

郭薇, 尹恒, 莫爱杰, 等. 饲料蛋白水平对鳊生长、消化和代谢的影响[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(4): 215-224.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2023.04.025

饲料蛋白水平对鳊生长、消化和代谢的影响

郭薇¹, 尹恒², 莫爱杰¹, 翟昱翔¹, 矣林园¹, 杨慧君¹, 袁勇超¹

1. 华中农业大学水产学院/农业动物遗传育种与繁殖教育部重点实验室/
农业农村部淡水生物繁育重点实验室, 武汉 430070; 2. 湖北省农业事业发展中心, 武汉 430070

摘要 为确定不同规格的鳊(*Siniperca chuatsi*)对饲料蛋白水平的需求,以G1、G2、G3规格的初始体质量分别为(11.58±1.34)、(94.77±2.59)和(245.26±3.59) g的鳊为研究对象,研究不同蛋白水平饲料对其生长性能、饲料利用率、形态指标、消化酶活性、抗氧化能力和氨氮排泄的影响。结果显示,G1和G2组鳊特定生长率、终末体质量和增重率均在蛋白水平为500 g/kg时最高,但G3组鳊在饲料蛋白水平为450 g/kg时达到最大值;饲料系数则呈现出相反的变化趋势。特定生长率折线回归模型结果显示,3种规格鳊的最适蛋白需求分别为497.1、451.9和446 g/kg。G1和G2组鳊摄食低蛋白水平(350 g/kg和400 g/kg)饲料时存活率均显著低于其他各组,但饲料蛋白水平对G3组鳊的存活率无显著影响。G1和G2组鳊肥满度、肝体比和脏体比与饲料蛋白含量呈负相关($P<0.05$)。随饲料中蛋白含量升高,G1和G3组鳊对饲料干物质的表观消化率均先上升后趋于稳定,而G2组鳊呈先升后降的趋势。在一定的蛋白水平范围内,3种规格的鳊粗蛋白表观消化率与饲料中蛋白含量呈正相关($P<0.05$),在蛋白水平为500 g/kg时达到峰值,随后保持不变;前肠胰蛋白酶活性有着相似的变化趋势。3种规格的鳊肝脏中的谷丙转氨酶、谷草转氨酶活力随饲料蛋白含量的增加而明显增高($P<0.05$)。其氨氮排泄率均在摄食后6 h达到高峰,并随着饲料蛋白水平的提高均显著增加;饲料蛋白水平为550 g/kg和600 g/kg时,G3组鳊的氨氮排泄率显著高于G1组。以上结果表明,饲料蛋白含量对3种规格鳊的生长性能及消化、代谢指标均有明显的影响,确定最适蛋白需求量才能达到最理想的鳊健康养殖效果。

关键词 鳊; 饲料蛋白水平; 生长性能; 表观消化率; 氨氮排泄; 精准养殖

中图分类号 S965.199 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2023)04-0215-10

鳊(*Siniperca chuatsi*)是一种传统的肉食性鱼类,目前主要依赖饲喂鲜活饵料鱼进行养殖,但是因饵料鱼供应不稳定、且质量无法保障导致鳊活饵料鱼养殖产量和效益极其不稳定。因此,科学工作者一直在通过品种选育和人工驯化来提高鳊对配合饲料的摄食选择性和利用率,并取得一定的进展^[1-2]。到目前为止,有关鳊对饲料蛋白需求的研究主要集中在鳊幼鱼的早期阶段^[3-4],但对于中大规格鳊饲料蛋白最适需求的研究仍然缺乏系统性评估。

不同试验条件、不同鱼种和不同规格鱼类对饲料蛋白需求存在明显差异^[5-6]。精准地确定不同规格鱼类对蛋白质的适宜需求,不仅能提高鱼类生长性能、减少饲料成本,还能降低排放^[7]。因此,我们选择3种规格的鳊进行饲养试验,评估不同蛋白水平

饲料对鳊的生长性能、饲料利用以及氨氮排泄的影响,旨在确定3种规格鳊的最适饲料蛋白水平,为鳊的养殖和饲料的有效研发提供一定的参考依据。

1 材料与方法

1.1 饲料配制

以白鱼粉、酪蛋白和发酵豆粕作为蛋白来源,以鱼油和大豆油作为脂质来源,加入 α -淀粉使之达到等脂等能。设计6种饲料的蛋白质水平350、400、450、500、550和600 g/kg,分别编号为Diet 35、Diet 40、Diet 45、Diet 50、Diet 55、Diet 60,饲料配方如表1所示。其中,维生素预混料(mg/kg):硫胺素,20;核黄素,40;维生素B₆,30;维生素B₁,0.2;维生素K₃,20;肌醇,800;泛酸,120;烟酸,400;叶酸,60;生物

收稿日期: 2022-05-07

基金项目:湖北省重点研发计划项目(2020BBA056)

郭薇, E-mail: 2765419767@qq.com

通信作者: 袁勇超, E-mail: yyc@mail.hzau.edu.cn

素, 2.50; 醋酸视黄醇, 60; 胆钙化醇, 10; α -生育酚, 240; 抗坏血酸, 2 000。矿物质预混料(mg/kg): CaH_2PO_4 , 500; NaF, 2; KI, 1.0; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 80; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 10; $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 140; $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 70; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 60; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 1200; $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 1 000; NaCl, 100。添加 Cr_2O_3 (1 g/kg) 作为情

性标记物。所有试验饲料均通过V型搅拌机混匀30 min, 然后加入油脂, 用Hobart搅拌机混匀, 混匀后向饲料中加入蒸馏水(300 mL/kg)以便于制粒。然后将饲料通过制粒机加工成合适尺寸的纺锤形颗粒, 方便鳊摄食。将制备好的饲料置于 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 下储存以备使用。

表1 饲料配方及组成(干物质)

Table 1 Feed formula and composition (dry matter)

项目 Item	Diet 35	Diet 40	Diet 45	Diet 50	Diet 55	Diet 60
成分 Component						
白鱼粉/(g/kg) White fish meal	265	303	341	378	416	454
酪蛋白/(g/kg) Casein	190	217	244	271	299	326
发酵豆粕/(g/kg) Fermented soybean meal	10	11	13	14	15	17
α -淀粉/(g/kg) α -Starch	70	70	70	70	70	70
鱼油/(g/kg) Fish oil	40	40	40	40	40	40
豆油/(g/kg) Soybean oil	30	30	30	30	30	30
磷脂/(g/kg) Phospholipid	10	10	10	10	10	10
微晶纤维素/(g/kg) Microcrystalline cellulose	331	265	199	132	66	0
维生素预混料/(mg/kg) Vitamin premix	20	20	20	20	20	20
矿物预混料/(mg/kg) Mineral premix	15	15	15	15	15	15
甜菜碱/(g/kg) Betaine	10	10	10	10	10	10
磷酸二氢钙/(g/kg) CaH_2PO_4	5	5	5	5	5	5
氯化胆碱/(g/kg) Choline chloride	2	2	2	2	2	2
防霉剂/(g/kg) Mould inhibitor	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
三氧化二铬/(g/kg) Cr_2O_3	1	1	1	1	1	1
营养组成 Nutrient composition						
粗蛋白/(g/kg) Crude protein	347	402.3	449.7	503.4	547.7	598.6
粗脂肪/(g/kg) Crude lipid	82.3	84.2	85.4	85	87.1	86.3
粗灰分/(g/kg) Crude ash	50.6	49.8	51	50.9	48.9	50.8
总能量/(MJ/kg) Gross energy	22.31	21.89	22.61	21.47	23.02	22.18

1.2 试验动物和喂养试验

试验鳊购自武汉市农业科学院的水产繁育基地。试验开始前, 鳊按照Liang等^[1]设计的一套特殊的驯化过程, 饲喂基础日粮2周以适应饲料和实验室条件。驯化期结束后, 将试验鳊随机投放到试验玻璃缸(120 cm \times 60 cm \times 120 cm)中进行生长试验, 每个玻璃缸投放30尾; 每组设3个重复。G1组鳊的饲料蛋白水平设置为400、450、500、550和600 g/kg, G2、G3组鳊的饲料蛋白水平设置为350、400、450、500、550和600 g/kg。养殖期间玻璃缸内养殖用水经碳过滤和充分曝气(养殖水体水中溶解氧约为5.27~5.89 mg/L; pH值: 7.4~8.3; 总氨氮: 0.006~0.046 mg/L; 水温: 25.3~27.5 $^\circ\text{C}$)。光周期与自然光照时间保持一致。每天于07:00和18:00投喂, 投喂率约为体质量的2.5%~5%。每天统计死亡鳊数量并称体质量。

1.3 样品收集和分析

在驯化期结束后, 称量并记录试验鳊的初始体质量。G1组采集30尾试验鱼, G2、G3组分别采集12尾鱼, $-80\text{ }^\circ\text{C}$ 储存, 用于测定鱼体营养成分。第5周开始收集粪便, 每周收集5 d, 参照Mo等^[2]的方法每2 h收集1次粪便, 保存于 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱, 直至有足够的粪便样品可供后续分析为止。饲养8周后, 试验鳊停食24 h, 然后用100 mg/L MS-222 (Tricaine methanesulfonate) 将鱼麻醉, 测量鱼体的终末体质量和体长等数据。从每个缸中取6尾鳊, 用于测定鱼体营养成分分析; 取9尾鳊的肝脏, 在液氮中迅速冷藏, 并储藏在 $-80\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱, 用于测定抗氧化酶活性。将9尾鳊的前肠放置于液氮低温冷冻, 并保存至 $-80\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱, 用于检测消化酶活力。

增重率(weight gain rate, WGR)、特定生长率(specific growth rate, SGR)、饲料系数(food coeffi-

cient rate, FCR)、蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER)、蛋白沉积率(protein deposition rate, PDR)、存活率(survival rate, SR)、肝体比(hepatosomatic index, HSI)、脏体比(viscerasomatic index, VSI)和肥满度(condition factor, CF)按参考文献[8]的公式计算。

1.4 表观消化率测定

采用AOAC(1984)所述常规方法对饲料样品和粪便进行营养成分分析。用电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES, Vista-MPX; Varian, Inc./Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA)测定饲料和粪便中Cr₂O₃的含量。试验和基础饲料的营养物质、干物质(DM)和能量表观消化率(apparent digestibility coefficient, ADC)计算公式如下:

$$\text{干物质表观消化率} = 100\% - 100\% \times A_1/A_2$$

$$\text{营养物质的表观消化率} =$$

$$100\% - 100\% \times (A_1/A_2) \times (B_1/B_2)$$

上述公式中, A₁、A₂分别表示饲料和粪便中Cr₂O₃的含量, %; B₁、B₂分别指饲料和粪便中粗蛋白的含量, %。

1.5 酶活性测定

使用试剂盒(南京建成生物工程研究所, 南京)检测肝脏谷丙转氨酶(GPT)和谷草转氨酶(GOT)、前肠胰蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶的活性。将肝脏或前肠样品称质量后, 在1/10 (m/V) 0.01 mol/L PBS (pH 7.4)中用JX-24组织分析仪(净信实业发展有限公司, 上海)以65 Hz的频率匀浆2 min, 然后将在4℃下以1 000 r/min离心10 min, 收集上清液。采用Bradford法, 以牛血清白蛋白为标准, 检测上清蛋白总量。

1.6 氨氮排泄率测定

在饲养8周后, 从每组随机抽取10尾健康鳊进行氨氮排泄率的测定。准备20 L的圆形塑料桶用作代谢瓶, 瓶中装入适量脱氯自来水; 每个代谢瓶不断曝气, 确保瓶中溶氧不低于5 mg/L。每组设置5个代谢瓶与1个空白对照瓶, 每个瓶中放入2尾鳊。试验开始前, 按照“材料与方法1.2”喂养试验的方法进行喂养。投喂2 h后, 去除瓶中残留饲料, 在整个试验期间, 根据水中氨氮的浓度, 代谢瓶里的水换为新水, 并清除粪便以消除外界干扰。温度为5~24℃, 溶解氧大于0.5 mg/L(2 h 1次, 监测24 h), 计算出每小时每千克体质量的氨氮排放量。

使用Berthelot脲酶法(试剂盒来自中国上海生物制品研究所)测定水样中氨氮浓度, 氨氮排泄率的计算参照文献[9]中的公式, 并进行修正, 如下:

$$U = V \times [(\rho_2 - \rho_2^0) - (\rho_1 - \rho_1^0)] / (t \times m)$$

其中, U代表试验过程中养殖水体的氨氮排泄率

[mg/(kg·h)], V表示试验期间代谢瓶内水的体积, ρ₁和ρ₂分别代表试验过程中初始和最终水样的氨氮质量浓度, mg/L; ρ₁⁰和ρ₂⁰分别代表试验过程中空白对照瓶水样中氨氮的质量浓度, mg/L; m为鱼体质量, kg; t是最终采集水样与起始采集水样的时间间隔, h。

1.7 统计分析

试验数据以“平均值±标准差”表示。所有试验数据经Excel处理, 在检测试验数据的正态分布和方差齐性后, 使用SPSS 17.0对数据进行单因素方差分析(one way ANOVA)和Duncan's法检验^[10], 分析组间的差异显著性, 显著水平设为α=0.05。

2 结果与分析

2.1 饲料蛋白含量对不同规格鳊生长性能、饲料利用率及形态指标的影响

由表2可知, G1组鳊, 当饲料蛋白含量从400 g/kg增至500 g/kg时, 鳊的WGR和SGR均有明显提高(P<0.05), 在500 g/kg的饲料蛋白含量下, 达到最高值; 在饲料蛋白水平大于500 g/kg的处理组中, 鳊的WGR和SGR开始下降。当饲料蛋白水平超过500 g/kg时, 鳊的FCR显著升高(P<0.05), PER和PDR均显著降低(P<0.05)。鳊饲喂蛋白水平为550 g/kg的处理组SR最高, 显著高于蛋白水平400 g/kg的处理组(P<0.05), 但与蛋白水平为450 g/kg和500 g/kg的饲料处理组没有显著性差异(P>0.05)。投喂蛋白水平为500 g/kg的饲料, 鳊的CF、HSI和VSI要显著高于饲料水平为550 g/kg和600 g/kg的处理组, 但显著低于饲料蛋白水平为400 g/kg和450 g/kg的处理组。

G2组鳊, 在450 g/kg的饲料蛋白含量下, 其WGR和SGR值与更高蛋白水平处理组之间差异均不明显(P>0.05)。当饲料蛋白含量由350 g/kg增加至450 g/kg时, 鳊FCR值明显降低(P<0.05)。饲料蛋白水平高于500 g/kg后, 鳊的PER和PDR显著降低(P<0.05)。饲料蛋白水平为450 g/kg的处理组鳊的SR与更高蛋白水平处理组之间无显著差异, 且其SR均超过90%。CF随着饲料蛋白水平的升高而显著降低(P<0.05)。鳊的HSI和VSI在饲喂蛋白质水平高于450 g/kg的处理组之间没有显著性差异(P>0.05), 但显著低于饲料蛋白水平为350 g/kg和400 g/kg的处理组(P<0.05)。

G3组鳊, 其WGR和SGR均先升高后降低, 当饲料蛋白含量为450 g/kg时, 鳊的WGR和SGR最高。鳊的FCR在饲料蛋白水平为350 g/kg时显著高于其他处理组(P<0.05)。饲料蛋白含量升高, 鳊的PER

和PDR显著上升($P<0.05$),当饲料蛋白水平高于450 g/kg后降低。饲料蛋白水平对G3组鳊的SR无显著影响($P>0.05$),在所有处理中均超过96%。CF和VSI在不同处理间差异不显著($P>0.05$)。但随着饲料蛋白含量升高,鳊的HSI先下降,在饲料蛋白水平增加到450 g/kg后趋于稳定。

表2 不同饲料蛋白水平下3种规格鳊生长性能、饲料利用、存活率及形态指标的变化
Table 2 Changes of dietary protein level on growth, feed utilization, survival rate and morphological index of mandarin fish in three sizes

组别 Group	指标 Index	Diet 35	Diet 40	Diet 45	Diet 50	Diet 55	Diet 60
G1	IBW/g		11.76±1.53	11.34±0.79	11.58±2.34	11.63±1.28	11.22±0.76
	FBW/g		35.36±4.00a	43.26±2.59b	52.76±3.37c	51.37±2.13c	49.33±3.44c
	WGR/%		201.25±11.14a	281.78±4.15b	357.75±28.96c	345.00±47.84bc	341.80±54.20bc
	SGR/(%/d)		1.97±0.07a	2.39±0.02b	2.71±0.11c	2.66±0.19bc	2.64±0.23bc
	FCR		1.62±0.06c	1.41±0.01b	1.29±0.04a	1.31±0.06ab	1.31±0.09ab
	PER		1.54±0.02c	1.57±0.01c	1.56±0.04c	1.39±0.06b	1.27±0.09a
	PDR/%		27.02±0.34c	27.64±0.23c	27.46±0.75c	24.38±1.15b	22.31±1.54a
	SR/%		88.89±1.92a	91.11±1.92ab	92.22±1.92ab	94.45±3.85b	92.22±1.92ab
	CF/(g/cm ³)		2.64±0.11b	2.31±0.35a	2.28±0.34a	2.24±0.47a	2.26±0.55a
	HSI/%		1.85±0.13c	1.69±0.14b	1.42±0.09a	1.41±0.16a	1.50±0.16a
VSI/%		8.87±0.24d	8.59±0.23c	8.25±0.19b	8.19±0.12ab	8.00±0.13a	
G2	IBW/g	94.31±7.59	94.77±8.59	93.88±9.06	92.60±11.53	94.93±13.98	95.96±11.13
	FBW/g	172.50±16.19a	206.48±17.40b	225.82±16.65c	227.91±19.31c	225.32±10.95c	223.54±13.98c
	WGR/%	86.65±8.06a	118.02±11.13b	140.70±7.10c	146.37±15.70c	137.61±9.33c	132.94±2.65bc
	SGR/(%/d)	1.11±0.08a	1.39±0.09b	1.57±0.05c	1.61±0.11c	1.54±0.07c	1.51±0.02bc
	FCR	2.60±0.16c	2.12±0.13b	1.90±0.06a	1.86±0.11a	1.93±0.08ab	1.96±0.02ab
	PER	1.09±0.06b	1.18±0.08b	1.17±0.04b	1.08±0.06b	0.94±0.03a	0.85±0.01a
	PDR/%	18.90±1.06c	20.50±1.48c	20.34±0.63c	18.83±1.16c	16.38±0.61b	14.75±0.20a
	SR/%	86.67±3.34a	88.89±1.92ab	95.56±1.93c	94.44±1.93c	93.33±3.34bc	92.22±3.85bc
	CF/(g/cm ³)	2.56±0.15d	2.47±0.22c	2.40±0.32b	2.41±0.23b	2.33±0.12a	2.31±0.33a
	HSI/%	2.14±0.06c	1.83±0.14b	1.67±0.22a	1.65±0.13a	1.64±0.25a	1.60±0.14a
VSI/%	10.41±0.43c	8.75±0.29b	8.22±0.08a	8.12±0.16a	7.94±0.13a	7.92±0.19a	
G3	IBW/g	248.36±35.21	248.86±23.72	241.52±25.06	248.62±34.58	245.26±33.59	245.13±39.10
	FBW/g	345.38±24.23a	383.81±16.83b	395.82±23.36b	400.97±22.88b	394.20±30.92b	389.06±20.97b
	WGR/%	39.12±3.92a	54.24±2.90b	63.93±3.79c	61.26±2.91bc	60.74±4.06bc	58.90±8.39bc
	SGR/(%/d)	0.59±0.05a	0.77±0.03b	0.88±0.04c	0.85±0.03bc	0.85±0.05bc	0.83±0.10bc
	FCR	3.01±0.26b	2.30±0.09a	2.03±0.09a	2.09±0.08a	2.11±0.11a	2.18±0.26a
	PER	0.95±0.08b	1.09±0.05c	1.09±0.05c	0.96±0.04b	0.86±0.04ab	0.77±0.09a
	PDR	15.92±1.38b	18.51±0.89c	18.77±0.90c	16.44±0.65b	14.71±0.74ab	13.17±1.62a
	SR/%	97.78±1.92	98.89±1.92	96.67±3.34	96.67±0.00	97.78±1.92	98.89±1.92
	CF/(g/cm ³)	2.31±0.26	2.28±0.33	2.24±0.32	2.25±0.22	2.27±0.12	2.29±0.21
	HSI/%	2.12±0.24c	1.78±0.13b	1.55±0.12a	1.53±0.22a	1.51±0.35a	1.54±0.21a
VSI/%	9.07±0.44	9.12±0.56	9.12±0.36	8.96±0.39	8.82±0.21	8.66±0.17	

注:同一行数据不同的字母表示有显著差异($P<0.05$),下表同。Note: Treatments without a common alphabet are significantly different ($P<0.05$), the same as below. IBW: 初始体质量 Initial mean body weight; FBW: 终末体质量 Final mean body weight; WGR: 增重率 Weight gain rate; SGR: 特定增长率 Specific growth rate; FCR: 饲料系数 Food coefficient rate; PER: 蛋白质效率 Protein efficiency ratio; PDR: 蛋白沉积率 Protein deposition rate; SR: 存活率 Survival rate; CF: 肥满度 Condition factor; HSI: 肝体比 Hepatosomatic index; VSI: 脏体比 Viscerasomatic index.

对不同规格的鳊进行SGR折线回归模型分析(图1A、B、C),可见3种规格鳊对饲料蛋白质的适宜需求分别为497.1、451.9和446 g/kg。

2.2 饲料蛋白水平对不同规格鳊表观消化率的影响

由表3可知,随着饲料中蛋白水平的提高,G1和

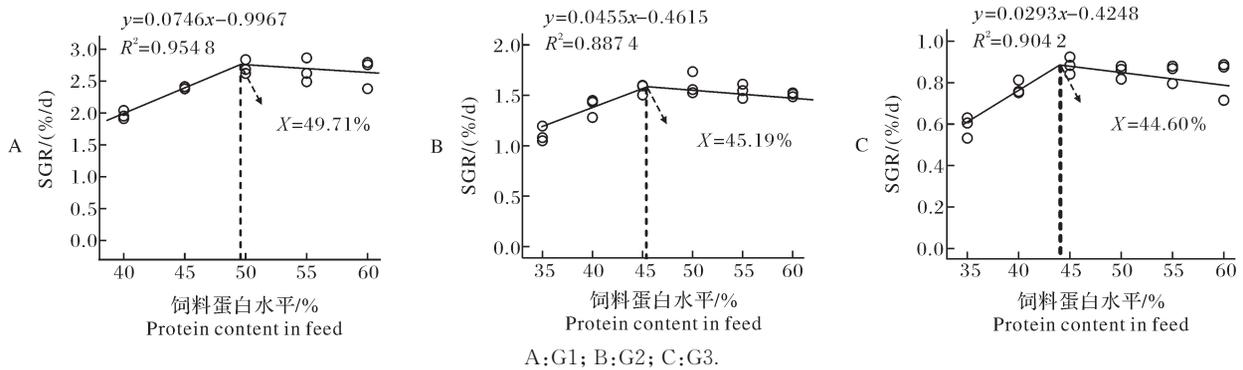


图1 鳊饲料蛋白水平与SGR的关系

Fig.1 Relationship between dietary protein levels and SGR of mandarin fish

表3 不同饲料蛋白含量下3种规格鳊营养物质表观消化率的变化

Table 3 Changes of dietary protein level on nutrients apparent digestibility coefficient of mandarin fish in three sizes

组别 Group	营养物质 Nutrients	Diet 35	Diet 40	Diet 45	Diet 50	Diet 55	Diet 60
G1	干物质 Dry matter		61.38±3.51a	63.92±6.56a	68.88±3.98b	69.00±4.06b	68.38±4.94b
	粗蛋白 Crude protein		76.00±5.62a	81.17±3.58b	86.04±2.21c	83.12±4.46b	81.56±4.57b
	粗脂肪 Crude lipid		84.91±4.09a	91.11±3.35ab	92.39±2.55b	93.41±4.62b	90.74±4.91ab
	总能 Gross energy		67.61±2.22a	73.03±4.00b	79.16±3.95c	77.90±4.02bc	76.57±2.98b
G2	干物质 Dry matter	63.10±3.64a	65.44±3.45ab	70.53±4.47c	70.87±3.54c	69.85±3.12bc	65.60±1.63ab
	粗蛋白 Crude protein	74.85±4.18a	80.97±3.13b	84.10±3.09c	85.54±3.80c	82.39±2.40bc	81.50±4.49b
	粗脂肪 Crude lipid	93.11±1.05	92.93±5.85	91.71±4.71	92.27±4.24	91.15±2.16	90.39±3.00
	总能 Gross energy	67.76±4.91a	70.26±0.89b	74.82±2.84c	75.38±3.86c	74.08±3.07bc	70.79±4.63ab
G3	干物质 Dry matter	67.28±0.48a	70.75±1.50b	70.84±1.30b	71.63±1.98b	70.83±1.54b	71.03±2.01b
	粗蛋白 Crude protein	75.71±3.67a	80.93±1.24b	85.79±2.90c	85.93±2.82c	82.48±3.45bc	81.94±2.59bc
	粗脂肪 Crude lipid	90.65±4.48	91.06±3.41	91.25±4.78	90.25±5.65	88.93±4.18	89.77±5.68
	总能 Gross energy	75.66±5.86	74.56±4.34	73.85±3.08	74.42±4.08	75.06±5.76	74.77±4.23

G2组鳊对饲料中干物质和总能量的ADC先显著上升($P<0.05$),然后趋于稳定。G3组鳊,只有饲喂最低蛋白水平饲料(350 g/kg)的鳊对饲料中干物质的ADC低于其他组。3种规格鳊,随着饲料蛋白含量的提高,鳊对饲料中粗蛋白的ADC先升高后降低。饲喂蛋白水平为550 g/kg的饲料,G1组鳊对饲料中粗脂肪的ADC最高,但是G2与G3组鳊对饲料中粗脂肪的ADC不随饲料中蛋白水平改变而改变。

2.3 饲料蛋白水平对不同规格鳊消化酶活性的影响

3种规格鳊的前肠胰蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶的检测结果如表4所示。G1和G2组鳊,随饲料蛋白水平的增加,胰蛋白酶活性显著提高($P<0.05$),蛋白含量大于450 g/kg后,G1组鳊的胰蛋白酶活性趋于稳定;蛋白含量高于400 g/kg后,G2组鳊的胰蛋白酶活性趋于稳定。然而,当饲喂高蛋白(550 g/kg和600 g/kg)饲料时,G3组鳊胰蛋白酶活性减弱。饲喂

蛋白水平为500 g/kg时,G1组鳊的胰蛋白酶活性达到最大值(21.50 ± 1.29) U/mg,饲喂蛋白水平为550 g/kg时,G2组鳊的胰蛋白酶活性达到最大值(31.54 ± 1.18)U/mg,此后随着饲料蛋白含量的增加,G1和G2组鳊的胰蛋白酶活性无显著性差异($P>0.05$)。不同规格鳊的前肠脂肪酶活性与饲料中蛋白含量不相关($P>0.05$)。G1组鳊的淀粉酶活性与饲料蛋白含量呈正相关($P<0.05$),但在饲料蛋白含量达到500 g/kg后降低。而G2和G3组鳊的淀粉酶活性与饲料中蛋白含量呈负相关($P<0.05$)。

2.4 饲料蛋白水平对不同规格鳊肝脏代谢酶活性的影响

由表5可见,G1组鳊的GPT活性与饲料蛋白含量呈正相关($P<0.05$)。G2、G3组鳊的GPT活性随饲料蛋白含量的增加而增加($P<0.05$),饲料蛋白含量达500 g/kg时,GPT活力基本稳定。肝脏GOT与

表4 不同饲料蛋白水平下3种规格鳊前肠消化酶活性变化

Table 4 Changes of dietary protein level on digestive enzyme activity in foregut of mandarin fish in three sizes

组别 Group	消化酶种类 Species of digestive enzyme	Diet 35	Diet 40	Diet 45	Diet 50	Diet 55	Diet 60
G1	胰蛋白酶/(U/mg) Trypsin		12.94±1.26a	17.77±1.50b	21.50±1.29c	21.28±1.37c	22.16±1.63c
	脂肪酶/(U/g) Lipase		25.56±1.54	29.79±3.22	28.93±8.52	25.60±3.60	25.77±1.41
	淀粉酶/(U/mg) Amylase		0.18±0.03a	0.39±0.03b	0.59±0.03c	0.42±0.04b	0.38±0.02b
G2	胰蛋白酶/(U/mg) Trypsin	21.32±1.02a	27.23±2.17b	31.22±0.87c	31.33±1.33c	31.54±1.18c	29.89±1.31c
	脂肪酶/(U/g) Lipase	32.56±2.51	32.76±2.56	32.30±3.00	33.10±1.94	32.61±2.80	32.49±1.17
	淀粉酶/(U/mg) Amylase	1.20±0.04e	0.78±0.04d	0.66±0.08c	0.55±0.03b	0.43±0.02a	0.40±0.04a
G3	胰蛋白酶/(U/mg) Trypsin	16.12±1.66a	19.04±1.22b	22.90±0.60d	22.08±2.90cd	19.83±0.92bc	18.66±0.59ab
	脂肪酶/(U/g) Lipase	26.40±1.92	26.46±1.99	25.39±1.60	24.55±1.06	24.14±0.57	24.50±0.98
	淀粉酶/(U/mg) Amylase	0.92±0.03e	0.84±0.03d	0.75±0.03b	0.45±0.08b	0.36±0.03a	0.34±0.01a

表5 不同饲料蛋白水平下3种规格鳊肝脏代谢酶活性变化

Table 5 Changes of dietary protein level on metabolic enzymes activities in liver of mandarin fish in three sizes

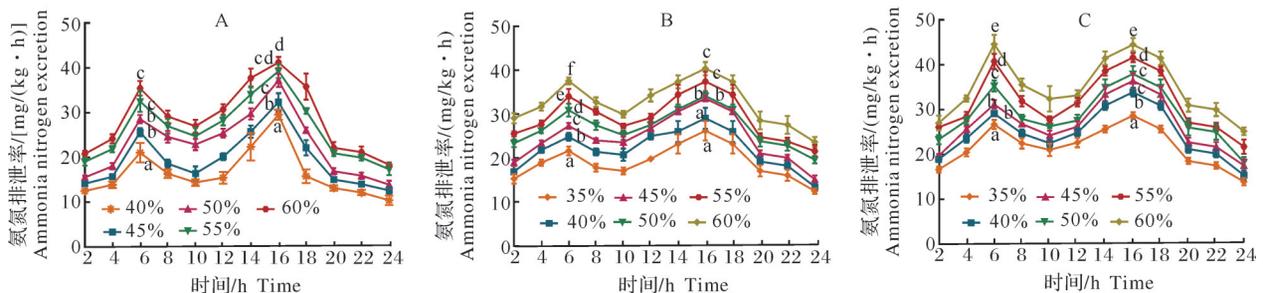
组别 Group	酶 Enzyme	Diet 35	Diet 40	Diet 45	Diet 50	Diet 55	Diet 60
G1	谷丙转氨酶 GPT		26.58±1.15a	34.83±2.02b	45.00±2.20c	49.95±1.91d	51.74±1.79d
	谷草转氨酶 GOT		37.42±2.75a	51.93±1.80b	62.57±3.83c	66.92±3.36cd	68.90±1.35d
G2	谷丙转氨酶 GPT	35.61±3.03a	40.87±1.18b	57.35±2.05c	59.92±1.81c	58.53±1.94c	57.43±2.82c
	谷草转氨酶 GOT	23.58±2.90a	32.47±2.85b	47.35±2.05c	50.43±0.71cd	52.32±1.13d	52.94±1.47d
G3	谷丙转氨酶 GPT	27.14±1.67a	40.72±4.43b	51.96±2.04c	61.59±2.04d	61.22±1.63d	62.47±2.50d
	谷草转氨酶 GOT	28.40±1.55a	33.37±2.71b	39.78±1.72c	44.86±1.04d	40.63±1.31c	38.01±1.71c

饲料蛋白质的含量有明显的相关性($P<0.05$),G1和G2组鳊,GOT活性随饲料蛋白含量的增加而显著上升($P<0.05$),然后趋于稳定。G3组鳊,500 g/kg蛋白质水平饲料处理组GOT活性最高,饲喂高蛋白饲料(550、600 g/kg)降低了鳊GOT活性。

2.5 饲料蛋白水平对不同规格鳊氨氮排泄率的影响

由图2可见,3种不同规格鳊的氨氮排泄率都呈现出明显的节律性。鳊在摄食后1~6 h氨氮排泄水平逐

渐上升,餐后6 h左右达到峰值,然后逐渐下降。3种规格的鳊,其氨氮排泄率与饲料蛋白水平均存在显著正相关。在同一蛋白水平下,随着鳊规格的增大,2个峰值之间的差异逐渐下降。在第1和第2个生长期,鳊氨氮排泄率第2个峰高于第1个峰,而在第3个生长期两者达到相同水平。特别是G2和G3组鳊,当饲料蛋白水平超过500 g/kg时,其氨氮排泄率要显著高于450 g/kg的处理组。同时,投喂高水平蛋白饲料时,G3组鳊的氨氮排泄率显著高于G1组($P<0.05$)。



A:G1; B:G2; C:G3. 不同字母表示不同蛋白水平处理在第6小时差异显著($P<0.05$)。Different letters indicate significant differences among treatments at the 6 hour and 16 hour ($P<0.05$).

图2 不同饲料蛋白水平下鳊摄食后氨氮排泄率的变化

Fig.2 Different dietary protein levels on the change of ammonia nitrogen excretion of mandarin fish after feeding

3 讨论

鳊的蛋白需求与其规格密切相关,在本试验条件下,3种规格鳊饲料适宜蛋白质水平分别为497.1、451.9和446 g/kg,G1组鳊的蛋白质需求量最高,这与丝尾鲤(*Hemibagrus wyckiioides*)^[11]、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)^[12]、眼斑拟石首鱼(*Sciaenops ocellatus*)^[13]等的研究结果一致。鱼类在其幼体阶段,生长速度快、代谢能力强,需要摄食大量蛋白来合成体蛋白,所以对蛋白质水平要求较高,而随着鱼体的生长,其体内蛋白质含量逐渐增加,体质量增加速度也逐渐放缓,于是成鱼阶段对蛋白质的需求相对较低。另外,也有一些研究显示,肉食动物在生命周期初期,由于对糖类和脂肪的吸收利用能力较差,所以需要大量的蛋白质^[14]。

本研究中,随着饲料蛋白水平的提高,3种规格鳊WGR、SGR先升高后下降。低蛋白组鳊的生长性能较差,可能是由于蛋白含量不足,不能为鱼体细胞、组织及机体合成蛋白质提供足够的氨基酸和生长代谢所需的能量^[15]。也有研究表明,纤维素会降低饲料的适口性导致鱼类摄食量下降,且不能被分解,会加快营养物质在体内的排空速度,从而降低鱼类生长性能^[16]。本试验的饲料配方中,低蛋白饲料组纤维素含量较高,因此,低蛋白组鳊出现较低的生长性能也可能是受到饲料纤维素的影响。本研究发现,饲料蛋白水平超过450 g/kg时,对G2和G3组的鳊的生长性能没有明显的影响($P>0.05$),这与王贵英等^[4]的研究一致,随着饲料中蛋白质水平从326.1 g/kg增加至563 g/kg,鳊的SGR和PER先显著增加,饲料蛋白水平达到500 g/kg后减少。高水平蛋白可用作代谢的能量来源,或转化为葡萄糖、脂质作为能量储备,同时,饲料中蛋白水平过高,使饲料蛋白质能量比升高,大量蛋白被用于能量的消耗而不是合成体蛋白^[17-18],导致鳊SGR和PER降低。而且,蛋白水平过高会给鱼体带来代谢负担,增加氮排泄并破坏水质^[19],可能导致本研究中PER和PDR随着饲料蛋白水平的升高先升高后降低。本试验结果表明,随着饲料蛋白水平的提高,3种规格鳊的FCR显著下降。在黑莓鲈(*Paralabrax maculatofasciatus*)幼鱼^[20]以及罗非鱼(*Sarotherodon mosambicus*)幼鱼^[21]的研究中也出现了相似的结果。若饲料中蛋白含量过低,首先会影响到肠黏膜以及肠道消化腺细胞的更新,然后肝脏和胰脏的细胞因用于维持和更新的蛋白质不足而不能维持正常结构和机能,从而

引起消化功能障碍,导致FCR升高。

本研究中,3种不同规格的鳊的干物质ADC范围从61.38%到71.63%,这一结果与Mo等^[2]评估鳊对9种蛋白质来源的表观消化率的报道相近。饲料中蛋白含量越高,粗蛋白质ADC先升高后降低。Carvalho等^[22]研究发现,在蛋白含量为495.62 g/kg的日粮中,初始体质量为(27.02±0.27) g的小锯盖鱼(*Centropomus parallelus*)的蛋白质ADC最大,说明饲料蛋白质过高时,营养物质消化率下降。这可能是由于高蛋白对消化酶活性的抑制作用导致的^[23]。本研究观察到G2和G3鳊的胰蛋白酶活性在饲喂高水平蛋白的饲料时略有下降。此外,中、大规格鳊对饲料中粗脂肪的ADC与脂肪酶的活性不受饲料蛋白水平的影响。Qin等^[24]的研究表明,乌苏里拟鲮(*Pseudobagrus ussuriensis*)幼鱼的胃蛋白酶活性在饲料蛋白水平为400 g/kg时达到最大值,脂肪酶和淀粉酶无显著差异。本试验结果表明,3种规格鳊胰蛋白酶的活性在一定的范围内随饲料蛋白含量上升而增加。合理的蛋白质含量可以促进鱼体的多种消化酶的合成和分泌,从而促进鱼体的新陈代谢。同时,消化酶还能促进蛋白质的合成,使蛋白质更有效地被利用。本试验结果表明:随着饲料蛋白含量的增加,消化酶活力下降,可能是体内多余蛋白质代谢产生了过量氨氮代谢物,抑制消化酶活性所致。有研究表明,肉食性鱼类对高蛋白水平饲料的利用能力较强,相反,利用淀粉的能力较低^[18,25],淀粉酶活性对鱼类的各种摄食习性有不同的影响,与杂食和草食性鱼类相比,肉食性鱼类的淀粉酶活性较低^[26]。本试验结果表明:G1规格鳊的淀粉酶活力随饲料蛋白含量的增加而先上升后下降,G2和G3规格鳊的淀粉酶活力降低。然而,在Qin等^[24]的研究中黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)的淀粉酶活性没有受到蛋白质水平变化的影响,同样的在翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis* Bleeker)^[27]、方正银鲫(*Fang zheng Caucian carp*)幼鱼^[28]中淀粉酶活性也不随饲料蛋白水平变化而显著改变。淀粉酶活性在鳊体内随着饲料蛋白水平提高而改变的机制还有待研究。

GPT和GOT对动物氨基酸代谢非常重要。氨基酸代谢酶的活性和氮排泄的水平是饲料蛋白质利用的重要指标^[18]。在本研究中,G1和G2规格鳊的肝脏GPT和GOT活性随着饲料蛋白含量的增加先升高后稳定,这与曾本和等^[15]对拉萨裸裂尻鱼

(*Schizopygopsis younghusbandi* Regan) 幼鱼的研究结果一致。高蛋白饲料中蛋白质代谢酶的活性显著增加,表明鱼可以有效地利用饲料氨基酸促进生长并作为糖异生的底物^[18]。同样地,当给鱼类饲喂高蛋白饲料时,肝脏中氨基酸代谢酶活性的升高可能表明鱼体利用饲料中的氨基酸和糖异生底物来促进生长^[29]。氨基酸代谢酶的活性增加,转化更多的氨基酸,这个过程必然会导致氨氮排泄的增加。

水体中氨浓度过高会对鱼虾的肾、肝、脾、甲状腺和血液组织产生严重影响。而亚硝酸盐会影响机体氧气的正常运输,损害身体的组织和器官^[30]。本研究中,在投饲6 h后均观察到氨氮排泄达到峰值,这与对尖塘鳢(*Oxyeleotris marmorata* Bleeker)^[31]、翘嘴鲌(*Culter alburnus*)^[32]、尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[33]的研究结果相同。喂食后氨氮排泄出现峰值的时间也可能与鱼种、温度和饲料的蛋白源有关。Fang等^[30]的研究表明,鳊在摄食后4~8 h和草鱼在摄食后2~4 h的氨氮排泄率最高。本研究中,氨氮排泄率的第2个峰值比第1个高,这可能是由于前期摄食代谢积累所致。氨氮排泄率在排泄高峰期后逐渐减少,一般恢复到摄入前的值^[34]。试验鱼摄食的饲料蛋白含量越高,氨氮的排泄率显著增加。王桂芹等^[32]的研究表明翘嘴鲌幼鱼的每日氨氮排泄量与饲料蛋白水平呈正相关。本研究中,饲喂低蛋白质饲料显著降低了鳊的氨氮排泄,其原因是饲料蛋白水平低,大部分蛋白质被用于合成体蛋白。试验鱼饲料蛋白水平过高时,多余的蛋白质被作为能量源用于代谢等生理过程,会导致机体排放更多的氨氮,水体负荷增加,养殖鱼类的健康受到威胁^[35]。

综上所述,饲料蛋白含量对3种规格鳊的生长性能、饲料利用率、鱼体营养成分、抗氧化能力和氨氮排泄有明显的影响。蛋白质含量偏高或偏低都会对鱼类的生长发育产生一定的影响。此外,高蛋白饲料增加了氨氮水平及其代谢物,从而对培养环境产生了显著的毒性作用。本研究旨在确定3种规格鳊的最佳蛋白质水平,为开发具有最佳生长性能和抗氧化能力的新型鳊饲料提供有价值的信息。鳊的最佳蛋白质需要量与其规格密切相关,根据不同规格的鳊进行SGR折线回归模型分析,初始体质量为(11.58±1.34)、(94.77±2.59)和(245.26±3.59) g的鳊最适蛋白质需求量分别为491.7、451.9和446 g/kg。

参考文献 References

- [1] LIANG X F, OKU H, OGATA H Y, et al. Weaning Chinese perch *Siniperca chuatsi* (Basilewsky) onto artificial diets based upon its specific sensory modality in feeding[J]. Aquaculture research, 2001, 32: 76-82.
- [2] MO A J, SUN J X, WANG Y H, et al. Apparent digestibility of protein, energy and amino acids in nine protein sources at two content levels for mandarin fish, *Siniperca chuatsi* [J]. Aquaculture, 2019, 499: 42-50.
- [3] SANKIAN Z, KHOSRAVI S, KIM Y O, et al. Dietary protein requirement for juvenile mandarin fish, *Siniperca scherzeri* [J]. Journal of the world aquaculture society, 2019, 50(1): 34-41.
- [4] 王贵英, 曾可为, 高银爱, 等. 鳊配合饲料的最适蛋白质含量[J]. 水生生物学报, 2005, 29(2): 189-192. WANG G Y, ZENG K W, GAO Y A, et al. The optimum dietary protein level for *Siniperca chuatsi* [J]. Acta hydrobiologica sinica, 2005, 29(2): 189-192 (in Chinese with English abstract).
- [5] GARLING D L Jr, WILSON R P. Optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus* [J]. The journal of nutrition, 1976, 106(9): 1368-1375.
- [6] 杨伟杰, 莫爱杰, 杨慧君, 等. 克氏原螯虾不同生长阶段饲料适宜蛋白水平的研究[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(1): 170-178. YANG W J, MO A J, YANG H J, et al. Protein requirement of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) at three different growth stages [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41(1): 170-178 (in Chinese with English abstract).
- [7] CRAIG S, HELFRICH L A. Understanding fish nutrition, feeds, and feeding [M]. Yorktown: Virginia Cooperative Extension, 2002: 4.
- [8] 杨伟杰. 饲料蛋白水平、投喂水平和投喂频率对克氏原螯虾生长和健康的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022. YANG W J. The effects of dietary protein level, feeding frequency and feeding level on growth and health of *Procambarus clarkii* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022 (in Chinese with English abstract).
- [9] 李军, 骆小年, 徐忠源, 等. 鸭绿沙塘鳢耗氧率、氨氮排泄率与临界窒息点研究[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(5): 685-691. LI J, LUO X N, XU Z Y, et al. Studies on the oxygen consumption rate and critical stifling point of *Odontobutis yaluensis* [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(5): 685-691 (in Chinese with English abstract).
- [10] DUNCAN D B. Multiple range and multiple *F* tests [J]. Biometrics, 1955, 11(1): 1.
- [11] DENG J M, ZHANG X, BI B L, et al. Dietary protein requirement of juvenile Asian red-tailed catfish *Hemibagrus wyckioides* [J]. Animal feed science and technology, 2011, 170(3/4): 231-238.
- [12] 廖朝兴, 黄忠志. 草鱼种在不同生长阶段对饲料蛋白质需要的研究[J]. 淡水渔业, 1987, 17(1): 1-5. LIAO C X, HUANG Z Z. Study on feed protein requirement of grass carp species at different growth stages [J]. Freshwater fisheries, 1987, 17(1): 1-5 (in Chinese).
- [13] 姜才根, 王玮玮, 谢夏全, 等. 眼斑拟石首鱼养殖全程的饲料蛋白最适含量[J]. 福建农业学报, 2005, 20(S1): 7-12. JIANG

- C G, WANG W W, XIE X Q, et al. Study on the optimal dietary protein levels for red drum *Sciaenops ocellatus* in the whole cultured process [J]. Fujian journal of agricultural sciences, 2005, 20 (S1): 7-12 (in Chinese with English abstract).
- [14] HEMRE G I, DENG D F. Dietary nutrients, additives, and fish health [M]. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2015: 95-110.
- [15] 曾本和, 刘海平, 王建, 等. 饲料蛋白质水平对拉萨裸裂尻鱼幼鱼肌肉氨基酸及蛋白质代谢的影响 [J]. 中国水产科学, 2019, 26(6): 1153-1163. ZENG B H, LIU H P, WANG J, et al. Effects of dietary protein levels on muscular amino acids and protein metabolism of *Schizopygopsis younghusbandi* younghusbandi Regan [J]. Journal of fishery sciences of China, 2019, 26(6): 1153-1163 (in Chinese with English abstract).
- [16] 吴凡, 文华, 蒋明, 等. 饲料碳水化合物水平对吉富罗非鱼幼鱼生长性能和血液主要生化指标的影响 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2012, 40(12): 8-14. WU F, WEN H, JIANG M, et al. Effects of different dietary carbohydrate levels on growth performance and blood biochemical parameters of juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Journal of Northwest A & F University (natural science edition), 2012, 40(12): 8-14 (in Chinese with English abstract).
- [17] TELES A O, COUTO A, ENES P, et al. Dietary protein requirements of fish: a meta-analysis [J/OL]. Reviews in aquaculture, 2019: raq. 12391 [2022-05-07]. <https://doi.org/10.1111/raq.12391>.
- [18] MELO J F B, LUNDSTEDT L M, METÓN I, et al. Effects of dietary levels of protein on nitrogenous metabolism of *Rhamdia quelen* (Teleostei: Pimelodidae) [J]. Comparative biochemistry and physiology part A: molecular & integrative physiology, 2006, 145(2): 181-187.
- [19] 杨州, 杨家新. 暗纹东方鲀幼鱼对蛋白质的最适需要量 [J]. 水产学报, 2003, 27(5): 450-455. YANG Z, YANG J X. Optimum protein requirement of juvenile *Takifugu obscurus* [J]. Journal of fisheries of China, 2003, 27(5): 450-455 (in Chinese with English abstract).
- [20] ALVAREZ-GONZÁLEZ C A, CIVERA-CERECEDO R, ORTIZ-GALINDO J L, et al. Effect of dietary protein level on growth and body composition of juvenile spotted sand bass, *Paralabrax maculatofasciatus*, fed practical diets [J]. Aquaculture, 2001, 194(1/2): 151-159.
- [21] JAUNCEY K. The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of juvenile tilapias (*Sarotherodon mossambicus*) [J]. Aquaculture, 1982, 27(1): 43-54.
- [22] CARVALHO M A G, FERNANDES L F L, DE CARVALHO GOMES L. Digestibility, protein retention rate and ammonia excretion in juvenile fat snook (*Centropomus parallelus*) fed with different protein levels [J/OL]. Ciência rural, 2017, 47(7): e20160369 [2022-05-07]. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160369>
- [23] JANA S N, GARG S K, BARMAN U K, et al. Effect of varying dietary protein levels on growth and production of *Chanos chanos* (Forsskal) in inland saline groundwater: laboratory and field studies [J]. Aquaculture international, 2006, 14(5): 479-498.
- [24] QIN Q, CAO X F, DAI Y J, et al. Effects of dietary protein level on growth performance, digestive enzyme activity, and gene expressions of the TOR signaling pathway in fingerling *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. Fish physiology and biochemistry, 2019, 45 (5): 1747-1757.
- [25] LUNDSTEDT L M, MELO J F B, MORAES G. Digestive enzymes and metabolic profile of *Pseudoplatystoma corruscans* (Teleostei: Siluriformes) in response to diet composition [J]. Comparative biochemistry and physiology, Part B, Biochemistry & molecular biology, 2004, 137(3): 331-339.
- [26] YI T L, SUN J, LIANG X F, et al. Effects of polymorphisms in pepsinogen (PEP), amylase (AMY) and trypsin (TRY) genes on food habit domestication traits in mandarin fish [J]. International journal of molecular sciences, 2013, 14(11): 21504-21512.
- [27] 钱曦, 王桂芹, 周洪琪, 等. 饲料蛋白水平及豆粕替代鱼粉比例对翘嘴红鲌消化酶活性的影响 [J]. 动物营养学报, 2007, 19(2): 182-187. QIAN X, WANG G Q, ZHOU H Q, et al. Effect of dietary protein on the activities of digestive enzymes of topmouth culter (*Erythroculter ilishaeformis* Bleeker) [J]. Chinese journal of animal nutrition, 2007, 19(2): 182-187 (in Chinese with English abstract).
- [28] 桑永明, 杨瑶, 尹航, 等. 饲料蛋白水平对方正银鲫幼鱼生长、体成分、肝脏生化指标和肠道消化酶活性的影响 [J]. 水生生物学报, 2018, 42(4): 736-743. SANG Y M, YANG Y, YIN H, et al. Effects of dietary protein levels on growth performance, body composition, liver biochemical indices, and digestive enzyme activities of juvenile Chinese crucian carp [J]. Acta hydrobiologica sinica, 2018, 42(4): 736-743 (in Chinese with English abstract).
- [29] ALAM M S, LIANG X F, LIU L W. Indirect effect of different dietary protein to energy ratio of bait fish Mori diets on growth performance, body composition, nitrogen metabolism and relative AMPK & mTOR pathway gene expression of Chinese perch [J/OL]. Aquaculture reports, 2020, 16: 100276 [2022-05-07]. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100276>.
- [30] FANG L, BAI X L, LIANG X F, et al. Ammonia nitrogen excretion in mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) and grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fed practical diets: the effects of water temperature [J]. Aquaculture research, 2017, 48(3): 836-843.
- [31] LAM S S, AMBAK M A, JUSOH A, et al. Waste excretion of marble goby (*Oxyeleotris marmorata* Bleeker) fed with different diets [J]. Aquaculture, 2008, 274(1): 49-56.
- [32] 王桂芹, 周洪琪, 陈建明, 等. 饲料蛋白对翘嘴鲌氮排泄的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2008, 29(1): 92-96. WANG G Q, ZHOU H Q, CHEN J M, et al. The effect of dietary protein on nitrogen excretion in *Culter alburnus* juveniles [J]. Journal of South China Agricultural University, 2008, 29(1): 92-96 (in Chinese with English abstract).
- [33] OBIRIKORANG K A, GYAMFI S, GOODE M E, et al. Effect of soybean meal diets on the growth performance, ammonia excretion rates, gut histology and feed cost of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry [J]. Aquaculture research, 2020, 51(9): 3520-3532.
- [34] SUN L H, CHEN H R. Effects of ration and temperature on growth, fecal production, nitrogenous excretion and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. Aquaculture, 2009, 292(3/4): 197-206.

[35] MCGOOGAN B B, GATLIN D M. Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum,

Sciaenops ocellatus L. Effects of dietary protein and energy levels [J]. *Aquaculture*, 1999, 178(3/4): 333-348.

Effects of dietary protein levels on growth, digestion and metabolism of *Siniperca chuatsi*

GUO Wei¹, YIN Heng², MO Aijie¹, ZHAI Yuxiang¹, YI Linyuan¹, YANG Huijun¹, YUAN Yongchao¹

1. Key Lab of Agricultural Animal Genetics, Breeding and Reproduction of Ministry of Education / College of Fisheries, Huazhong Agricultural University/ Key Lab of Freshwater Animal Breeding, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430070, China;
2. Hubei Provincial Agricultural Development Center, Wuhan 430070, China

Abstract To determine the dietary protein requirement of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) with different sizes, mandarin fish with initial body weight of (11.58 ± 1.34) g (G1), (94.77 ± 2.59) g (G2) and (245.26 ± 3.59) g (G3) were selected to investigate the effects of different dietary protein levels on growth performance, feed utilization rate, morphological indexes, digestive enzyme activity, antioxidant capacity and ammonia nitrogen excretion. The results showed that when the protein content was 500 g/kg, the specific growth rate (SGR), final body weight (FBW) and weight gain rate (WGR) of mandarin fish in G1 and G2 groups were the highest, while when the protein content was 450 g/kg, those in group G3 were the highest. The feed coefficient showed an opposite trend. Based on the analysis of SGR's broken-line regression model, the optimal protein requirements of three different sizes of mandarin fish were 497.1 g/kg, 451.9 g/kg and 446 g/kg, respectively. The survival rate of mandarin fish with small and middle sizes fed with low protein level (350 g/kg and 400 g/kg) diet was significantly lower than that of other groups ($P < 0.05$), but dietary protein level had no significant effect on survival rate of mandarin fish in G3 group ($P > 0.05$). Condition factor, hepatosomatic index and viscerasomatic index of mandarin fish in G1 and G2 groups decreased significantly with the increase of dietary protein level ($P < 0.05$). With the increase of dietary protein level, the dry matter apparent digestibility coefficient (ADC) of mandarin fish was first increased and then stabilized in G1 and G3 groups, while that in G2 group was first increased and then decreased. With the increase of dietary protein level, the crude protein ADC of mandarin fish with three different sizes increased significantly ($P < 0.05$) and decreased slightly after reaching the highest value at 500 g/kg protein level. A similar trend was observed in trypsin activity of the foregut. The activities of glutamic-pyruvic transaminase and glutamic-oxalacetic transaminase in liver of mandarin fish at three different growth stages increased dramatically as dietary protein level elevated ($P < 0.05$). The ammonia nitrogen excretion rate of mandarin fish with three different sizes reached the peak at 6 h after feeding and increased significantly with the increase of dietary protein level ($P < 0.05$). When feeding with high protein level diet, the ammonia nitrogen excretion rate of mandarin fish in G3 group was noticeably higher than that in G1 group ($P < 0.05$). The above results showed that dietary protein content had significant effects on the growth performance, digestion and metabolic indexes of mandarin with three sizes, and the optimal protein requirement could be determined to achieve the optimal healthy breeding effect for mandarin fish.

Keywords *Siniperca chuatsi*; dietary protein level; growth performance; apparent digestibility coefficient; ammonia-N excretion; precision breeding

(责任编辑:边书京)