃(泛酸),60;烟酸,200;叶酸,20;生物素(2%),60;维生素A,32;维生素D₃,5;维生素E,240;乙氧基喹啉,3;维生素C,2000;微晶纤维素,1470。

Notes: ^aPeruvian fishmeal: crude protein 68.3%, crude lipid 8.6%; fishmeal 65: crude protein 66.1%, crude lipid 7.4%; poultry meal: crude protein 68.6%, crude lipid 14.5%; soybean meal: crude protein 46.5%, crude lipid 1.8%; ^bPremix consists of mineral and vitamin premix, Mineral premix (mg/kg diet): MgSO₄·7H₂O, 1200; CuSO₄·5H₂O, 10; FeSO₄·H₂O, 80; ZnSO₄·H₂O, 50; MnSO₄·H₂O, 45; CoCl₂·6H₂O (1%), 50; Ca(IO₃)₂ (1%), 60; Na₂SeO₃ (1%), 20; Zeolite, 3485; Vitamin premix (mg/kg diet): thiamin, 25; riboflavin (80%), 45; pyridoxine HCl, 20; vitamin B₁₂, 10; vitamin K₃, 10; inositol, 800; pantothenic acid, 60; niacin acid, 200; folic acid, 20; biotin (2%), 60; retinyl acetate, 32; cholecalciferol, 5; α-tocopherol, 240; ethoxyquin, 3; ascorbic acid, 2000; microcrystalline cellulose, 1470.

表2 脂肪需求实验饲料配方及营养水平(干物质基础)
 Tab. 2 Formulation and proximate composition of the experimental diets for estimating the lipid requirement (dry matter basis)

原料 Ingredients	实验饲料 Diet						%
	L09	L11	L13	L15	L17	L19	
秘鲁鱼粉 Peruvian fish meal ^a	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	
65海水鱼粉 Fish meal 65 ^a	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	
鸡肉粉 Poultry meal ^a	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	
豆粕 Soybean meal ^a	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
面粉 Wheat flour	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	
微晶纤维 Microcrystalline cellulose	19.5	17.5	15.5	13.5	11.5	9.5	
海水鱼油 Fish oil	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
大豆磷脂油 Soy lecithin	0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	
预混料 Premix ^b	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
饲料成分							
粗蛋白 Crude protein	42.1	42.0	41.9	41.9	42.0	42.1	
粗脂肪 Crude lipid	8.9	11.1	13.2	15.0	16.9	19.0	
灰分 Ash	10.4	10.3	10.5	10.1	10.4	9.9	

注:^a秘鲁鱼粉:粗蛋白68.3%,粗脂肪8.6%;65海水鱼粉:粗蛋白66.1%,粗脂肪7.4%;鸡肉粉:粗蛋白68.6%,粗脂肪14.5%;豆粕:粗蛋白46.5%,粗脂肪1.8%;^b预混料包括矿物质和维生素预混料,矿物质预混料(mg/kg 饲料):硫酸镁,1 200;硫酸铜,10;硫酸铁,80;硫酸锌,50;硫酸锰,45;氯化钴(1%),50;碘酸钙(1%),60;亚硒酸钠(1%),20;沸石粉,3 485;维生素预混料(mg/kg 饲料):维生素B₁,25;核黄素(80%),45;维生素B₆(盐酸吡哆醇),20;维生素B₁₂,10;维生素K₃,10;肌醇,800;维生素B₃(泛酸),60;烟酸,200;叶酸,20;生物素(2%),60;维生素A,32;维生素D₃,5;维生素E,240;乙氧基喹啉,3;维生素C,2 000;微晶纤维素,1 470。

Notes: ^aPeruvian fishmeal: crude protein 68.3%, crude lipid 8.6%; fishmeal 65: crude protein 66.1%, crude lipid 7.4%; poultry meal: crude protein 68.6%, crude lipid 14.5%; soybean meal: crude protein 46.5%, crude lipid 1.8%; ^bPremix consists of mineral and vitamin premix, Mineral premix (mg/kg diet): MgSO₄·7H₂O, 1 200; CuSO₄·5H₂O, 10; FeSO₄·H₂O, 80; ZnSO₄·H₂O, 50; MnSO₄·H₂O, 45; CoCl₂·6H₂O (1%), 50; Ca(IO₃)₂ (1%), 60; Na₂SeO₃ (1%), 20; Zeolite, 3 485; Vitamin premix (mg/kg diet): thiamin, 25; riboflavin (80%), 45; pyridoxine HCl, 20; vitamin B₁₂, 10; vitamin K₃, 10; inositol, 800; pantothenic acid, 60; niacin acid, 200; folic acid, 20; biotin (2%), 60; retinyl acetate, 32; cholecalciferol, 5; α-tocopherol, 240; ethoxyquin, 3; ascorbic acid, 2 000; microcrystalline cellulose, 1 470.

1.2 养殖实验

养殖实验在越南朔莊研发基地进行。实验鱼苗购自附近育苗场,来自于同一对亲本。实验开始之前,用商业饲料(越南升龙 L06;标签营养指标:粗蛋白42%,粗脂肪11%)暂养实验鱼2周,使实验鱼适应养殖环境。蛋白和脂肪需求研究的每个养殖实验正式开始之前,将实验鱼禁食24 h。每个实验,各自从暂养网箱中随机挑选1 920尾大小匀称、体格健壮实验鱼[蛋白需求研究初始平均体质量为(149.30±0.68)g;脂肪需求研究初始平均体质量为(149.80±0.46)g],并随机分配于两个实验各自的养殖网箱(长×宽×深=2 m×2 m×2 m),每个网箱实验鱼数目为80尾。两个实验分别将实验网箱随机分组,并分别投喂两个实验的6种不同实验饲料,每个处理4个重复。

养殖实验持续8周。每天分别在08:00和17:00进行投喂,达到表观饱食后,捞取残饵并称重。每天统计每个网箱的摄食量、残饵量、死鱼数目和质量、水温等。养殖期间保持水温28~

34 °C,盐度20~25,溶氧>7 mg/L,pH 7.5~8.0,氨氮<0.4 mg/L,亚硝酸盐<0.1 mg/L。

1.3 样品采集

实验结束前,实验鱼禁食24 h。取样前,用丁香酚(99%纯度,国药集团上海化学试剂有限公司,质量体积比为1:10 000)麻醉实验鱼,对每个网箱中的鱼进行计数、称重,计算生长数据。随后,每个网箱随机抽取3尾鱼,-20 °C保存,用于体组成分析。每个网箱另取3尾鱼,分别测量其体质量、体长,用以计算肥满度,然后在冰上解剖,取出内脏团和肝脏并称量,分别计算脏体比和肝体比。

1.4 常规成分分析

鱼体和饲料常规成分分析均采用AOAC法^[15]。其中,水分采用恒重法测定(105 °C烘干,72 h);粗蛋白采用凯氏定氮法测定(FOSS公司2300型蛋白自动分析仪,瑞典);粗脂肪,应用酸水解和索氏抽提法测定(采用BUCHI公司36680型脂肪抽提仪,瑞士);灰分,采用灼烧法测定(箱式电阻炉550 °C,16 h)。

1.5 计算公式

$$S_R = 100\% \times A_f / A_i \quad (1)$$

$$W_{GR} = 100\% \times (w_f - w_i) / \bar{w}_i \quad (2)$$

$$S_{GR} = 100\% \times (\ln \bar{w}_f - \ln \bar{w}_i) / t \quad (3)$$

$$F_{CR} = D_a / (W_f - W_i) \quad (4)$$

$$F_1 = 100 \times D_a / [(W_i + W_f) / 2] / t \quad (5)$$

$$P_R = 100\% \times (W_f \times P_f - W_i \times P_i) / [D_a \times P_d] \quad (6)$$

$$L_R = 100\% \times (W_f \times L_f - W_i \times L_i) / [D_a \times L_d] \quad (7)$$

式中: S_R 为存活率, %; W_{GR} 为增重率, %; S_{GR} 为特定生长率, %/d; F_{CR} 为饲料系数; F_1 为摄食率, %/d; P_R 为蛋白沉积率, %; L_R 为脂肪沉积率, %; A_i 和 A_f 分别是初始和终末的鱼体数量; \bar{w}_i 和 \bar{w}_f 分别是初始和终末的平均鱼体质量, g; W_i 和 W_f 分别是初始和终末的鱼体总质量, g; t 是养殖天数; D_a 是总摄入饲料量, g(干物质); P_i 、 P_f 和 P_d 分别是初始鱼体(%)、终末鱼体(%)和饲料(%, 干物质)的蛋白含量; L_i 、 L_f 和 L_d 分别是初始鱼体(%)、终末鱼体(%)和饲料(%, 干物质)的脂肪含量。

$$C_F = 100 \times W_b / L_b^3 \quad (8)$$

$$H_{SI} = 100\% \times W_l / W_b \quad (9)$$

$$V_{SI} = 100\% \times W_v / W_b \quad (10)$$

式中: C_F 为肥满度, g/cm³; H_{SI} 为肝体比, %; V_{SI} 为脏体比, %; W_b 为鱼体质量, g; W_l 和 W_v 分别为肝脏和内脏团质量, g; L_b 为鱼体长, cm。

1.6 数据分析

所有数据采用 R 语言进行统计分析和作图。组间差异比较, 使用 lm 函数进行一般线性回归分析。当模型 P 小于 0.05 时, 则采用软件包 multcomp 的 cld 函数进行 Tukey's 多重两两比较。

当两两比较的 P 小于 0.05 时, 则组间差异视为显著。线性回归的模型假设通过残差分析(Residual analysis)进行检验, 即: 线性关系(Linearity)、正态性(Normality)和方差齐性(Homogeneity of variance)。基于增重率 W_{GR} 的最适蛋白和脂肪需求量分析, 则采用软件包 easyreg 的 regplot 函数进行折线模型(Linear plateau model)拟合分析。

2 结果

2.1 蛋白需求研究

2.1.1 生长性能

饲料中不同蛋白水平对线鳢存活率没有显著影响($P > 0.05$), 见表 3。随着饲料中蛋白水平的升高, 终末体质量、增重率和特定生长率先升高后平稳, 其中 P42、P45、P48 和 P51 处理组的生长性能均显著优于 P36 和 P39 处理组($P < 0.05$)。当饲料中蛋白水平为 36%~39% 时, 摄食率无显著差异并稳定在 2.3%/d 左右($P > 0.05$); 随着蛋白水平继续升高, 达到 42%~51% 时, 摄食率出现显著性降低($P < 0.05$)并维持在 2.2%/d 左右。饲料系数随着饲料中蛋白水平的升高先降低后稳定, 其中 P42、P45、P48 和 P51 处理组的饲料系数均显著低于 P36 和 P39 处理组($P < 0.05$)。蛋白沉积率随着饲料中蛋白水平的升高, 先升高后降低, 其中 P42 处理组的蛋白沉积率值最高并显著高于其余处理组($P < 0.05$)。脂肪沉积率随着饲料中蛋白水平的升高先升高后平稳, 其中 P42、P45、P48 和 P51 处理组的脂肪沉积率值显著高于 P36 和 P39 处理组($P < 0.05$)。

表 3 饲料中不同蛋白水平对线鳢存活、生长性能和饲料利用的影响

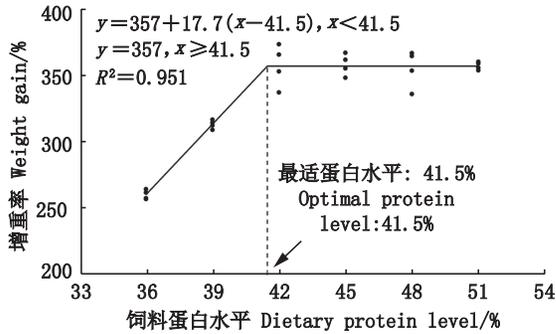
Tab. 3 Effects of graded levels of dietary protein on the survival, growth performance and feed utilization of snakehead

项目 Items	实验饲料 Diet						合并标准误 Pooled SE
	P36	P39	P42	P45	P48	P51	
存活率 Survival rate/%	99.7	100.0	99.7	99.4	100.0	98.8	0.38
初始体质量 Initial mean body mass/g	149.7	148.8	149.1	148.9	149.6	149.4	1.86
终末体质量 Final mean body mass/g	389.3 ^a	465.8 ^b	532 ^c	532.8 ^c	530.8 ^c	533.3 ^c	3.67
增重率 Weight gain/%	260.0 ^a	313.0 ^b	357.2 ^c	357.9 ^c	355.1 ^c	357.0 ^c	4.78
摄食率 Feed intake/(%/d)	2.3 ^b	2.3 ^b	2.2 ^a	2.2 ^{ab}	2.2 ^{ab}	2.2 ^{ab}	0.02
饲料系数 Feed conversion ratio	1.5 ^c	1.3 ^b	1.1 ^a	1.1 ^a	1.1 ^a	1.1 ^a	0.02
特定生长率 Specific growth rate/(%/d)	1.7 ^a	2.0 ^b	2.3 ^c	2.3 ^c	2.3 ^c	2.3 ^c	0.02
蛋白沉积率 Protein retention/%	35.7 ^b	38.3 ^c	41.4 ^d	38.0 ^c	34.9 ^{ab}	33.3 ^a	0.50
脂肪沉积率 Lipid retention/%	40.8 ^a	45.4 ^b	52.6 ^c	51.0 ^c	51.6 ^c	52.6 ^c	0.72

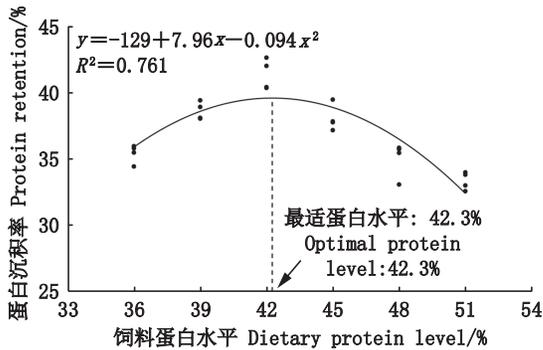
注: 同一行中具有不同上标字母的数值间具有显著性差异($P < 0.05$)。

Notes: Values in the same row with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

折线回归模型拟合生长性能(图1),根据增重率和蛋白沉积率计算可知,线鳢对饲料中蛋白的最适需求量分别为41.5%和42.3%。



(a) 饲料中蛋白水平与线鳢增重率的回归分析
Regression analysis between dietary protein level and weight gain of snakehead



(b) 饲料中蛋白水平与线鳢蛋白沉积率的回归分析
Regression analysis between dietary protein level and protein retention of snakehead

图1 饲料中蛋白水平与线鳢增重率(a)/蛋白沉积率(b)关系拟合分析

Fig. 1 Relationship between dietary protein level and weight gain (a)/protein retention (b) of snakehead fed the experimental diets

2.1.2 体组成数据

饲料中不同蛋白水平对线鳢的体组成,包括水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分,均无显著性影响(P>0.05),见表4。

2.1.3 形体指标

饲料中不同蛋白水平对线鳢的形体指标,包括肥满度、脏体比和肝体比等,均无显著性影响(P>0.05),见表5。

2.2 脂肪需求研究

2.2.1 生长性能

饲料中不同脂肪水平对线鳢存活率没有显著影响(P>0.05),见表6。随着饲料中脂肪水平的升高,终末体质量、增重率和特定生长率先升高后稳定,其中L15、L17和L19处理组的生长性能均显著优于L09、L11和L13处理组(P<0.05)。当饲料中脂肪水平为9%~13%时,摄食率无显著差异,并稳定在2.5%/d左右(P>0.05);随着饲料脂肪水平继续升高,达到15%~19%时,摄食率出现显著性降低(P<0.05)并稳定在2.2%/d左右。饲料系数随着饲料中脂肪水平的升高,先降低后稳定,其中L15、L17和L19处理组的饲料系数均显著低于L09、L11和L13处理组(P<0.05)。蛋白沉积率随着饲料中脂肪水平的升高,先升高后稳定,其中L15、L17和L19处理组的蛋白沉积率均显著高于L09、L11和L13处理组(P<0.05)。脂肪沉积率随着饲料中脂肪水平的升高,先升高后降低,其中L15处理组的脂肪沉积率值最高并显著高于L09、L11、L13和L19处理组(P<0.05)。

表4 饲料中不同蛋白水平对线鳢体组成的影响

Tab. 4 Effects of graded levels of dietary protein on the whole-body proximate composition of snakehead

项目 Items	实验饲料 Diet						合并标准误 Pooled SE
	P36	P39	P42	P45	P48	P51	
水分 Moisture/%	68.1	68.1	67.4	67.4	68.0	68.2	0.28
粗蛋白 Crude protein/%	19.0	19.0	19.0	19.0	18.8	19.0	0.07
粗脂肪 Crude lipid/%	8.0	8.0	8.0	7.9	8.0	8.1	0.07
灰分 Ash/%	4.4	4.4	4.5	4.2	4.4	4.4	0.11

表5 饲料中不同蛋白水平对线鳢形体指标的影响

Tab. 5 Effects of graded levels of dietary protein on the body indices of snakehead

项目 Items	实验饲料 Diet						合并标准误 Pooled SE
	P36	P39	P42	P45	P48	P51	
肥满度 Condition factor/(g/cm ³)	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.8	0.07
脏体比 Viscerosomatic index/%	7.5	7.9	7.6	7.8	7.6	7.9	0.18
肝体比 Hepatosomatic index/%	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.1	0.03

表6 饲料中不同脂肪水平对线鳢存活、生长性能和饲料利用的影响

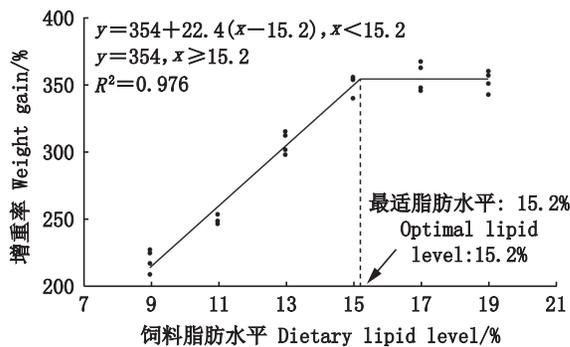
Tab. 6 Effects of graded levels of dietary lipid on the survival, growth performance and feed utilization of snakehead

项目 Items	实验饲料 Diet						合并标准误 Pooled SE
	L09	L11	L13	L15	L17	L19	
存活率 Survival rate/%	99.4	99.1	99.7	100.0	100.0	99.4	0.45
初始体质量 Initial mean body weight/g	147.9	149.1	149.9	151.3	149.7	150.8	1.09
终末体质量 Final mean body weight/g	325.0 ^a	372.0 ^b	459.8 ^c	530.0 ^d	531.8 ^d	531.3 ^d	4.45
增重率 Weight gain/%	219.9 ^a	249.5 ^b	306.6 ^c	350.4 ^d	355.4 ^d	352.3 ^d	3.93
摄食率 Feed intake/(%/d)	2.5 ^b	2.5 ^b	2.5 ^b	2.2 ^a	2.2 ^a	2.2 ^a	0.03
饲料系数 Feed conversion ratio	1.9 ^d	1.6 ^c	1.4 ^b	1.1 ^a	1.1 ^a	1.1 ^a	0.03
特定生长率 Specific growth rate/(%/d)	1.4 ^a	1.6 ^b	2.0 ^c	2.2 ^d	2.3 ^d	2.2 ^d	0.02
蛋白沉积率 Protein retention/%	24.0 ^a	27.5 ^b	33.4 ^c	40.1 ^d	40.9 ^d	39.6 ^d	0.56
脂肪沉积率 Lipid retention/%	40.1 ^a	42.9 ^{ab}	43.4 ^b	52.0 ^c	49.7 ^c	45.9 ^b	0.69

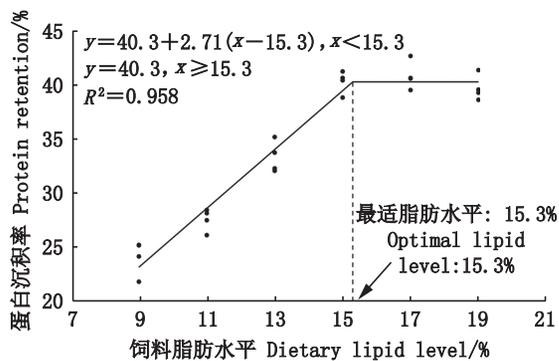
注:同一行中具有不同上标字母的数值间具有显著性差异($P<0.05$)。

Notes: Values in the same row with different letters are significantly different ($P<0.05$).

折线回归模型拟合生长性能(图2),根据增重率和蛋白沉积率计算可知,线鳢对饲料中脂肪的最适需求量分别为15.2%和15.3%。



(a) 饲料中脂肪水平与线鳢增重率的回归分析
Regression analysis between dietary lipid level and weight gain of snakehead



(b) 饲料中脂肪水平与线鳢蛋白沉积率的回归分析
Regression analysis between dietary lipid level and protein retention of snakehead

图2 饲料中脂肪水平与线鳢增重率(a)/蛋白沉积率(b)关系拟合分析

Fig. 2 Relationship between dietary lipid level and weight gain (a) / protein retention (b) of snakehead fed the experimental diets

2.2.2 体组成

随着饲料中脂肪水平的升高,鱼体粗脂肪含量逐渐显著升高,而鱼体水分含量逐渐显著下降($P<0.05$),见表7。饲料中不同的脂肪水平,对鱼体粗蛋白和灰分含量没有显著性影响($P>0.05$)。

2.2.3 形体指标

当饲料中脂肪水平为9%~17%时,线鳢的肥满度无显著差异并稳定在1.7左右($P>0.05$);随着饲料脂肪水平继续升高达到19%时,肥满度显著性升高达到2.1左右($P<0.05$)(表8)。随着饲料中脂肪水平的升高,脏体比和肝体比逐渐升高($P<0.05$)。

3 讨论

本实验通过研究初始体质量为150g的线鳢对饲料中蛋白和脂肪的最适需求量,填补了中成鱼阶段线鳢基础营养需求研究空白,为商业配方设计与优化提供参考数据。实验结果显示,当饲料中粗脂肪为15%时,中成阶段线鳢对饲料中蛋白的最适需求量为41.5%~42.3%。这低于早期研究报道的线鳢仔稚鱼^[10, 13]和幼鱼^[14]饲料蛋白适宜添加量:(45%~55%)。MOHANTY等^[13]以鱼粉为蛋白源,通过折线模型拟合生长曲线,发现当饲料粗脂肪为12%、总能为18.2 MJ/kg时,仔鱼阶段线鳢(初始体质量为0.55g)对蛋白的最适需求量为55%。ALIYU-PAIKO等^[10]以鱼粉和酪蛋白为蛋白源,采用正交试验设计(脂肪:6.5%,9.0%,11.5%;蛋白:35%,40%,45%),发现当饲料粗脂肪为6.5%、总能为18.5 MJ/kg、蛋白为45%时,稚

鱼阶段线鳢(初始体质量为 3.3 g)的生长性能最佳。HUA 等^[14]以鱼粉、鸡肉粉、血球蛋白粉、羽毛粉、谷朊粉和豆粕为蛋白源,通过折线模型拟合生长曲线,发现当饲料粗脂肪为 11%、总能为 21.1 MJ/kg 时,幼鱼阶段线鳢(初始体质量为 31.3 g)对蛋白的最适需求量为 51.6%。以上不同的实验结果可能是由于实验鱼发育阶段和基础饲料配方的差异造成。一般认为,蛋白需求随着鱼类生长而下降^[16]。本实验的研究对象中成鱼阶段线鳢蛋白需求可能低于前期报道的仔稚鱼和幼鱼阶段线鳢蛋白需求。此外,鱼类的最适蛋白需求量又受到饲料的蛋白源^[17]和能量水平(蛋能比)^[18]影响。本实验所用的基础饲料,其脂肪水平明显高于前期实验,较高的饲料能量水平可

能导致了较低的最适蛋白需求量。本研究获得的中成鱼阶段线鳢最适蛋白需求量要低于其他鳢科鱼类,包括翠鳢(*Channa punctatus*;蛋白源:酪蛋白、明胶;初始体质量:4.6 g,最适需求:45%)^[19]、乌鳢(*Channa argus*;蛋白源:鱼粉、鸡肉粉、血粉、谷朊粉、豆粕、花生粕;初始体质量:15.8 g;最适需求:48%)^[20]、杂交鳢(*Channa maculata* ♀ × *Channa argus* ♂;蛋白源:鱼粉、豆粕;初始体质量,27.8 g;最适需求:47.9%)^[21]、小盾鳢(*Channa micropeltes*;蛋白源:鱼粉;初始体质量:139.6 g;最适需求:52%)^[22]和暗副鳢(*Parachanna obscura*;蛋白源:鱼粉、酪蛋白;初始体质量:0.1 g,最适需求:55%;初始体质量:4.1 g,最适需求:50%)^[23]。

表 7 饲料中不同脂肪水平对线鳢体组成的影响

Tab. 7 Effects of graded levels of dietary lipid on the whole-body proximate composition of snakehead

项目 Items	实验饲料 Diet						合并标准误 Pooled SE
	L09	L11	L13	L15	L17	L19	
水分 Moisture/%	69.4 ^c	68.9 ^{de}	68.4 ^{cd}	68.2 ^{bc}	67.6 ^{ab}	67.3 ^a	0.15
粗蛋白 Crude protein/%	19.1	19.0	19.1	18.8	19.2	18.9	0.08
粗脂肪 Crude lipid/%	6.6 ^a	7.1 ^b	7.4 ^b	8.0 ^c	8.5 ^d	8.9 ^d	0.08
灰分 Ash/%	4.6	4.5	4.4	4.4	4.6	4.5	0.10

注:同一行中具有不同上标字母的数值间具有显著性差异($P < 0.05$)。

Notes: Values in the same row with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

表 8 饲料中不同脂肪水平对线鳢形体指标的影响

Tab. 8 Effects of graded levels of dietary lipid on the body indices of snakehead

项目 Items	实验饲料 Diet						合并标准误 Pooled SE
	L09	L11	L13	L15	L17	L19	
肥满度 Condition factor/(g/cm ³)	1.6 ^a	1.6 ^a	1.8 ^{ab}	1.7 ^a	1.8 ^{ab}	2.1 ^b	0.08
脏体比 Viscerosomatic index/%	6.4 ^a	6.6 ^{ab}	7.2 ^{bc}	7.3 ^c	8.0 ^d	8.7 ^d	0.15
肝体比 Hepatosomatic index/%	2.0 ^a	2.1 ^{ab}	2.1 ^{bc}	2.2 ^{cd}	2.3 ^{de}	2.4 ^c	0.03

注:同一行中具有不同上标字母的数值间具有显著性差异($P < 0.05$)。

Notes: Values in the same row with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

本研究发现,当饲料中蛋白含量从 36% 升高到 42% 时,线鳢的生长性能、饲料系数、蛋白沉积率和脂肪沉积率均显著改善。这与多数蛋白需求实验结果相似:饲料中适宜的蛋白水平能够显著促进鱼类生长、改善饲料利用和提高营养素沉积^[24-28]。当饲料蛋白水平进一步提高,从 42% 升高到 51% 时,线鳢的生长性能、饲料系数和脂肪沉积率维持稳定,但蛋白沉积率逐渐下降。这说明,饲料中过高的蛋白不会进一步提高线鳢生长速度,反而会降低蛋白沉积效率,造成饲料中蛋白的浪费。此外,本研究发现,随着饲料中蛋白

含量的升高,线鳢的摄食率先显著降低而后趋向稳定。这可能与鱼类的摄食补偿调节机制有关:当饲料中蛋白水平过低时,鱼类会提高摄食率来满足蛋白和能量需求;而当饲料中蛋白水平达到或超过最适需求量时,维持较低的摄食率即可满足鱼类的蛋白和能量需求^[29]。

本研究在获得蛋白最适需求量的基础上,设计 6 组等氮(42%)的脂肪梯度实验饲料,研究中成鱼阶段线鳢对饲料中脂肪的最适需求量。回归分析显示,当饲料中蛋白含量为 42% 时,中成鱼阶段线鳢对饲料中脂肪的最适需求量为

15.2%~15.3%。这高于早期研究报道的线鳢稚鱼^[10]和幼鱼^[14]饲料脂肪适宜添加量:6.5%~11.5%。ALIYU-PAIKO等^[10]以鱼油和玉米油为脂肪源,采用正交试验设计(脂肪:6.5%,9.0%,11.5%;蛋白:35%,40%,45%),发现当饲料蛋白含量为35%时,稚鱼阶段线鳢生长性能随着饲料中脂肪含量增加逐渐升高;而当饲料蛋白含量为45%时,线鳢生长性能随着饲料中脂肪含量升高逐渐降低。HUA等^[14]以鱼油和菜籽油为脂肪源,通过折线模型拟合生长曲线,发现当饲料蛋白含量为52%时,随着饲料脂肪含量从7%升高到23%,线鳢生长性能逐渐降低。以上结果表明,线鳢饲料中脂肪的适宜添加量受饲料蛋白水平的影响:饲料蛋白水平越低,则脂肪需求量越高。本实验基础饲料较低的蛋白水平,可能是导致最适脂肪需求量偏高的直接原因。此外,鱼类的能量需求随着体质量增长而增加^[30],这可能是导致中成鱼阶段线鳢最适脂肪需求偏高的另一个原因。与其他鳢科鱼类相比,本研究获得的中成鱼阶段线鳢最适脂肪需求量高于乌鳢(脂肪源:鱼油;初始体质量:15.8 g;最适需求:12%)^[20],但低于杂交鳢(脂肪源:鱼油、大豆磷脂油;初始体质量,24 g;最适需求:17.3%)^[31]。

本实验发现,当饲料中脂肪从9%升高到15%时,中成鱼阶段线鳢的生长性能、饲料系数、蛋白沉积率和脂肪沉积率均显著改善。这与多数脂肪需求实验结果相似:饲料中适宜的脂肪水平,能够显著促进鱼类生长、改善饲料利用和提高营养素沉积^[32-36]。当饲料中脂肪水平进一步提高,从15%升高到19%时,线鳢的生长性能、饲料系数和蛋白沉积率保持稳定,但脂肪沉积率逐渐下降。这些结果表明,尽管饲料中过高的脂肪水平没有影响线鳢生长性能,但显著降低了脂肪沉积效率,造成饲料脂肪的浪费。这与欧洲鲈(*Sparus aurata*)^[37],大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)^[32]和大西洋鳕鱼(*Gadus morhua*)^[38]上的研究结果相一致。与其他鱼类上的研究结果相似^[21, 29-30],本研究亦发现高脂饲料(15%~19%)显著降低了线鳢的摄食率。这可能与鱼类的摄食补偿调节机制有关:鱼类摄食高脂(高能量)饲料时,能够在较低摄食量的条件下,即可获得足够能量满足其基础代谢和生长需求^[29]。

本研究发现,线鳢的体脂肪含量、肥满度、脏

体比和肝体比随着饲料中脂肪含量的增加而逐渐升高,这与其他鱼类上的研究结果相似^[32, 36-39]。这些结果表明,当饲料脂肪含量过高时,多余脂肪则储存在体组织中,造成鱼体脂肪含量、肥满度、脏体比和肝体比升高的现象。

综上,初始体质量为150 g的中成鱼阶段线鳢对饲料蛋白和脂肪的最适需求量分别为41.5%~42.3%和15.2%~15.3%。本文研究结果填补了线鳢中成鱼阶段基础营养需求研究空白,为商业配方的设计和优化提供参考。进一步研究需要评估线鳢成鱼阶段(体质量>500 g)的最适蛋白和脂肪需求量,完善线鳢不同生长阶段的基础营养需求研究。

参考文献:

- [1] United Nations. World population prospects 2019: highlights [M]. New York: Department of Economic and Social Affairs Population Division, 2019.
- [2] HUNTER M C, SMITH R G, SCHIPANSKI M E, et al. Agriculture in 2050: recalibrating targets for sustainable intensification[J]. Bioscience, 2017, 67(4): 386-391.
- [3] FAO. The state of world fisheries and aquaculture [M]. Rome: FAO, 2020.
- [4] TACON A G J, METIAN M. Fish matters: importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply [J]. Reviews in Fisheries Science, 2013, 21(1): 22-38.
- [5] KHALILI TILAMI S, SAMPELS S. Nutritional value of fish: lipids, proteins, vitamins, and minerals [J]. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture, 2018, 26(2): 243-253.
- [6] PARIPATANANONT T. Snakehead and *Pangasius* catfish [M]//WEBSTER C D, LIM C. Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture. Wallingford: CABI Publishing, 2002: 396-401.
- [7] HONG L W, THEYVEEKA SELVY A, RAJOO P, et al. *Channa striatus* effectiveness in wound-healing: a scoping review [J]. International Journal of Research and Analytical Reviews, 2020, 7(1): 300-308.
- [8] QIN J G, FAST A W, KAI A T. Tolerance of snakehead *Channa striatus* to ammonia at different pH [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1997, 28(1): 87-90.
- [9] KUMAR D, MARIMUTHU K, HANIFFA M A, et al. Optimum dietary protein requirement of striped murrel *Channa striatus* fry [J]. Malaysian Journal of Science, 2010, 29(1): 52-61.
- [10] ALIYU-PAIKO M, HASHIM R, SHU-CHIEN CHONG A, et al. Influence of different sources and levels of dietary protein and lipid on the growth, feed efficiency, muscle

- composition and fatty acid profile of snakehead *Channa striatus* (Bloch, 1793) fingerling [J]. *Aquaculture Research*, 2010, 41(9): 1365-1376.
- [11] ALIYU-PAIKO M, HASHIM R, SHU-CHIEN A C. Influence of dietary lipid/protein ratio on survival, growth, body indices and digestive lipase activity in snakehead (*Channa striatus*, Bloch 1793) fry reared in re-circulating water system [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2010, 16(5): 466-474.
- [12] SAMANTARAY K, MOHANTY S S. Interactions of dietary levels of protein and energy on fingerling snakehead, *Channa striata* [J]. *Aquaculture*, 1997, 156(3/4): 241-249.
- [13] MOHANTY S S, SAMANTARAY K. Effect of varying levels of dietary protein on the growth performance and feed conversion efficiency of snakehead *Channa striata* fry [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1996, 2(2): 89-94.
- [14] HUA K, KOPPE W, FONTANILLAS R. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, body composition and nutrient utilization of *Channa striata* [J]. *Aquaculture*, 2019, 501: 368-373.
- [15] AOAC. Official methods of analysis of AOAC international [M]. 16th ed. Arlington: AOAC, 1995.
- [16] WILSON R P, HALVER J E. Protein and amino acid requirements of fishes [J]. *Annual Review of Nutrition*, 1986, 6: 225-244.
- [17] TELES A O, COUTO A, ENES P, et al. Dietary protein requirements of fish - a meta-analysis [J]. *Reviews in Aquaculture*, 2020, 12(3): 1445-1477.
- [18] CHO C Y, KAUSHIK S J. Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *World Review of Nutrition and Dietetics*, 1990, 61: 132-172.
- [19] ZEHRA S, KHAN M A. Dietary protein requirement for fingerling *Channa punctatus* (Bloch), based on growth, feed conversion, protein retention and biochemical composition [J]. *Aquaculture International*, 2012, 20(2): 383-395.
- [20] SAGADA G, CHEN J M, SHEN B Q, et al. Optimizing protein and lipid levels in practical diet for juvenile northern snakehead fish (*Channa argus*) [J]. *Animal Nutrition*, 2017, 3(2): 156-163.
- [21] ZHANG Y F, SUN Z Z, WANG A L, et al. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, body and plasma biochemical composition and selective gene expression in liver of hybrid snakehead (*Channa maculate* ♀ × *Channa argus* ♂) fingerlings [J]. *Aquaculture*, 2017, 468: 1-9.
- [22] WEE K L, TACON A G J. A preliminary study on the dietary protein requirement of juvenile snakehead [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1982, 48(10): 1463-1468.
- [23] KPOGUE D N S, AYANOU G A, TOKO I I, et al. Influence of dietary protein levels on growth, feed utilization and carcass composition of snakehead, *Parachanna obscura* (Günther, 1861) fingerlings [J]. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 2013, 5(5): 71-77.
- [24] WANG F, HAN H, WANG Y, et al. Growth, feed utilization and body composition of juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus* fed at different dietary protein and lipid levels [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2013, 19(3): 360-367.
- [25] 胡毅, 陈云飞, 张德洪, 等. 不同碳水化合物和蛋白质水平膨化饲料对大规模草鱼生长、肠道消化酶及血清指标的影响 [J]. *水产学报*, 2018, 42(5): 777-786.
- HU Y, CHEN Y F, ZHANG D H, et al. Effects of different dietary carbohydrate and protein levels on growth, intestinal digestive enzymes and serum indexes in large-size grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(5): 777-786.
- [26] 秦钦, 陈校辉, 潘建林, 等. 日粮蛋白含量及家系对黄颡鱼幼鱼生长性能和肝脏 IGF- I mRNA 表达水平的影响 [J]. *上海海洋大学学报*, 2018, 27(2): 190-195.
- QIN Q, CHEN X H, PAN J L, et al. Effects of families and feed protein contents on growth performance and hepatic expression of IGF- I mRNA of juvenile yellow catfish [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2018, 27(2): 190-195.
- [27] 黄岩, 李建, 王学习, 等. 饲料中不同蛋白质和淀粉水平对斜带石斑鱼生长性能和肝脏相关代谢酶活性的影响 [J]. *水产学报*, 2017, 41(5): 746-756.
- HUANG Y, LI J, WANG X X, et al. Effects of different dietary protein and starch levels on the growth and liver metabolism of grouper (*Epinephelus coioides*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(5): 746-756.
- [28] 林淑琴. 不同生长阶段大黄鱼的蛋白质和蛋/能比营养研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013: 1-32.
- LIN S Q. Effects of dietary protein levels and its ratio to energy on growth performances and metabolic responses of large yellow croaker at different growth stages [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013: 1-32.
- [29] KAUSHIK S J, SCHRAMA J W. Bioenergetics [M]// HARDY R W, KAUSHIK S J. *Fish Nutrition*. 4th ed. London: Academic Press, 2022: 17-55.
- [30] BAILEY J, ALANÄRÄ A. Digestible energy need (DEN) of selected farmed fish species [J]. *Aquaculture*, 2006, 251(2/4): 438-455.
- [31] ZHAO P F, LI F J, CHEN X R, et al. Dietary lipid concentrations influence growth, liver oxidative stress, and serum metabolites of juvenile hybrid snakehead (*Channa argus* × *Channa maculata*) [J]. *Aquaculture International*, 2016, 24(5): 1353-1364.
- [32] 彭墨. 饲料脂肪水平和脂肪酸组成对大菱鲆幼鱼脂肪沉

- 积的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014: 1-54.
- PENG M. The effects of dietary lipid level and fatty acids composition on lipid deposition in turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014: 1-54.
- [33] LI X F, LIU W B, LU K L, et al. Dietary carbohydrate/lipid ratios affect stress, oxidative status and non-specific immune responses of fingerling blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2012, 33(2): 316-323.
- [34] LÓPEZ L M, DURAZO E, VIANA M T, et al. Effect of dietary lipid levels on performance, body composition and fatty acid profile of juvenile white seabass, *Atractoscion nobilis*[J]. Aquaculture, 2009, 289(1/2): 101-105.
- [35] WANG J T, LIU Y J, TIAN L X, et al. Effect of dietary lipid level on growth performance, lipid deposition, hepatic lipogenesis in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. Aquaculture, 2005, 249(1/4): 439-447.
- [36] WANG Z, MAI K S, XU W, et al. Dietary methionine level influences growth and lipid metabolism via GCN2 pathway in cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. Aquaculture, 2016, 454: 148-156.
- [37] PEREIRA T G, OLIVA-TELES A. Evaluation of corn gluten meal as a protein source in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) juveniles [J]. Aquaculture Research, 2003, 34(13): 1111-1117.
- [38] HANSEN A C, KARLSEN Ø, ROSEN LUND G, et al. Dietary plant protein utilization in Atlantic cod, *Gadus morhua* L. [J]. Aquaculture Nutrition, 2007, 13(3): 200-215.
- [39] 陆游, 周飘萍, 袁野, 等. 不同小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼的生长性能、饲料利用及糖代谢关键酶活力的影响[J]. 水产学报, 2017, 41(2): 297-310.
- LU Y, ZHOU P P, YUAN Y, et al. Effects of different wheat starch and lipid levels on growth performance, feed utilization and hepatic carbohydrate metabolism key enzymes activities in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(2): 297-310.

Optimal protein and lipid requirements of snakehead, *Channa striata*, during the grow-out stage

LI Yanxian^{1,2,3}, WANG Xiaodong⁴, HU Haibin^{1,5}, ZHANG Jian⁵, MEI Yiqiang⁵, PAN Leilei⁵, JIANG Ruili⁵, SONG Tao⁵, YUN Biao¹, ZHUANG Jiecheng³, XIE Shouqi², QIAN Xueqiao^{1,6}

(1. Research Institute of Animal Husbandry and Aquaculture, Guangdong Haid Group Co., Ltd., Guangzhou 511400, Guangdong, China; 2. State Key Laboratory for Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, Hubei, China; 3. Sheng Long Bio-Tech International of Haid Group Co., Ltd., Long An 850000, Vietnam; 4. Technical Analysis Center of Yantai Customs, Yantai 264000, Shandong, China; 5. Guangdong Hinder Biotechnology Group Co., Ltd., Guangzhou 511400, Guangdong, China; 6. Key Laboratory of Microbial Resource Management and Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 511400, Guangdong, China)

Abstract: *Channa striata* is a high-value, carnivorous freshwater fish species widely farmed in the Southeast Asia. However, its basic nutrient requirements during the grow-out stage (body mass > 100 g) are largely unexplored. In this study, we first explored the optimal protein requirement of *Channa striata*. Six isolipidic (15%) diets with varying protein levels were formulated by adjusting the fish meal inclusion level. Fish with a mean initial body weight of 150 g were fed these experimental diets to apparent satiation twice daily for 8 weeks. Our results showed that the growth performance and feed efficiency of *Channa striata* improved and plateaued while the protein retention increased and then declined, as the dietary protein level increased from 36% to 51%. Using the weight gain and protein retention as response variables, the protein requirement of *Channa striata* was estimated to be 41.5% and 42.3%, respectively, by the regression analysis. We further explored the optimal lipid requirement of *Channa striata* based on the protein requirement result. Six isoproteic (42%) diets with varying lipid levels were formulated by adjusting the soy lecithin inclusion level. Fish with a mean initial body weight of 150 g were fed these experimental diets to apparent satiation twice daily for 8 weeks. The results showed that the growth performance and feed efficiency of *Channa striata* improved and plateaued as the dietary lipid level increased from 9% to 19%. In contrast, the lipid retention increased as the lipid level increased from 9% to 15%, but declined as dietary lipid further increased. Using the weight gain and protein retention as response variables, the lipid requirement of *Channa striata* was estimated to be 15.2% and 15.3%, respectively, by the regression analysis. In conclusion, the optimal protein and lipid requirement of *Channa striata* during the grow-out stage was estimated to be 41.5%–42.3% and 15.2%–15.3%, respectively.

Key words: *Channa striata*; grow-out stage; protein requirement; lipid requirement