

文章编号: 1674-5566(2024)06-1335-10

DOI: 10.12024/jsou.20240304464

饲料中鸡肉粉替代鱼粉、磷脂油替代鱼油对中成阶段线鳢生长、饲料利用和体组成的影响

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

(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. 广东海因特生物技术集团有限公司, 广东 广州 511400; 5. 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: 为了探究中成鱼阶段线鳢饲料中鱼粉及鱼油适宜替代量, 本实验首先以宠物级鸡肉粉为蛋白源, 分别替代0%、17%、33%、50%、67%和83%的65鱼粉, 制备6组等氮等脂的实验饲料, 饲养中成鱼阶段线鳢(初始体质量约150 g)8周。随后, 在获得最适鱼粉替代水平的基础上, 以大豆磷脂油为脂肪源, 分别替代0%、13%、25%、38%、50%和63%的海水鱼油, 制备6组等氮等脂的实验饲料, 饲养中成鱼阶段线鳢(初始体质量约150 g)8周。结果显示, 鸡肉粉替代鱼粉对线鳢的生长性能、形体指标、营养素表观消化率和体组成均无显著性影响($P>0.05$)。大豆磷脂油替代海水鱼油对线鳢生长性能、形体指标和体组成均无显著性影响($P>0.05$); 饲料的干物质、粗蛋白表观消化率亦无显著性变化($P>0.05$), 但海水鱼油替代比例达到或超过38%时, 粗脂肪表观消化率显著下降(约2%)($P<0.05$)。以上研究表明, 以生长、饲料利用和鱼体组成等作为评判标准, 中成鱼阶段线鳢饲料中, 鸡肉粉可替代65鱼粉比例达83%、大豆磷脂油可替代海水鱼油比例达63%。本研究填补了中成鱼阶段线鳢鱼粉及鱼油替代研究空白, 可为商业饲料配方优化和成本节约提供重要参考价值。

关键词: 线鳢; 中成鱼阶段; 鱼粉替代; 鱼油替代

中图分类号: S 968.22 **文献标志码:** A

鱼粉、鱼油富含必需氨基酸、脂肪酸, 利于水产动物消化吸收且含有多种促生长因子, 历来是水产饲料中优质的蛋白源和脂肪源^[1]。然而, 随着全球水产养殖产量的持续增长和野生渔业资源的枯竭, 鱼粉鱼油价格不断攀升、居高不下^[2]。因此, 寻找来源广泛、价格低廉的优质蛋白源及脂肪源替代鱼粉、鱼油成为当前水产动物营养与饲料研究的热点。

鸡肉粉是鸡肉加工过程中余下的碎肉、内脏和鸡架等, 经过蒸煮、灭菌、脱脂、粉碎、干燥而成的一种肉制品加工副产物, 具有蛋白质含量高、氨基酸平衡、适口性好、价格便宜等优点, 是一种潜在的鱼粉替代物^[3]。对多种肉食性鱼类的研究

表明, 鸡肉粉是一种优质的陆生动物蛋白源, 可以高比例替代鱼粉而不影响鱼类生长和饲料效率^[4]。

大豆卵磷脂是从大豆中提取并经过特定加工得到的一种脂质, 具有价格稳定, 资源可持续性的优点^[5]。其中的主要成分磷脂在维持细胞膜结构和功能、乳化肠道中的脂肪和促进长链脂肪酸在肠道中吸收、提升机体抗氧化和免疫能力等方面发挥着重要作用^[6]。在鲟鱼(*Acipenser stellatus*)^[7]、大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)^[8]、半滑舌鳎(*Cherax quadricarinatus*)^[9]和黄鳍(*Monopterus albus*)^[10]幼鱼的研究中发现, 在水生动物快速生长时期, 磷脂的添加能够促进其生长。

收稿日期: 2024-03-22 修回日期: 2024-06-17

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>

线鳢(*Channa striata*)是一种广泛养殖于东南亚国家的凶猛肉食性鱼类,具有很高的经济价值和药用价值^[11-12]。目前已有关于线鳢仔稚鱼、幼鱼和中成鱼阶段的蛋白质、脂肪需求研究,这些研究发现线鳢对于蛋白质和脂肪需求很高^[13-15]。鱼粉、鱼油在线鳢饲料中用量较高,鉴于其产量和价格不稳定,急需寻找可行的替代品。本研究根据此前中成鱼阶段线鳢饲料蛋白和脂肪的最适需求量研究,以及越南线鳢商业饲料的营养设计水平确定基础配方^[13]。首先配置蛋白梯度替代实验饲料,开展最适鱼粉替代研究;在获得最适鱼粉替代量的基础上,再通过配置脂肪梯度替代实验饲料,开展最适鱼油替代研究。本文的研究结果,补充了线鳢配合饲料最适鱼粉及鱼油替代数据,推动了商业配方的设计优化。

1 材料与amp;方法

1.1 配方设计与饲料制作

鱼粉替代实验:实验配方以秘鲁鱼粉、65海水鱼粉、鸡肉粉、豆粕为蛋白源,以磷脂油和粗海水鱼油为脂肪源,以面粉为淀粉源,以美国宠物级鸡肉粉为蛋白源分别替代0%、17%、33%、50%、67%和83%的65海水鱼粉,配平赖氨酸、蛋氨酸和海水鱼油含量,制备等氮等脂的6组实验饲料,并分别命名为FM、PM04、PM08、PM12、PM16和PM20(表1)。

鱼油替代实验:实验配方以鱼粉、鸡肉粉、豆粕为蛋白源,以磷脂油和粗海水鱼油为脂肪源,以面粉为淀粉源,以大豆磷脂油替代海水粗鱼油,制备等蛋等脂的6组实验饲料,并分别命名为FO、SL13、SL25、L38、L50和L63(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4mm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,保存于-20℃冰箱中备用。

1.2 养殖实验

养殖实验在越南朔庄研发基地进行。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L05;标签营养指标:粗蛋白42%,粗脂肪11%)暂养实验鱼2周,使其适应养殖环境。鱼粉和鱼油替代研究的每个养殖实验正式开始之前,将实验鱼禁食24h。每个实验,各自从暂养网箱中随机挑选1920尾大小匀称、体格健壮实验鱼[鱼粉替代研究,初始平均体质量为(146.7±1.51)g;鱼油替代研究,初始平均体质量为(153.9±0.73)g],并随机分配于两个实验各自的养殖网箱(长×宽×深=2m×2m×2m),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,每个处理设4个重复。

养殖试验持续8周。每天分别在08:00和17:00进行投喂,实验鱼达到表观饱食后,捞取残饵烘干后再称重。每天统计每个网箱的摄食量、残饵量、死鱼数目和重量、水温等。养殖期间保持水温28~34℃、盐度0~2、溶氧>7mg/L、pH7.5~8.0、氨氮含量<0.4mg/L、亚硝酸盐<0.1mg/L。

1.3 样品采集

实验结束前,实验鱼禁食24h。取样前,用丁香酚(99%纯度,国药集团上海化学试剂有限公司,用量:丁香酚和水质量体积比为1:10000)麻醉实验鱼,对每个网箱中的鱼进行计数、称重,计算生长数据和成活率。随后,每个网箱随机抽取6尾鱼,保存在-20℃冰箱,用于体组成分析。每个网箱另取6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。网箱中剩余的实验鱼,用实验料继续饲养2周。之后,间隔15min,对每个网箱中的实验鱼进行过量投喂。投喂6h后,从每个网箱中随机取10尾鱼,采用腹部挤压法,在冰上收集后肠粪便,冷冻干燥后,用于分析营养素消化率。网箱投喂顺序按照区组随机化原则决定,即随机从6个处理组中各抽取1个网箱,组成4个小组,每组6个网箱。饲料投喂和粪便采集,按照既定的组内和组间顺序执行,确保统一的饲料消化时间。

表1 鱼粉替代实验饲料配方及营养水平

Tab. 1 Formulation and proximate composition of the experimental diets wherein fishmeal was substituted by poultry meal %

项目 Items	实验饲料 Diet					
	FM	PM04	PM08	PM12	PM16	PM20
原料(干重基础)						
Ingredients (dry matter basis)	25	25	25	25	25	25
秘鲁鱼粉 Peruvian fishmeal ^a						
65海水鱼粉 Fishmeal 65 ^b	24	20	16	12	8	4
鸡肉粉 Poultry meal ^c	0	4	8	12	16	20
豆粕 Soybean meal ^d	19	19	19	19	19	19
面粉 Wheat flour	10	10	10	10	10	10
微晶纤维素 Microcrystalline cellulose	5.90	6.16	6.44	6.72	6.98	7.26
海水鱼油 Fish oil	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5
大豆磷脂油 Soy lecithin	8.0	7.4	6.8	6.2	5.6	5.0
赖氨酸 Lysine ^e	0	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07
蛋氨酸 Methionine ^f	0	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07
三氧化二钇 Yttrium oxide	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
预混料 Premix ^g	5	5	5	5	5	5
化学组成分析(湿重基础, %) Chemical analysis (wet weight basis, %)						
干物质 Dry matter	93.5	93.7	93.8	94.0	94.1	94.2
粗蛋白 Crude protein	42.4	42.5	42.5	42.6	42.3	42.5
粗脂肪 Crude lipid	15.2	15.3	15.1	15.3	15.4	15.3
灰分 Ash	9.7	9.5	9.2	8.8	8.5	8.3
必需氨基酸 Essential amino acids						
精氨酸 Arginine	2.70	2.73	2.80	2.86	2.91	2.96
组氨酸 Histidine	1.18	1.16	1.11	1.08	1.05	1.02
异亮氨酸 Isoleucine	1.89	1.86	1.85	1.85	1.83	1.83
亮氨酸 Leucine	3.31	3.27	3.23	3.20	3.17	3.14
赖氨酸 Lysine	2.78	2.78	2.78	2.77	2.80	2.77
蛋氨酸 Methionine	1.02	1.04	1.02	1.03	1.04	1.04
苯丙氨酸 Phenylalanine	2.01	1.98	1.96	1.91	1.89	1.85
苏氨酸 Threonine	1.69	1.71	1.69	1.69	1.72	1.71
缬氨酸 Valine	2.20	2.19	2.17	2.16	2.13	2.11

注:^a秘鲁鱼粉:粗蛋白68.3%,粗脂肪8.6%;^b65海水鱼粉:粗蛋白66.1%,粗脂肪7.4%;^c鸡肉粉:粗蛋白68.6%,粗脂肪14.5%;^d豆粕:粗蛋白46.5%,粗脂肪1.8%;^e赖氨酸:赖氨酸盐酸盐(阜丰,纯度≥98.5%);^f蛋氨酸:DL-蛋氨酸(新和成,纯度≥98.5%);^g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%; ^b fishmeal 65: crude protein 66.1%, crude lipid 7.4%; ^c poultry meal: crude protein 68.6%, crude lipid 14.5%; ^d soybean meal: crude protein 46.5%, crude lipid 1.8%; ^e lysine: lysine hydrochloride (Fufeng, purity ≥98.5%); ^f methionine: DL-methionine (Xinhecheng, purity ≥98.5%); ^g Premix 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 鱼油替代实验饲料配方及营养水平
 Tab. 2 Formulation and proximate composition of the experimental diets wherein fish oil was substituted by soybean lecithin

项目 Items	实验饲料 Diet					
	FO	SL13	SL25	SL38	SL50	SL63
原料 (干重基础) Ingredients (dry matter basis)						
秘鲁鱼粉 Peruvian fishmeal ^a	25	25	25	25	25	25
65海水鱼粉 Fishmeal 65 ^b	4	4	4	4	4	4
鸡肉粉 Poultry meal ^c	20	20	20	20	20	20
豆粕 Soybean meal ^d	19	19	19	19	19	19
面粉 Wheat flour	10	10	10	10	10	10
微晶纤维 Microcrystalline cellulose	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
海水鱼油 Fish oil	8	7	6	5	4	3
大豆磷脂油 Soy lecithin	2	3	4	5	6	7
三氧化二钇 Yttrium oxide	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
预混料 Premix ^e	5	5	5	5	5	5
化学组成分析 (湿重基础) Chemical analysis (wet weight basis)						
干物质 Dry matter	94.1	94.4	94.3	93.8	94.7	94.6
粗蛋白 Crude protein	43.0	42.9	43.1	43.1	43.0	43.0
粗脂肪 Crude lipid	15.7	15.6	15.5	15.6	15.5	15.7
灰分 Ash	8.1	8.2	8.2	8.1	8.2	8.2

注:^a秘鲁鱼粉:粗蛋白68.3%,粗脂肪8.6%;^b65海水鱼粉:粗蛋白66.1%,粗脂肪7.4%;^c鸡肉粉:粗蛋白68.6%,粗脂肪14.5%;^d豆粕:粗蛋白46.5%,粗脂肪1.8%;^e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%; ^bfishmeal 65: crude protein 66.1%, crude lipid 7.4%; ^cpoultry meal: crude protein 68.6%, crude lipid 14.5%; ^dsoybean meal: crude protein 46.5%, crude lipid 1.8%; ^ePremix 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.

1.4 常规成分分析

鱼体和饲料化学成分分析采用AOAC法^[16];其中,水分采用恒重法测定(105℃烘干,72h);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);粗脂肪采用酸水解和索氏抽提法测定(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℃,16h)。钇元素含量的测定方法为加酸微波消解(JUPITER-B,多通量微波消解仪,上海新仪微波化学科技有限公司),然后稀释定容,用电感耦合等离子体原子发射光谱仪(ICP-OES, Prodigy7, LEEMAE LABS, USA)测定^[17]。原料和饲料样品烘干至恒重,每个样品取30mg放入15mL 6mol/L HCl溶液中,在110℃下水解24h,采用全自动氨基酸分析仪(L-8900, Hitachi, Tokyo, Japan)测定其氨基酸含量^[18]。

1.5 计算公式

存活率(Survival rate, S_R , %)、增重率(Weight gain, W_G , %)、特定生长率(Specific growth rate, S_{GR} , %/d)、饲料系数(Feed conversion ratio, F_{CR})、摄食率(Feed intake, F_I , %/d)的计算公式:

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

$$W_G = 100 \times (W_f - W_i) / W_i \quad (2)$$

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

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

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

式中: A_i 和 A_f 分别为初始和终末的鱼体数量; \bar{w}_i 和 \bar{w}_f 分别为初始和终末的平均鱼体质量,g; W_i 和 W_f 分别为初始和终末的鱼体总质量,g; t 为养殖天数; D_a 为总摄入饲料量(g,干物质)。

肥满度(Condition factor, C_F , g/cm³)、肝体比(Hepatosomatic index, H_{SI} , %)、脏体比

(Viscerosomatic index, V_{SI} , %)的计算公式:

$$C_F = W_b / L_b^3 \quad (6)$$

$$H_{SI} = 100\% \times W_l / W_b \quad (7)$$

$$V_{SI} = 100\% \times W_v / W_b \quad (8)$$

式中: 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。

饲料干物质表观消化率 (Apparent digestibility coefficient of dry matter, A_{DC-DM} , %)、饲料营养成分表观消化率 (Apparent digestibility coefficient of nutrients, A_{DC-I} , %)

$$A_{DC-DM} = (1 - D_y/F_y) \times 100\% \quad (9)$$

$$A_{DC-I} = [1 - (F_i/D_i) \times (D_y/F_y)] \times 100\% \quad (10)$$

式中: D_y 和 F_y 分别为饲料和粪便中钇的含量, %; D_i 和 F_i 分别为饲料和粪便中营养成分的含量, %。

1.6 数据分析

所有数据采用 R 语言进行统计分析,以网箱

平均值作为统计单位 ($n = 4$)。组间差异比较,使用 lm 函数进行一般线性回归分析。当模型 $P < 0.05$ 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 $P < 0.05$ 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)。

2 结果

2.1 鱼粉替代研究

2.1.1 生长性能及形体指标

由表 3 可知,本研究中,鸡肉粉替代 0%、17%、33%、50%、67% 和 83% 的 65 鱼粉对线鳢的存活率、终末体质量、增重率、摄食率、饲料系数、特定生长率等生长性能指标和肥满度、脏体比、肝体比等形体指标均无显著性影响 ($P > 0.05$)。

表 3 鸡肉粉替代鱼粉对线鳢生长性能及形体指标的影响

Tab. 3 Effects of fishmeal replacement by poultry meal on the survival, growth performance and body indices in snakehead

项目 Items	实验饲料 Diet						合并标准误 Pooled SE
	FM	PM04	PM08	PM12	PM16	PM20	
存活率 Survival rate/%	99.7	99.7	99.7	99.4	100.0	98.8	0.40
初始体质量 Initial mean body mass/g	146.9	146.4	146.6	146.5	146.8	146.7	0.87
终末体质量 Final mean body mass/g	495.3	495.9	493.5	495.4	494.8	497.3	1.24
增重率 Weight gain/%	237.2	238.7	236.7	238.2	237.0	239.0	2.32
摄食率 Feed intake/(%/d)	2.4	2.3	2.4	2.4	2.3	2.3	0.01
饲料系数 Feed conversion ratio	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0.01
特定生长率 Specific growth rate/(%/d)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	0.01
肥满度 Condition factor/(g/cm ³)	1.7	1.7	1.7	1.8	1.7	1.8	0.05
脏体比 Viscerosomatic index/%	7.7	7.6	7.7	7.4	7.9	7.5	0.11
肝体比 Hepatosomatic index/%	2.2	2.3	2.2	2.2	2.2	2.1	0.03

2.1.2 表观消化率

由表 4 可知,本研究中,鸡肉粉替代 0%、17%、33%、50%、67% 和 83% 的 65 鱼粉对线鳢饲

料的表观消化率,包括干物质、粗蛋白和粗脂肪,均无显著性影响 ($P > 0.05$)。

表 4 鸡肉粉替代鱼粉对线鳢饲料营养物质表观消化率的影响

Tab. 4 Effects of fishmeal replacement by poultry meal on the apparent digestibility coefficients (ADC) of macronutrients in snakehead

项目 Items	实验饲料 Diet						合并标准误 Pooled SE
	FM	PM04	PM08	PM12	PM16	PM20	
干物质消化率 ADC of dry matter	71.6	71.5	72.3	71.9	71.7	71.6	0.42
粗蛋白消化率 ADC of crude protein	87.2	86.7	86.9	86.4	87.0	87.5	0.29
粗脂肪消化率 ADC of crude lipid	88.7	89.1	89.2	88.6	89.1	89.0	0.34

2.1.3 体组成

由表 5 可知,本研究中,鸡肉粉替代 0%、17%、33%、50%、67% 和 83% 的 65 鱼粉对线鳢的

水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分等体组成指标均无显著性影响($P>0.05$)。

表 5 鸡肉粉替代鱼粉对线鳢体组成的影响

Tab. 5 Effects of fishmeal replacement by poultry meal on the whole-body proximate composition in snakehead %

项目 Items	实验饲料 Diet						合并标准误 Pooled SE
	FM	PM04	PM08	PM12	PM16	PM20	
水分 Moisture	69.2	69.0	68.7	68.7	69.1	68.9	0.21
粗蛋白 Crude protein	18.9	19.3	19.1	19.0	19.1	18.9	0.08
粗脂肪 Crude lipid	7.6	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	0.05
灰分 Ash	4.2	3.9	4.0	3.8	4.1	3.9	0.17

2.2 鱼油替代研究

2.2.1 生长性能及形体指标

由表 6 可知,鸡肉粉替代 65 鱼粉 83% 后,以大豆磷脂油为脂肪源,分别替代 0%、13%、25%、

38%、50% 和 63% 的海水鱼油对线鳢的存活率、终末体质量、增重率、摄食率、饲料系数、特定生长率等生长性能指标和肥满度、脏体比、肝体比等形体指标均无显著性影响($P>0.05$)。

表 6 大豆卵磷脂替代海水鱼油对线鳢生长性能及形体指标的影响

Tab. 6 Effects of fish oil replacement by soybean lecithin on the survival, growth performance and body indices in snakehead

项目 Items	实验饲料 Diet						合并标准误 Pooled SE
	FO	SL13	SL25	SL38	SL50	SL63	
存活率 Survival rate/%	99.4	99.1	99.7	99.7	100.0	99.4	0.47
初始体质量 Initial mean body mass/g	153.3	153.7	154.0	154.4	153.9	154.3	0.36
终末体质量 Final mean body mass/g	505.3	508.9	506.1	506.6	507.2	504.8	1.59
增重率 Weight gain/%	229.6	231.1	228.7	228.1	229.6	227.2	1.37
摄食率 Feed intake/(%/d)	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	0.02
饲料系数 Feed conversion ratio	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0.01
特定生长率 Specific growth rate/(%/d)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	0.01
肥满度 Condition factor/(g/cm ³)	1.6	1.6	1.8	1.7	1.6	1.6	0.10
脏体比 Viscerosomatic index/%	7.7	7.4	7.6	7.3	7.6	7.8	0.15
肝体比 Hepatosomatic index/%	2.1	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2	0.04

2.2.2 表观消化率

由表 7 可知,鸡肉粉替代 65 鱼粉 83% 后,以大豆磷脂油为脂肪源,分别替代 0%、13%、25%、38%、50% 和 63% 的海水鱼油对线鳢饲料的干物质和粗蛋白表观消化率均无显著性影响($P>0.05$)。但是,随着大豆卵磷脂替代海水鱼油比例升高,粗脂肪表观消化率呈逐渐下降的趋势;当海水鱼油替代比例达到或超过 38% 时,粗脂肪表观消化率呈显著性下降($P<0.05$)。

2.2.3 体组成

由表 8 可知,鸡肉粉替代 65 鱼粉 83% 后,以

大豆磷脂油为脂肪源,分别替代 0%、13%、25%、38%、50% 和 63% 的海水鱼油对线鳢的水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分等体组成指标均无显著性影响($P>0.05$)。

3 讨论

本实验在此前确定的中成阶段线鳢最适蛋白、脂肪需求量的基础上,确定基础饲料配方,并通过研究初始体质量为 150 g 的线鳢基础饲料配方中最适鱼粉、鱼油替代量,拓展了线鳢鱼粉、鱼油替代研究,为商业配方的优化和成本节约提供理论基础。

表7 大豆卵磷脂替代海水鱼油对线鳢饲料营养物质表观消化率的影响

Tab. 7 Effects of fish oil replacement by soybean lecithin on the apparent digestibility coefficients (ADC) of macronutrients in snakehead %

项目 Items	实验饲料 Diet						合并标准误 Pooled SE
	FO	SL13	SL25	SL38	SL50	SL63	
干物质消化率 ADC of dry matter	68.3	68.6	68	68.2	68.4	68.6	0.40
粗蛋白消化率 ADC of crude protein	87.2	86.3	86.5	86.7	87.5	86.8	0.45
粗脂肪消化率 ADC of crude lipid	90.1 ^c	89.1 ^{bc}	89.1 ^{bc}	88.7 ^{ab}	88.5 ^{ab}	87.8 ^a	0.26

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 大豆卵磷脂替代海水鱼油对线鳢体组成的影响

Tab. 8 Effects of fish oil replacement by soybean lecithin on the whole-body proximate composition in snakehead %

项目 Items	实验饲料 Diet						合并标准误 Pooled SE
	FO	SL13	SL25	SL38	SL50	SL63	
水分 Moisture	68.8	68.9	68.8	69.3	69.1	69.6	0.27
粗蛋白 Crude protein	19.2	19.2	19.3	19.1	19.3	19.1	0.06
粗脂肪 Crude lipid	7.7	7.7	7.5	7.7	7.7	7.4	0.09
灰分 Ash	4.1	4.1	4.0	4.0	4.1	4.1	0.05

鱼粉替代实验中,在最适蛋白、脂肪水平下,鸡肉粉替代65%海水鱼粉比例达到83%(即替代鱼粉总量40%)时也未影响线鳢的生长性能、消化率以及体组成。这与之前鸡肉粉替代鱼粉对稚鱼阶段线鳢影响的研究结果类似—该研究中,鸡肉粉替代40%鱼粉后,并不会对线鳢生长及体组成产生显著影响(初始体质量:4.0 g;试验周期:84 d;对照组鱼粉含量:56%)^[19]。在其他肉食性鱼类上的研究也表明,鸡肉粉可不同程度地替代鱼粉而不影响生长性能。如在黑海大比目鱼(*Psetta maotica*)饲料中,当鸡肉粉替代比例超过50%时,生长性能才显著下降(初始体质量:30.0 g;试验周期:60 d;对照组饲料鱼粉含量:77%)^[20]。而同为肉食性鱼类的杂交条纹鲈(*Morone chrysops*♀×*M. saxatilis*♂),当饲料中鸡肉粉替代比例超过35%时,生长性能就出现显著性下降(初始体质量:87.0 g;试验周期:56 d;对照组饲料鱼粉含量:25%)^[21]。这可能与对照组鱼粉含量有关。通常来说,鱼粉含量越高,可替代水平就越高^[4]。而在杂食性鱼类中,鸡肉粉似乎可以替代更高比例鱼粉。如异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)饲料中,鸡肉粉替代50%鱼粉并不会显著降低生长性能(初始体质量:5.3 g;试验周期:56 d;对照组饲料鱼粉含量:54%)^[22];而尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)饲料中,鸡肉粉可完全替代鱼粉而不显著影响生长性能(初始体质量

量:1.5 g;试验周期:120 d;对照组饲料鱼粉含量:20%)^[23]。此外,在大量鸡肉粉替代鱼粉的实验中都已发现,鸡肉粉替代鱼粉的限制性因素之一是鸡肉粉中必需氨基酸的缺乏^[24]。针对此种情况,本实验在鸡肉粉替代组中额外补充了晶体蛋氨酸和赖氨酸,这可能也是鸡肉粉替代83%的65%海水鱼粉而不会对线鳢产生负面影响的原因之一。以上结果表明,鸡肉粉是一种优质的鱼粉替代物,可有效降低饲料中鱼粉用量;鸡肉粉替代鱼粉的比例,可能受对照组饲料鱼粉含量、鱼类食性及饲料氨基酸平衡的影响。

本研究在获得鱼粉最适替代量的基础上,设计等氮等脂的脂肪替代梯度实验,研究中成阶段线鳢鱼油最适替代量。本研究结果表明:大豆卵磷脂替代鱼油后,各处理组线鳢生长、体组成、干物质消化率和粗蛋白消化率均无显著性差异;仅有的显著性差异是,当海水鱼油替代比例在38%~63%时,粗脂肪表观消化率降低1.4%~2.3%。目前,关于线鳢的必需脂肪酸需求研究尚未见报道,但一般而言,淡水鱼类具有合成EPA(二十碳五烯酸)和DHA(二十二碳六烯酸)等高不饱和脂肪酸的能力,饲料中添加亚麻酸(18:3n-3)和亚油酸(18:2n-6)分别占饲料总脂肪0.5%~2%即可满足必需脂肪酸需求^[25]。这可能是本研究中,大豆卵磷脂可有效替代海水鱼油的主要原因。而在杂交鳢(*Channa argus*×*Channa*

maculata)、闪光鲟(*Acipenser stellatus*)及尼罗罗非鱼(*Nile tilapia*)的研究表明,日粮中添加大豆磷脂,往往能够提高水产动物摄食能力、生长性能与机体抗氧化能力^[7, 26-27]。这也可能是本实验中大豆卵磷脂可有效替代线鳢饲料中海水鱼油的另一个原因。

一般而言,磷脂能够促进脂肪的消化吸收^[6]。而本研究中磷脂油替代海水鱼油比例升高后,粗脂肪消化率出现下降。这可能与不同脂肪源的脂肪酸组成有关。鱼类对脂肪酸的消化率受脂肪酸碳链长度与不饱和度影响。一般而言,鱼类对PUFA(多不饱和脂肪酸)和HUFA(高度不饱和脂肪酸)消化率最高,次之是MUFA(单不饱和脂肪酸)、SFA(饱和脂肪酸)^[28-29]。鱼油富含EPA和DHA等多不饱和脂肪酸,而大豆卵磷脂含量较低,这可能是本实验中鱼油被磷脂油替代后,脂肪消化率略微下降的原因。在豆油替代鱼油对大黄鱼(*Larimichthys crocea*)的研究中也发现,75%豆油替代鱼油会降低其生长性能及脂肪酸消化率^[30]。而OLSEN等^[31]在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的研究中也发现,虹鳟对于植物源性油源的脂肪酸消化酶活性不足,导致消化率降低。

综上,以生长、饲料利用和鱼体组成等作为评判标准,中成鱼阶段线鳢饲料中,鸡肉粉可替代65%海水鱼粉比例达到83%、大豆卵磷脂可替代鱼油比例达到63%。本文研究结果,拓宽了线鳢鱼粉鱼油替代研究,同时为商业配方优化和成本节约提供了参考。鉴于本研究条件下,线鳢的生长和饲料利用效率未受显著影响,未来的研究,可进一步探索中成鱼阶段线鳢饲料中鱼粉鱼油的替代极限,进一步降低线鳢商业配方对鱼粉鱼油的依赖度。

参考文献:

- [1] GATLIN III D M, BARROWS F T, BROWN P, et al. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review[J]. *Aquaculture research*, 2007, 38(6): 551-579.
- [2] HARDY R W. Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal [J]. *Aquaculture research*, 2010, 41(5): 770-776.
- [3] CRUZ-SUÁREZ L E, NIETO-LÓPEZ M, GUAJARDO-BARBOSA C, et al. Replacement of fishmeal with poultry by-product meal in practical diets for *Litopenaeus vannamei*, and digestibility of the tested ingredients and diets[J]. *Aquaculture*, 2007, 272(1-4): 466-476.
- [4] GALKANDA-ARACHCHIGE H S C, WILSON A E, DAVIS D A. Success of fishmeal replacement through poultry by-product meal in aquaculture feed formulations: a meta-analysis [J]. *Reviews in Aquaculture*, 2020, 12(3): 1624-1636.
- [5] CALDER P C. The Relationship between the fatty acid composition of immune cells and their function [J]. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 2008, 79(3-5): 101-108.
- [6] TOCHER D R, BENDIKSEN E Å, CAMPBELL P J, et al. The role of phospholipids in nutrition and metabolism of teleost fish[J]. *Aquaculture*, 2008, 280(1-4): 21-34.
- [7] JAFARI F, AGH N, NOORI F, et al. Effects of dietary soybean lecithin on growth performance, blood Chemistry and immunity in juvenile stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) [J]. *Fish & shellfish immunology*, 2018, 80: 487-496.
- [8] YANG W, WU J, SONG R, et al. Effects of dietary soybean lecithin on growth performances, body composition, serum biochemical parameters, digestive and metabolic abilities in largemouth bass *Micropterus salmoides* [J]. *Aquaculture Reports*, 2023, 29: 101528.
- [9] 韩冰. 大豆卵磷脂、胆固醇及其交互作用对半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis* Günther)稚鱼生长、消化酶活力及相关基因表达的影响[D]. 青岛:中国海洋大学,2013.
- [10] HAN B. Effects of dietary phospholipid, cholesterol and their interactions on growth performance, digestive enzymes and expression of related gene of tongue sole (*Cynoglossus semilaevis* Günther) larvae [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013.
- [10] 汤哲,林东晓,蔡明浪,等. 低鱼粉高脂饲料添加大豆卵磷脂对黄鳝生长、血清生化指标及肠道菌群的影响[J]. *水生生物学报*, 2024, 48(3): 361-371.
- [11] TANG Z, LIN D X, CAI M L, et al. low-fishmeal and high-fat diet supplement with soybean lecithin on growth, serum biochemical indexes and intestinal flora of rice field eel (*Monopterus albus*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2024, 48(3): 361-371.
- [11] PARIPATANANONT T. Snakehead and pangasius catfish, in nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture [M]. Oxford: CABI Publishing, 2002: 396 - 401.
- [12] HONG L W, THEYVEEKA SELVY A, RAJOO P, et al. Channa Striatus Effectiveness in Wound-healing: A Scoping Review [J]. *IJRAR-International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR)*, 2020, 7(1): 300-8.
- [13] 李彦先,王晓东,胡海滨等. 中成鱼阶段线鳢对饲料蛋白和脂肪的最适需求量[J]. *上海海洋大学学报*, 2023, 32(6): 1205-1215.

- LI Y X, WANG X D, HU H B, et al. Optimal protein and lipid requirements of snakehead, *Channa striata*, during the grow-out stage [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2023, 32(6): 1205-1215.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] AOAC International. official methods of analysis [M]. 22nd ed. Rockville, MD: AOAC International, 2023.
- [17] BAYLIAK M M, DEMIANCHUK I, GOSPODARYOV D V, et al. Mutations in genes *cnc* or *dKeap1* modulate stress resistance and metabolic processes in *Drosophila melanogaster* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2020, 248: 110746.
- [18] JAJIĆ I, KRSTOVIĆ S, GLAMOČIĆ D, et al. Validation of an HPLC method for the determination of amino acids in feed [J]. Journal of the Serbian Chemical Society, 2013, 78(6): 839-850.
- [19] ABDUL-HALIM H H, ALIYU-PAIKO M, HASHIM R. Partial replacement of fish meal with poultry by-product meal in diets for snakehead, *Channa striata* (Bloch, 1793), fingerlings [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2014, 45(2): 233-241. 19
- [20] YIGIT M, ERDEM M, KOSHIO S, et al. Substituting fishmeal with poultry by-product meal in diets for Black Sea turbot *Psetta maotica* [J]. Aquaculture Nutrition, 2006, 12(5): 340-347.
- [21] RAWLES S D, RICHE M, GAYLORD T G, et al. Evaluation of poultry by-product meal in commercial diets for hybrid striped bass (*Morone chrysops*♀×*M. saxatilis*♂) in Recirculated Tank Production [J]. Aquaculture, 2006, 259(1-4): 377-389.
- [22] YANG Y, XIE S, CUI Y, et al. Effect of replacement of dietary fishmeal by meat and bone meal and poultry by-product meal on growth and feed utilization of Gibel carp, *Carassius auratus gibelio* [J]. Aquaculture Nutrition, 2004, 10(5): 289-294.
- [23] YONES A M M, METWALLI A A. Effects of fishmeal substitution with poultry by-product meal on growth performance, nutrients utilization and blood contents of juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Journal of Aquaculture Research and Development, 2015, 7(1): 1000389.
- [24] KARAPANAGIOTIDIS I T, PSOFAKIS P, MENTE E, et al. Effect of fishmeal replacement by poultry by-product meal on growth performance, proximate composition, digestive enzyme activity, haematological parameters and gene expression of gilthead seabream (*Sparus aurata*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2019, 25(1): 3-14.
- [25] KARAPANAGIOTIDIS I T, PSOFAKIS P, MENTE E, et al. Effect of fishmeal replacement by poultry by-product meal on growth performance, proximate composition, digestive enzyme activity, haematological parameters and gene expression of gilthead seabream (*Sparus aurata*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2019, 25(1): 3-14.
- [26] LIN S M, LI F J, YUANGSOI B, et al. Effect of dietary phospholipid levels on growth, lipid metabolism, and antioxidative status of juvenile hybrid snakehead (*Channa argus*×*Channa maculata*) [J]. Fish physiology and biochemistry, 2018, 44: 401-410.
- [27] EL-NAGGAR K, MOHAMED R, EL-KATCHA M I, et al. Plant ingredient diet supplemented with lecithin as fishmeal and fish oil alternative affects growth performance, serum biochemical, lipid metabolism and growth-related gene expression in Nile tilapia [J]. Aquaculture Research, 2021, 52(12): 6308-6321.
- [28] MARTINS D A, VALENTE L M P, LALL S P. apparent digestibility of lipid and fatty acids in fish oil, poultry fat and vegetable oil diets by Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L [J]. Aquaculture, 2009, 294 (1-2) : 132-137.
- [29] NG W K, SIGHOLT T, GORDON BELL J. The influence of environmental temperature on the apparent nutrient and fatty acid digestibility in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed finishing diets containing different blends of fish oil, rapeseed oil and palm oil [J]. Aquaculture Research, 2004, 35(13): 1228-1237.
- [30] XU N, DING T, LIU Y, et al. Effects of dietary tributyrin on growth performance, body composition, serum biochemical indexes and lipid metabolism-related genes expression of juvenile large Yellow croaker (*Larimichthys crocea*) fed with high level soybean oil diets [J]. Aquaculture Nutrition, 2021, 27(2): 395-406.
- [31] OLSEN R E, TORE D B, MYKLEBUST R, et al. Effect of soybean oil and soybean lecithin on intestinal lipid composition and lipid droplet accumulation of Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* Walbaum [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2003, 29: 181-192.

Effects of fishmeal replacement with poultry meal and fish oil replacement with soy lecithin on the growth, feed utilization and body composition in grow-out stage snakehead, *Channa striata*

LI Yanxian^{1,2,3}, HU Haibin^{1,4}, ZHANG Jian⁴, PAN Leilei⁴, JIANG Ruili⁴, SONG Tao⁴, YUN Biao¹, ZHUANG Jiecheng³, XIE Shouqi², QIAN Xueqiao^{1,5}

(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. Guangdong Haid Biotechnology Group Co., Ltd., Guangzhou 511400, Guangdong, China; 5. Key Laboratory of Microbial Resource Management and Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 511400, Guangdong, China)

Abstract: To investigate the optimal fishmeal and fish oil replacement levels in grow-out stage snakehead (initial body mass 150 g), *Channa striata*, we first explored the optimal fishmeal replacement level by substituting 0%, 17%, 33%, 50%, 67%, and 83% of fishmeal 65 (65%-protein fishmeal) with poultry meal respectively, resulting in six iso-nitrogenous and iso-lipidic experimental diets. The diets were fed to fish to apparent satiation twice daily for 8 weeks. Subsequently, we evaluated the optimal level of fish oil substitution by replacing 0%, 13%, 25%, 38%, 50%, and 63% of fish oil with soy lecithin, resulting in six iso-nitrogenous and iso-lipidic experimental diets. The diets were also fed to fish to apparent satiation twice daily for 8 weeks. Results showed replacing fishmeal 65 with poultry meal had no significant effects on the growth performance, body indices, nutrient apparent digestibility, or body composition of snakehead fish ($P > 0.05$). Substituting fish oil with soy lecithin did not significantly influence the growth performance, body indices, or body composition of the fish ($P > 0.05$), nor did it affect the apparent digestibility of dry matter and crude protein ($P > 0.05$); however, a minor significant reduction in the apparent digestibility of crude lipids (~2%) was observed when fish oil substitution levels reached or exceeded 38% ($P < 0.05$). Results on growth, feed utilization, and body composition indicate that poultry meal can replace up to 83% of fishmeal 65 and soy lecithin up to 63% of fish oil in diets for grow-out stage snakehead. This study fills the research gap in the substitution of fishmeal and fish oil during the grow-out phase of *Channa striata*, offering valuable data for optimizing commercial feed composition and reducing costs.

Key words: *Channa striata*; grow-out stage; fishmeal replacement; fish oil replacement