

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200304001

http://www.yykxjz.cn/

王建学, 卫育良, 徐后国, 孙曙光, 梁萌青. 饲料蛋白能量比对红鳍东方鲀幼鱼的生长性能、饲料利用和体组成的影响. 渔业科学进展, 2021, 42(4): 116-125

WANG J X, WEI Y L, XU H G, SUN S G, LIANG M Q. Effects of dietary protein to energy ratios on growth performance, feed utilization and body composition of juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*). Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(4): 116-125

饲料蛋白能量比对红鳍东方鲀幼鱼的生长性能、 饲料利用和体组成的影响*

王建学^{1,2} 卫育良¹ 徐后国¹ 孙曙光¹ 梁萌青^{1①}

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 山东 青岛 266071;

2. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306)

摘要 为探求红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)幼鱼饲料的最适蛋白质能量比,以鱼粉和豆粕作为主要蛋白源,鱼油和豆油作为主要脂肪源,配制粗蛋白含量分别为36%、42%和48%,粗脂肪含量分别为8%、12%和16%,蛋能比为17.06~24.20 mg/kJ的9组饲料。投喂初始体重为14.95 g的红鳍东方鲀幼鱼56 d。结果显示,由双因素分析方法得出,饲料的蛋白水平、脂肪水平和蛋能比水平均可显著影响红鳍东方鲀的终末体重、特定生长率(SGR)和饲料效率(FE),且饲料蛋白为36%时,显著低于42%和48%组,但与饲料蛋白为42%和48%组之间相比无显著差异。在饲料脂肪为8%时,显著低于12%组,与饲料脂肪为12%与16%组之间相比无显著差异。此外,饲料的蛋白和脂肪水平对红鳍东方鲀生长和饲料利用的相关指标均无显著的交互作用($P>0.05$)。由单因素方差分析得出,终末体重、FE、SGR均是Diet8(48/12)蛋白水平为48%、脂肪水平为12%处理组最高,显著高于Diet1(36/8)蛋白水平为36%和脂肪水平为8%处理组、Diet2(36/12)蛋白水平为36%和脂肪水平为12%处理组、Diet3(36/16)蛋白水平为36%和脂肪水平为16%处理组($P<0.05$)与Diet4(42/8)蛋白水平为48%和脂肪水平为8%处理组、Diet5(42/12)蛋白水平为42%和脂肪水平为12%处理组、Diet6(42/16)蛋白水平为42%和脂肪水平为16%处理组、Diet7(48/8)蛋白水平为48%、脂肪水平为8%处理组之间相比无显著差异($P>0.05$)。因此,根据研究结果综合考虑生长性能及蛋白质节约效应,红鳍东方鲀幼鱼的最适蛋白水平为42%,脂肪水平为12%,蛋能比为20.75 mg/kJ。

关键词 红鳍东方鲀; 蛋能比; 蛋白质; 能量

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2021)04-0116-10

蛋白质是最昂贵的营养成分,对鱼类的生长起着重要作用,饲料蛋白的利用效率与蛋白质水平及非蛋白能源的可利用率有关。饲料中多余的蛋白质被用作

能量浪费,并造成氮排泄(LeGrow *et al*, 1986)。饲料的能量物质适当提高后,可以减少由于缺乏能量而被作为能量消耗掉的饲料蛋白用量,从而起到节约蛋白的

* 财政部和农业农村部:国家现代农业产业技术体系专项(CARS-47)、中国水产科学研究院基本科研业务费(2020TD48)共同资助 [This work was supported by China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-47), and Central Public-Interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2020TD48)]. 王建学, E-mail: 1429156486@qq.com

① 通讯作者:梁萌青,研究员, E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn

收稿日期:2020-03-04, 收修改稿日期:2020-03-23

作用(Morais *et al.*, 2001)。蛋白质、脂肪和碳水化合物是饲料中主要的能量物质, 由于鱼类对碳水化合物的利用能力有限, 饲料脂肪可以提供养殖鱼类能量的需要, 减少饲料蛋白质的浪费, 使之更好地在鱼体内合成体蛋白(Nankervis *et al.*, 2000)。但饲料中非蛋白能量过高也会造成鱼类降低摄食(Lovell, 1979)、抑制其他营养素的利用(Winfrey *et al.*, 1981), 还能造成鱼体脂肪积蓄过高, 风味变差, 品质降低(付世建等, 2001)。在配合饲料的研发过程中, 蛋白能量比(P/E)是一个重要的参数指标, 适宜的饲料蛋白能量比可以在促进鱼类生长、节约饲料蛋白、提高鱼类品质、降低养殖成本中起重要的作用(何吉祥等, 2009)。

目前, 包括花鲈(*Lateolabrax japonicus*) (Ai *et al.*, 2003)、云纹龙胆石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *E. moara* ♀) (公绪鹏等, 2018)、罗非鱼(*Oreochromis aurea*) (李金秋等, 2007)、胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*) (韩光明等, 2015)、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*) (李敬伟等, 2005)等都已有关研究报道。鱼类对饲料适宜蛋白能量比的需求受多种因素的影响, 如种类、食性、生长阶段、耗氧率、饲料加工、饲料成分、投喂量和养殖环境等(高柳玲等, 2018)。

红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)是我国北方重要的海水养殖鱼类, 但红鳍东方鲀基础营养学研究相对缺乏, 其饲料最适蛋白能量比方面的研究未见报道。本研究探究了红鳍东方鲀的最适蛋白能量比, 为研制适合红鳍东方鲀的精准饲料配方提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

以鱼粉、豆粕为主要蛋白源, 鱼油、豆油作为主要脂肪源, 小麦粉作为糖源, 设计两因素三水平(2×3)的交互实验。饲料蛋白水平分别为 36%、42%和 48%, 每 1 组蛋白水平设置 3 个脂肪水平分别为 8%、12%和 16%的 9 组饲料(表 1)。

所有原料测定常规成分后, 粉碎机粉碎, 过 80 目筛网, 按配方称量原料, 逐级混匀, 然后加鱼油、大豆卵磷脂混匀, 加 30%水搅拌均匀, 用制粒机制成直径为 2 mm 的颗粒饲料, 55℃鼓风干燥 12 h 后置于 -20℃冷库保存。

1.2 实验鱼来源及驯化

养殖实验在山东省烟台海阳市黄海水产公司基地养殖桶(0.7 m×0.7 m×0.4 m)中进行, 实验所用鱼苗取自河北唐山海都水产食品有限公司。正式实验开始

前, 在暂养池(5 m×5 m×1.5 m)中使用商业配合饲料(蛋白质水平为 47.74%, 脂肪水平为 10.01%)进行为期 28 d 转饵驯化, 使红鳍东方鲀从摄食冰鲜杂鱼转为摄食饲料。为防止实验期间红鳍东方鲀残食, 对每尾幼鱼剪牙, 再继续暂养 14 d, 使其适应养殖环境。随机挑选规格一致、健康无病的鱼苗, 称重后分别放入 27 个桶中, 每个桶放入 30 尾鱼[平均体重为(14.95±0.37) g]。将 9 种饲料随机分派到 27 个桶中, 每种饲料 3 个重复。每天 08:00 和 17:00 手工缓慢投喂饲料至表现饱食, 实验周期为 56 d。实验期间, 记录每天的摄食、死鱼数量。养殖车间采用自然光周期, 流水养殖, 水温为 24℃~28℃, 盐度为 30~31, pH 为 7.4~8.2, 溶解氧(DO)为 5~7 mg/L。

1.3 实验取样

实验开始前, 随机取 10 尾鱼作为初始鱼, 用于常规营养成分分析。实验结束时, 饥饿 24 h 后对每桶鱼进行计数、称重; 每桶随机取 6 尾鱼、-20℃保存, 用于体成分分析。

1.4 生化分析

饲料原料、实验饲料及鱼体的粗蛋白、粗脂肪、灰分、水分的测定均采用 AOAC(1995)的标准。其中, 水分含量使用 105℃常温干燥法; 灰分含量使用马弗炉 550℃高温灼烧法; 粗蛋白含量采用凯氏定氮仪测定(VELP, UDK142 automatic distillation unit, 意大利); 粗脂肪采用索氏抽提仪测定(Foss Tecator, Hoganas, 瑞典); 饲料及鱼体的能量采用氧弹仪(Parr 6100, 美国)测定。

1.5 计算方法及统计分析方法

增重率(weight gain rate, WGR, %)=100×(终末体重-初始体重)/初始体重

摄食率(feeding intake, FI, %/d)=100×总干物质摄食量/[实验天数×(初始体重+终末体重)/2]

特定生长率(specific growth rate, SGR, %/d)=100×[ln(终末体重)-ln(初始体重)]/实验天数

饲料效率(feed efficiency, FE)=鱼体增重(湿重)/总干物质摄食量

蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER)=(终末体重-初始体重)/蛋白摄入量

蛋白质沉积率(protein productive value, PPV, %)=100×鱼体蛋白质贮存量/蛋白摄入量

肝体比(hepatosomatic index, HSI, %)=肝脏重/体重×100

表1 实验饲料配方及营养成分组成(%干物质)
Tab.1 Formulation and proximate composition of the experimental diets (% dry matter)

原料 Ingredient	饲料编号(蛋白/脂肪) Diet No. (protein/lipid)								
	Diet1 (36/8)	Diet2 (36/12)	Diet3 (36/16)	Diet4 (42/8)	Diet5 (42/12)	Diet6 (42/16)	Diet7 (48/8)	Diet8 (48/12)	Diet9 (48/16)
白鱼粉 White fish meal	26.00	26.00	26.00	34.00	34.00	34.00	42.00	42.00	42.00
豆粕 Soybean meal	19.00	21.00	23.00	23.00	25.00	27.00	27.00	29.00	31.00
小麦粉 Wheat meal	44.00	38.00	32.00	32.50	26.50	20.50	20.70	14.70	8.70
卵磷脂 Lecithin	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
鱼油 Fish oil	4.00	8.00	12.00	3.50	7.50	11.50	3.30	7.30	11.30
诱食剂 Attractant	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
复合维生素 ¹ Vitamin premix ¹	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
复合矿物质 ² Mineral premix ²	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
磷酸二氢钙 Calcium dihydrogen phosphate	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
氯化胆碱 Choline chloride	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
维生素 C Vitamin C	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
羧甲基纤维素 Carboxymethyl cellulose sodium	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
化学成分 Chemical composition/%									
粗蛋白 Crude protein	36.89	37.89	36.74	42.86	43.08	43.01	48.37	48.81	48.94
粗脂肪 Crude lipid	7.05	11.21	15.60	7.30	11.58	15.82	7.27	11.30	16.02
总能 Gross energy/(kJ·g ⁻¹)	19.89	20.66	21.53	20.15	20.76	21.64	19.99	20.39	21.40
蛋白质/能量比 P/E/(mg·kJ ⁻¹)	18.55	18.34	17.06	21.27	20.75	19.88	24.20	23.94	22.87

注: 1: 维生素混合物(mg/g 混合物): 硫胺素, 2.5 mg; 核黄素, 4.5 mg; 盐酸吡哆醇, 2 mg; 维生素 B₁₂, 0.01 mg; 生物素, 0.12 mg; 维生素 K₃, 1 mg; 肌醇, 80 mg; 泛酸, 6 mg; 烟酸, 20 mg; 叶酸, 2 mg; 维生素 A, 3.2 mg; 维生素 D, 0.5 mg; 维生素 E, 12 mg; 次粉, 867 mg

2: 矿物质混合物(mg/g 混合物): 氟化钠, 0.2 mg; 碘化钾, 0.08 mg; 氯化钴, 5 mg; 硫酸铜, 1 mg; 硫酸铁, 8 mg; 硫酸锌, 5 mg; 硫酸镁, 120 mg; 磷酸二氢钙, 300 mg; 氯化钠, 10 mg; 沸石粉, 551 mg

Note: 1: Vitamin premix (mg/g premix): Thiamine, 2.5 mg; Riboflavin, 4.5 mg; Pyridoxine, 2 mg; Vitamin B₁₂, 0.01 mg; Biotin, 0.12 mg; Menadione 1 mg; Inositol 80 mg; Pantothenate 6 mg; Tocopherol acetate, 20 mg; Folic acid 2 mg; Vitamin A 3.2 mg; Vitamin D, 0.5 mg; Vitamin E, 12 mg; Wheat flour, 867 mg

2: Mineral premix (mg/g premix): NaF 0.2 mg; KI 0.08mg; CoCl₂·6H₂O 5mg; CuSO₄·5H₂O 1mg; FeSO₄·7H₂O 8 mg; ZnSO₄·7H₂O 5 mg; MnSO₄·4H₂O 120 mg; Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 300 mg; NaCl 10mg; Mordenzeo, 551 mg

脏体比(viscerosomatic index, VSI, %)=内脏重/体重×100

肥满度(condition factor, CF)=体重/体长³×100

实验数据以平均值±标准误(Mean±SE)表示, 采用 SPSS20.0 软件进行单因素方差(one-way ANOVA)和双因素方差(two-way ANOVA)分析, 当差异显著时(P<0.05), 进行 Tukey 多重比较。

2 结果

2.1 不同蛋白质能量比饲料对红鳍东方鲀幼鱼生长性能的影响

饲料中不同蛋白质能量比对红鳍东方鲀幼鱼生

长的影响见表 2。从表 2 可以看出, 蛋白质和脂肪对终末体重、存活率、FE 和 SGR 均无显著的交互作用(P>0.05)。由主效应分析可知, 饲料蛋白水平显著影响红鳍东方鲀的终末体重、SGR、FE、FI 和成活率(P<0.05), 随着饲料中粗蛋白从 36%升高到 48%, 终末体重、FE 和 SGR 呈先显著升高后趋于平缓的趋势(P<0.05); 存活率呈先显著下降后趋于平缓的趋势(P<0.05), FI 呈先显著降低后趋于平缓的趋势(P<0.05), 且拐点在饲料蛋白含量为 42%组。饲料脂肪水平显著影响终末体重、SGR、FE 和 FI (P<0.05), 随着饲料中粗脂肪由 8%升高到 16%, 终末体重、SGR 和 FE 呈先显著升高后趋于平缓的趋势(P<0.05), FI 呈显著降低后趋于平缓的趋势(P<0.05), 且拐点在伺

表 2 不同蛋白质能量比饲料对红鳍东方鲀幼鱼生长性能的影响
Tab.2 Effects of different protein and energy ratios on the growth performance of *T. rubripes*

饲料编号 Diet No. (protein/lipid)	终末体重 Final weight/g	存活率 Survival rate/%	饲料效率 Feed efficiency ratio	特定生长率 Specific growth rate/(%·d ⁻¹)	摄食率 Feeding Intake/(%·d ⁻¹)	蛋白质效率 Protein efficiency ratio	蛋白质沉积率 Protein productive value/%
Diet1(36/8)	56.29±1.38 ^a	86.67±1.92 ^{ab}	0.65±0.06 ^a	2.37±0.05 ^a	2.85±0.07 ^c	2.07±0.17 ^{ab}	32.38±2.71
Diet2(36/12)	61.08±2.64 ^{ab}	90.00±1.92 ^b	0.77±0.02 ^{ab}	2.50±0.07 ^{ab}	2.57±0.03 ^{bc}	2.21±0.06 ^{abc}	33.77±1.76
Diet3(36/16)	62.47±2.76 ^{abc}	85.56±2.22 ^{ab}	0.83±0.03 ^{bc}	2.54±0.07 ^{abc}	2.42±0.06 ^{ab}	2.46±0.08 ^c	37.25±1.36
Diet4(42/8)	68.19±2.51 ^{bcd}	77.78±2.22 ^a	0.85±0.04 ^{bcd}	2.71±0.06 ^{bcd}	2.45±0.09 ^{ab}	2.17±0.11 ^{abc}	32.87±2.10
Diet5(42/12)	70.67±2.14 ^{cd}	80.00±3.85 ^{ab}	0.92±0.02 ^{bcd}	2.77±0.05 ^{cd}	2.34±0.04 ^{ab}	2.30±0.06 ^{bc}	37.07±0.58
Diet6(42/16)	69.97±0.98 ^{bcd}	85.56±1.11 ^{ab}	0.96±0.01 ^{cd}	2.75±0.02 ^{cd}	2.27±0.03 ^{ab}	2.37±0.02 ^{bc}	35.65±0.97
Diet7(48/8)	66.49±1.10 ^{bcd}	78.89±1.11 ^a	0.84±0.04 ^{bcd}	2.66±0.02 ^{bcd}	2.47±0.13 ^{ab}	1.85±0.09 ^a	29.97±1.55
Diet8(48/12)	72.92±1.35 ^d	82.22±2.22 ^{ab}	1.01±0.03 ^d	2.83±0.03 ^d	2.21±0.07 ^a	2.18±0.07 ^{abc}	33.31±1.12
Diet9(48/16)	67.86±1.38 ^{bcd}	83.78±1.56 ^{ab}	0.99±0.03 ^{cd}	2.69±0.03 ^{bcd}	2.18±0.06 ^a	2.13±0.07 ^{abc}	33.98±2.52
主效应 Main effects							
粗蛋白 Crude protein/%							
36	59.95 ^A	87.41 ^B	0.75 ^A	2.47 ^A	2.61 ^B	2.27 ^B	34.73
42	69.09 ^B	81.11 ^A	0.91 ^B	2.74 ^B	2.35 ^A	2.28 ^B	35.19
48	69.61 ^B	81.63 ^A	0.95 ^B	2.73 ^B	2.29 ^A	2.06 ^A	32.42
粗脂肪 Crude lipid/%							
8	63.65 ^A	84.11	0.78 ^A	2.58 ^A	2.59 ^B	2.03 ^A	31.66 ^A
12	68.22 ^B	84.07	0.90 ^B	2.70 ^B	2.37 ^A	2.23 ^B	34.72 ^B
16	66.77 ^{AB}	84.96	0.93 ^B	2.66 ^{AB}	2.29 ^A	2.32 ^B	35.62 ^B
方差分析 ANOVA (<i>P</i> -value)							
粗蛋白 Crude protein/%	0	0	0	0	0	0	0.11
粗脂肪 Crude lipid/%	0.03	0.12	0	0.03	0	0	0.02
交互作用 Interaction	0.44	0.20	0.51	0.32	0.49	0.30	0.59
蛋白质能量比 P/E	0.03	0.01	0	0	0	0	0.12

注: 同列数值后不同上标小写、大写英文字母表示差异显著($P<0.05$), 同列未标注字母表示无显著差异($P>0.05$), 下同

Note: Values with different superscripts lowercase letters, capital letters in the same column are significantly different ($P<0.05$), values with no letter or the same letter superscripts are not significantly different ($P>0.05$), the same as below

料脂肪含量为 12%组。由单因素方差分析可以看出, 终末体重、FE 和 SGR 均是 Diet8(48/12)组最高, 显著高于 Diet1(36/8)、Diet2(36/12)和 Diet3(36/16)组($P<0.05$), 与 Diet4(42/8)、Diet5(42/12)、Diet6(42/16)和 Diet7(48/8)各组之间相比无显著差异($P>0.05$)。

不同蛋白质能量比饲料对红鳍东方鲀幼鱼蛋白质利用的影响见表 2。从表 2 可以看出, 饲料蛋白质和脂肪对 PER、PPV 均无显著交互作用($P>0.05$)。由主效应分析可知, 随着饲料蛋白水平的提高, PER、PPV 均呈下降趋势, 饲料蛋白水平从 36%提高至 48%时, 红鳍东方鲀的 PER 显著降低($P<0.05$), 且拐点在蛋白水平为 42%组, 但对 PPV 无显著影响($P>0.05$); 随着饲料脂肪水平提高, PPV 和 PER 呈先显著升高后趋于

平缓的趋势($P<0.05$), 且拐点在脂肪含量为 12%组。单因素方差分析表明, 蛋白效率在 Diet3(36/16)达到最高, 显著高于 Diet1(36/8)及 Diet7(48/8)组($P<0.05$), 与 Diet6(42/16)、Diet2(36/12)、Diet4(42/8)、Diet5(42/12)组相比无显著差异($P>0.05$)。

饲料蛋白水平和脂肪水平对红鳍东方鲀终末体重、SGR、FE、FI、PER、PPV 及存活率无交互作用($P>0.05$)。

2.2 不同蛋能比饲料对红鳍东方鲀幼鱼形体指标及鱼体化学成分的影响

饲料不同蛋白能量比对红鳍东方鲀幼鱼形体指标的影响见表 3。从表 3 可以看出, 饲料蛋白水平提

高,对红鳍东方鲀 HSI、VSI 和 CF 无显著影响 ($P>0.05$)。随着饲料粗脂肪水平的提高, VSI 呈先显著升高后趋于平缓趋势 ($P<0.05$); HSI 呈先升高后趋于平缓的趋势,且 8%粗脂肪组显著低于 16%粗脂肪

组 ($P<0.05$),与 12%粗脂肪组相比无显著差异 ($P>0.05$); CF 各处理组间无显著差异 ($P>0.05$)。饲料蛋白和脂肪对红鳍东方鲀的形体指标没有交互作用 ($P>0.05$)。

表 3 不同蛋白质和能量含量饲料对红鳍东方鲀幼鱼形体指标的影响
Tab.3 Effects of different protein and energy levels on the body index of *T. rubripes*

饲料编号 Diet No. (protein/lipid)	肝体比 Hepatosomatic index/%	脏体比 Viscerosomatic index /%	肥满度 Condition factor
Diet1(36/8)	7.97±0.76	12.38±0.65	2.18±0.12
Diet2(36/12)	9.44±0.80	14.41±0.89	2.77±0.27
Diet3(36/16)	10.05±0.03	14.68±0.57	2.41±0.33
Diet4(42/8)	7.79±0.33	12.33±0.47	2.42±0.33
Diet5(42/12)	9.47±0.64	13.82±0.64	2.87±0.40
Diet6(42/16)	9.47±0.72	13.80±0.67	2.57±0.06
Diet7(48/8)	9.00±0.77	13.15±1.13	2.60±0.28
Diet8(48/12)	8.77±0.77	14.22±0.60	2.72±0.23
Diet9(48/16)	9.46±0.58	14.63±0.63	2.72±0.02
主效应 Main effects			
粗蛋白 Crude protein/%			
36	9.15	13.82	2.45
42	8.91	13.32	2.62
48	9.08	14.00	2.68
粗脂肪 Crude lipid/%			
8	8.25 ^A	12.62 ^A	2.40
12	9.23 ^{AB}	14.15 ^B	2.78
16	9.66 ^B	14.37 ^B	2.56
方差分析 ANOVA (<i>P</i> -value)			
粗蛋白 Crude protein/%	0.89	0.44	0.50
粗脂肪 Crude lipid/%	0.04	0.01	0.17
交互作用 Interaction	0.57	0.95	0.91
蛋白质能量比 P/E	0.30	0.20	0.70

从表 4 可以看出,随着饲料粗蛋白水平的提高,红鳍东方鲀鱼体水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分及能量各组间相比无显著差异 ($P>0.05$)。随着饲料粗脂肪水平的提高,鱼体粗脂肪水平也显著提高 ($P<0.05$),粗脂肪为 8%组显著低于 16%粗脂肪组 ($P<0.05$),与粗脂肪为 12%组相比无显著差异 ($P>0.05$);随着饲料粗脂肪水平的提高,对鱼体水分、粗蛋白、灰分及能量各组间相比无显著影响 ($P>0.05$)。不同蛋能比饲料中蛋白和脂肪对红鳍东方鲀幼鱼全鱼的水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分及能量的影响无显著交互作用 ($P>0.05$)。

3 讨论

Kim 等(2009)研究表明,红鳍东方鲀幼鱼(17.05 g)

的粗蛋白最适需求量为 41%;孙阳等(2013a、b)研究表明,红鳍东方鲀幼鱼(7.71 g)的粗脂肪最适需求量为 8.93%;Takii 等(1995)研究表明,红鳍东方鲀幼鱼(3.70 g)的粗脂肪最适需求量为 11.50%。本研究在此基础上设计 3 个蛋白水平分别为 36%、42%和 48%,3 个脂肪水平分别 8%、12%和 16%,配制 9 种不同蛋能比的饲料,探究红鳍东方鲀幼鱼的最适蛋能比。

根据 NRC(1993)的报道,对于大部分鱼类而言,其适宜蛋能比通常在 19~27 mg/kJ 之间。而本研究发现,饲料蛋白水平为 36%~42%时,相同蛋白水平中蛋能比越低,红鳍东方鲀的生长表现越好;但饲料蛋白水平为 48%时,相同蛋白水平中,红鳍东方鲀的生长随饲料蛋白能量比的降低呈先升高后下降的趋势;

表 4 饲料不同蛋能比饲料对红鳍东方鲀幼鱼鱼体化学成分的影响(%湿重)

Tab.4 Effects of different protein and energy ratios on whole-body chemical composition of *T. rubripes* (% wet weight)

饲料编号 Diet No. (protein/lipid)	水分 Moisture	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	灰分 Ash	能量 Gross energy/(kJ·g ⁻¹)
Diet1(36/8)	75.37±0.31	16.26±0.40	4.96±0.12	2.85±0.06	23.62±0.16
Diet2(36/12)	74.49±0.37	16.15±0.26	5.81±0.11	2.70±0.04	23.11±0.52
Diet3(36/16)	78.45±0.38	16.04±0.48	6.66±0.23	2.63±0.03	23.65±0.36
Diet4(42/8)	75.53±0.44	15.95±0.11	5.21±0.33	2.71±0.09	23.29±0.29
Diet5(42/12)	73.45±0.19	16.73±0.23	5.91±0.24	2.78±0.06	23.47±0.41
Diet6(42/16)	74.08±0.83	15.89±0.23	5.95±0.27	2.61±0.03	23.99±0.45
Diet7(48/8)	73.50±1.46	16.87±0.65	5.63±0.45	2.90±0.17	24.27±0.37
Diet8(48/12)	74.73±0.52	16.01±0.22	6.15±0.81	2.57±0.03	23.56±0.29
Diet9(48/16)	72.75±1.23	16.56±0.54	6.65±0.25	2.57±0.07	22.65±0.71
主效应 Main effects					
粗蛋白 Crude protein/%					
36	74.72	16.15	5.81	2.72	23.46
42	74.36	16.19	5.69	2.70	23.58
48	73.66	16.48	6.14	2.64	23.49
粗脂肪 Crude lipid/%					
8	74.80	16.36	5.27 ^A	2.76	23.73
12	74.22	16.30	5.96 ^{AB}	2.68	23.38
16	73.71	16.16	6.42 ^B	2.63	23.43
方差分析 ANOVA (<i>P</i> -value)					
粗蛋白 Crude protein/%	0.27	0.55	0.29	0.30	0.95
粗脂肪 Crude lipid/%	0.26	0.83	0.00	0.05	0.62
交互作用 Interaction	0.29	0.30	0.73	0.12	0.11
蛋白质能量比 P/E	0.25	0.56	0.06	0.09	0.33

而脂肪水平同为 12%时, 饲料蛋白水平越高, 鱼体生长情况越好。脂肪水平同为 8%和 16%时, 饲料蛋白水平越高, 鱼体生长呈先升高后下降的趋势, 这表明本研究设计的蛋白和脂肪水平能满足红鳍东方鲀适宜蛋能比的要求。再进一步分析, 本研究中红鳍东方鲀的 SGR 和 FE 相对 Diet1(36/8)显著升高的饲料组发现, 包括 Diet4(42/8)、Diet5(42/12)、Diet6(42/16)、Diet7(P48/8)、Diet8(P48/12)和 Diet9(P48/16)共 6 个处理组, 其所对应的蛋能比分别为 21.27、20.75、19.88、24.20、23.94 和 22.87 mg/kJ, 这与 NRC(1993)的研究结果相一致, 因此, 本研究结果表明, 红鳍东方鲀对适宜蛋能比应在 19.88~24.20 mg/kJ 范围内。

McGoogan 等(1999)研究表明, 高水平和高质量饲料蛋白源, 尤其对肉食性鱼类来说, 通常能促使鱼体快速生长。本研究所使用的蛋白源为鱼粉和豆粕, 生长最高的 4 个饲料处理组(Diet4(42/8)、Diet5(42/12)、Diet6(42/16)、Diet8(P48/12)中红鳍东方鲀的 SGR 均达到 2.71%/d 以上, 表明本研究选用的鱼粉和豆粕都是红鳍东方鲀的优质蛋白源, 适用于

研究其适宜的蛋能比。本研究结果显示, 红鳍东方鲀生长性能与饲料中蛋白水平关系密切, 在相同脂肪水平下, 红鳍东方鲀鱼终末体重、SGR 都随饲料蛋白水平的增加, 呈先升高后趋于平缓的趋势, 且在饲料蛋白含量为 42%时出现拐点, 这与 Deng 等(2011)、丁立云等(2010)、向泉等(2012)和张静等(2016)的研究结果相似, 表明 42%的粗蛋白可以满足红鳍东方鲀幼鱼的生长需求。然而, 当饲料中蛋白质含量增加至 48%时, 鱼体 SGR 虽然在 Diet8(48/12)达到最高, 但与粗蛋白含量为 42%组的 3 个不同脂肪处理组相比并未显著升高, 同时, 当饲料中粗蛋白水平升高到 48%时, 红鳍东方鲀的 PER 和尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)、花鲈(*Lateolabrax japonicus*)等鱼类一样显著降低(杨弘等, 2012; Ai *et al.*, 2003), 表明饲料中 48%组过多的蛋白质可能并没有被用于合成新的蛋白质在鱼体内沉积, 起到加快鱼体生长的作用, 这在对双棘黄姑鱼(*Nibea diacanthus*)、大西洋鲑鱼(*Gadus morhua*)等其他鱼类的蛋能比研究中也发现类似结果(李文嘉, 2016; Barbara *et al.*, 2008), 进一步表明, 饲料中 42%

的蛋白可以满足红鳍东方鲀对蛋白质的需要量。

对于鱼类来说,蛋白、脂肪和碳水化合物都可以被其用于能量供应(Brauge *et al*, 1994),特别是肉食性鱼类,其对糖类的利用率较低,脂肪是其主要的能量来源,如果饲料中脂肪(能量)含量较低,将会导致饲料中部分蛋白质被分解用于供能,导致 PER 较低,鱼体生长缓慢(Kim *et al*, 2005),因此,研究饲料中适宜的脂肪水平,对于鱼类的生长具有重要意义(Thoman *et al*, 1999; Salhi *et al*, 2004; Sayed Hassani *et al*, 2011)。本研究结果也显示,在相同蛋白水平下,红鳍东方鲀生长性能随着饲料脂肪水平(8%~12%)的升高而上升,FI 则显著降低,继续提高脂肪水平(12%~16%),红鳍东方鲀生长指标趋于平缓,这表明增加饲料脂肪水平从 8%增加到 12%,有利于提高鱼体对脂肪的利用,但过高脂肪(16%)并不能进一步提高红鳍东方鲀的生长。这一结果在对鱼体脂肪和形体指标的分析中得到进一步验证。对于鱼体脂肪,研究表明,饲料脂肪水平是影响鱼体脂含量的首要因素,饲料中过多的脂肪含量能够导致鱼体脂肪的大量沉积(Page *et al*, 1973)。本研究根据双因素的主效应分析发现,鱼体脂肪随着饲料脂肪从 8%增加到 16%,也呈现与生长性能相似的先显著升高后趋于平缓的趋势;对于形体指标,由于肝脏为脂肪和糖原沉积的主要场所,HSI、VSI 一般作为肝脏或者内脏中脂肪或者糖原蓄积的表观指标(孙瑞建等, 2013)。在本研究中,根据双因素的主效应分析发现,脂肪水平提高时,HSI 和 VSI 均呈先升高后趋于平缓的趋势,且这一变化趋势与饲料脂肪含量呈正向相关关系,这与 Catacutan 等(1997)研究结果相似,说明饲料脂肪含量为 16%时,虽然对生长有一定的抑制作用,但仍在其自身调节可控范围内,因此,红鳍东方鲀在本研究中会随饲料脂肪的升高呈先升高后趋于平缓的趋势(杜振宇等, 2002)。

本研究中,最高的 SGR 出现在 Diet8(48/12) (48%蛋白, 12%脂肪)饲料组。然而,观察发现, Diet5(42/12)、Diet6(42/16)、Diet4(42/8)、Diet9(48/16)和 Diet7(48/8)组在 SGR 和 FE 中都无显著差异。一方面,考虑到蛋白源价格较高,会影响商业配合饲料成本,在相似体增重的情况下,优先选择 42%蛋白含量;另一方面,鱼类饲料中添加非蛋白质能源物质可部分替代蛋白质,不但能提高鱼类对饲料蛋白质的利用效率(Chou *et al*, 2001; Li *et al*, 2010; Lee *et al*, 2002; Shiao *et al*, 2001),而且,能达到节约蛋白质的效果(李文嘉, 2016; Salhi *et al*, 2004; Thoman *et al*, 1999)。这一结论也在本研究中得到验证。当粗脂肪由 8%提高至 12%和

16%时, PPV、PER 显著提高,表明适度提高脂肪含量,可使鱼体通过将更多的脂肪用于供能,提高 PER,适度节约蛋白质,从而起到脂肪节约蛋白质的效应(Ai *et al*, 2003; 陈壮, 2013; 李敬伟等, 2005; 刘兴旺, 2010)。但是,水产饲料中过多的脂肪含量会造成鱼类摄食率的下降(Lovell, 1979; Silva *et al*, 1991)。本研究也发现,随着饲料脂肪水平升高到 16%,显著降低了红鳍东方鲀的 FI,增加 HSI 及 VSI,这可能是当饲料脂肪较低时,红鳍东方鲀可以通过提高 FI 来弥补饲料能量的不足,而过高时则会产生相反的效果。因此,基于以上的分析综合考虑认为,红鳍东方鲀饲料中最适蛋白含量为 42%,脂肪含量为 12%,对应最适蛋能比为 20.75 mg/kJ。

4 结 论

红鳍东方鲀幼鱼的最适蛋白能量比在 19.88~24.20 mg/kJ 范围内,考虑到红鳍东方鲀的生长效果及蛋白质节约效应,红鳍东方鲀幼鱼的最适蛋白能量比为 20.75 mg/kJ,蛋白水平为 42%,脂肪水平为 12%。

参 考 文 献

- AI Q H, MAI K S, LI H T, *et al*. Effects of dietary protein to energy ratios on growth and body composition of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. *Aquaculture*, 2004, 230(1/2/3/4): 507-516
- AOAC. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, 14th edn. Williams S (Eds), Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, 1984, 1141
- BARBARA G H, SHEARER K D, GATLIN D M, *et al*. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, protein digestibility, feed utilization and body composition of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture*, 2008, 283: 156-162
- BRAUGC C, MEDALE F, CORRAZE G. Effect of dietary carbohydrate levels on growth, body composition and glycaemia in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, reared in seawater. *Aquaculture*, 1994, 123(1/2): 109-120
- CATACUTAN M R, COLOSO R M. Growth of juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*, fed varying carbohydrate and lipid levels. *Aquaculture*, 1997, 149(1/2): 137-144
- CHEN Z. The study on the optimum requirement of dietary protein and protein to energy ratio of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) in two different growth stages. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2013 [陈壮. 鲈鱼中、后期饲料蛋白质需求量及最适蛋能比的研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2013]
- CHOU R L, SU M S, CHEN H Y. Optimal dietary protein

- and lipid levels for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture*, 2001, 193(1/2): 81–89
- DENG D F, JU Z Y, DOMINY W, *et al.* Optimal dietary protein levels for juvenile Pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*) fed diets with two levels of lipid. *Aquaculture*, 2011, 316(1): 25–30
- DING L Y, ZHANG L M, WANG J Y, *et al.* Effects of dietary protein level on growth performance, body composition and plasma biochemistry indices of juvenile starry flounder, *Platichthys stellatus*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(6): 1285–1292 [丁立云, 张利民, 王际英, 等. 饲料蛋白水平对星斑川鲷幼鱼生长、体组成及血浆生化指标的影响. *中国水产科学*, 2010, 17(6): 1285–1292]
- DU Z Y, LIU Y J, ZHENG W H, *et al.* The effects of three oil sources and two anti-fat liver factors on the growth, nutrient composition and serum biochemistry indexes of *Lateolabrax japonicus*. *Journal of Fisheries of China*, 2002, 26(6): 542–550 [杜震宇, 刘永坚, 郑文晖, 等. 三种脂肪源和两种降脂因子对鲈生长、体营养成分组成和血清生化指标的影响. *水产学报*, 2002, 26(6): 542–550]
- FU S J, XIE X J, ZHANG W B, *et al.* The study on nutrition of *Silurus meridionalis*: III. The sparing effect of dietary lipid. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2001, 25(1): 70–75 [付世建, 谢小军, 张文兵, 等. 南方鲇的营养学研究: III. 饲料脂肪对蛋白质的节约效应. *水生生物学报*, 2001, 25(1): 70–75]
- GAO L L, PAN Q. Research advances on the optimal dietary protein-energy ratio of fish. *Feed Review*, 2018(10): 16–21 [高柳玲, 潘庆. 鱼类饲料适宜蛋白能量比研究进展. *饲料博览*, 2018(10): 16–21]
- GONG X P, LI B S, ZHANG L M, *et al.* Effects of dietary protein and energy levels on growth, body composition and digestive enzymes activities of juvenile hybrid grouper, *Epinephelus lanceolatus* ♂ × *E. moara* ♀. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(2): 85–95 [公绪鹏, 李宝山, 张立民, 等. 饲料蛋白质和能量含量对文纹龙胆石斑鱼幼鱼生长、体组成及消化酶活力的影响. *渔业科学进展*, 2018, 39(2): 85–95]
- HAN G M, ZHANG J H, KOU X M, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on growth performance and body composition of Chinese Sucker (*Myxocyprinus asiaticus*). *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(11): 3587–3596 [韩光明, 张家宏, 寇祥明, 等. 饲料中蛋白质和脂肪水平对胭脂鱼生长性能及体组成的影响. *动物营养学报*, 2015, 27(11): 3587–3596]
- HE J X, DING F Q, SONG G T, *et al.* Effects of dietary protein levels and energy to protein ratios on growth and protease activity in red swamp crayfish *Procambarus clarkii*. *Fisheries Science*, 2009, 28(12): 741–744 [何吉祥, 丁凤琴, 宋光同. 蛋白质水平及能量蛋白比对克氏螯虾生长与蛋白酶活力的影响. *水产科学*, 2009, 28(12): 741–744]
- KIM S S, LEE K J. Dietary protein requirement of juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*). *Aquaculture*, 2009, 287(1/2): 219–222
- KIM L O, LEE S M. Effects of the dietary protein and lipid levels on growth and body composition of bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco*. *Aquaculture*, 2005, 243: 323–329
- LEE S M, JEON I G, LEE J Y. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegelii*). *Aquaculture*, 2002, 211(1/2/3/4): 227–239
- LEGROW S M, BEAMISH F W H. Influence of dietary protein and lipid on apparent heat increment of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1986, 43(1): 19–25
- LI J Q, LIN J B, JIANG L L, *et al.* Effects of dietary energy-protein ratio and vitamin content on the growth of tilapia (*Oreochromis aurea*). *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 22(4): 382–387 [李金秋, 林建斌, 姜琳琳, 等. 饲料中不同能量蛋白比和维生素添加量对罗非鱼生长的影响. *福建农业学报*, 2007, 22(4): 382–387]
- LI J W, LI W K, LUO X N, *et al.* Requirement of juvenile *Pelteobagrus fulvidraco* for dietary protein and energy. *Fisheries Science*, 2005, 24(9): 17–19 [李敬伟, 李文宽, 骆小年, 等. 黄颡鱼幼鱼对饲料中蛋白质和能量需要量的研究. *水产科学*, 2005, 24(9): 17–19]
- LI X F, LIU W B, JIANG Y Y, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels in practical diets on growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings. *Aquaculture*, 2010, 303(1/2/3/4): 65–70
- LI W J. Study on dietary protein requirement, protein to energy ratio and replacement of plant protein sources in juvenile *Nibea diacanthus*. Doctoral Dissertation of Shantou University, 2016, 60–78 [李文嘉. 双棘黄姑鱼幼鱼蛋白质需求、蛋能比及植物蛋白源替代研究. 汕头大学博士研究生学位论文, 2016, 60–78]
- LIU X W. The study on protein nutrition physiology of turbot *Scophthalmus maximus* Linnaeus and half-smooth tongue-sole, *Cynoglossus semilaevis* Günther. Doctoral Dissertation of Ocean University of China, 2010 [刘兴旺. 大菱鲆及半滑舌鳎蛋白质营养生理研究. 中国海洋大学博士研究生学位论文, 2010]
- LOVELL R T. Factors affecting voluntary food consumption by channel catfish. *Proceedings of the Annual Conference Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies*, 1979, 33: 563–571
- MCGOOGAN B B, GATLIN III D M. Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus* I. Effects of dietary protein and energy levels. *Aquaculture*, 1999, 178(3/4): 333–348
- MORAIS S, BELL J G, ROBERTSON D A, *et al.* Protein/lipid ratios in extruded diets for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.): Effects on growth, feed utilization, muscle composition and liver histology. *Aquaculture*, 2001, 203(1/2): 101–119
- NANKERVIS L, MATTHEWS S J, APPLEFORD P. Effect of

- dietary non-protein energy source on growth, nutrient retention and circulating insulin-like growth factor I and triiodothyronine levels in juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. *Aquaculture*, 2000, 191(4): 323–335
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of fish. Washington: National Academy Press, 1993
- PAGE J W, ANDREES J W. Interaction of dietary levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Journal of Nutrition*, 1973, 103(9): 1339–1346
- SALHI M, BESSONART M, CHEDIAK G, *et al.* Growth, feed utilization and body composition of black catfish, *Rhamdia quelen*, fry fed diets containing different protein and energy levels. *Aquaculture*, 2004, 231(1): 435–444
- SAYED HASSANI M H, MOHSENI M, HOSENI M R, *et al.* The effect of various levels of dietary protein and lipid on growth and body composition of *Acipenser persicus* fingerlings. *Journal of Applied Ichthyology*, 2011, 27(2): 737–742
- SHIAU S Y, LIN Y H. Carbohydrate utilization and its protein-sparing effect in diets for grouper (*Epinephelus malabaricus*). *Animal Science*, 2001, 73(2): 299–304
- SILVA S S D, GUNASEKERA R M, SHIM K F. Interactions of varying dietary protein and lipid levels in young red tilapia: Evidence of protein sparing. *Aquaculture*, 1991, 95(3/4): 305–318
- SUN R J, ZHANG W B, XU W, *et al.* Effects of dietary protein level and feeding frequency on the growth, body composition and protein metabolism of juvenile large yellow croakers, *Pseudosciaena crocea* R. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(2): 281–289 [孙瑞健, 张文兵, 徐玮, 等. 饲料蛋白质水平与投喂频率对大黄鱼生长、体组成及蛋白质代谢的影响. *水生生物学报*, 2013, 37(2): 281–289]
- SUN Y, JIANG Z Q, LI Y Q, *et al.* Effects of dietary lipid levels on growth, body composition and blood parameters of juvenile *Takifugu rubripes*. *Journal of Tianjin Agricultural University*, 2013a, 20(3): 14–18 [孙阳, 姜志强, 李艳秋, 等. 饲料脂肪水平对红鳍东方鲀幼鱼生长、体组成及血液指标的影响. *天津农学院学报*, 2013a, 20(3): 14–18]
- SUN Y, JIANG Z Q, LI Y Q, *et al.* Effects of dietary lipid on the liver antioxidant capacity and histology of *Takifugu rubripes* juvenile. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2013b, 33(3): 27–32 [孙阳, 姜志强, 李艳秋, 等. 饲料脂肪水平对红鳍东方鲀幼鱼肝脏抗氧化酶活力及组织结构的影响. *广东海洋大学学报*, 2013b, 33(3): 27–32]
- TAKII K, UKAWA M, NAKAMURA M, *et al.* Suitable lipid level in brown fish meal diet for tiger puffer. *Fisheries Science*, 1995, 61(5): 841–844
- THOMAN E S, DAVIS D A, AMOLD C R. Evaluation of growout diets with varying protein and energy levels for reddrum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture*, 1999, 176(3): 343–353
- TU Y Q, HAN D, ZHU X M, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on growth, feed utilization and body composition of *Cyprinus longipectoralis*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, 36(1): 843–850 [涂永芹, 韩冬, 朱晓鸣, 等. 饲料中不同蛋白、脂肪水平对春鲤生长、饲料利用和体成分的影响. *水生生物学报*, 2012, 36(1): 843–850]
- WINFREE R A, STICKNEY R R. Effects of dietary protein and energy on growth, feed conversion efficiency and body composition of *Tilapia aurea*. *Journal of Nutrition*, 1981, 111(6): 1001–1012
- XIANG X, ZHOU X H, CHEN J, *et al.* Effects of dietary protein and animal protein levels on growth, body composition and digestive enzyme activities of juvenile prenanant's schizothoracin (*Schizothorax prenanti*). *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2012, 27(5): 74–80 [向泉, 周兴华, 陈建, 等. 饲料蛋白水平及鱼粉蛋白含量对齐口裂腹鱼生长、体组成及消化酶活性的影响. *中国粮油学报*, 2012, 27(5): 74–80]
- YANG H, XU Q C, YUE Y R, *et al.* Effects of dietary protein level on growth performance, body composition, hematological indexes and hepatic non-specific immune indexes of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(12): 2384–2392 [杨弘, 徐起群, 乐贻荣, 等. 饲料蛋白质水平对尼罗罗非鱼幼鱼生长性能、体组成、血液学指标和肝脏非特异性免疫指标的影响. *动物营养学报*, 2012, 24(12): 2384–2392]
- ZHANG J, GAO T T, LI Y, *et al.* Effects of the protein level on the growth, ammonia-nitrogen excretion, and amino acid accumulation in the muscle of industrially-cultured juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(6): 34–41 [张静, 高婷婷, 李勇, 等. 蛋白营养对工业养殖大菱鲆 (*Scophthalmus maximus* L.) 幼鱼生长、氨氮排泄及肌肉氨基酸的效应. *渔业科学进展*, 2016, 37(6): 34–41]

(编辑 陈 严)

Effects of Dietary Protein to Energy Ratios on Growth Performance, Feed Utilization and Body Composition of Juvenile Tiger Puffer (*Takifugu rubripes*)

WANG Jianxue^{1,2}, WEI Yuliang¹, XU Houguo¹, SUN Shuguang¹, LIANG Mengqing¹①

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao, Shandong 266071, China;

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract A growth experiment was conducted to determine the optimal dietary protein to energy (P/E) ratio for juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*) (initial average weight 14.95 g). Nine practical diets were formulated to contain three protein levels (36%, 42% and 48%), and three lipid levels (8%, 12% and 16%) in order to produce a range of P/E ratios (from 17.06 to 24.20 mg/kJ). Fish meal and soybean meal were used as main protein sources, and fish oil were used as the main oil source. Each diet was randomly assigned to triplicate groups of 30 fish with (14.95±0.37) g, stocked in polyethylene tanks (0.7 m×0.7 m×0.4 m) supplied with a flow through seawater. Fish were fed by hand to apparent satiation twice daily (08:00 and 17:00). During the feeding trial, water temperature ranged from 24°C to 28°C, salinity from 30 to 31, pH from 7.4 to 8.2, and dissolved oxygen from 5 to 7 mg/L. Juvenile tiger puffer was fed the experimental diets for 56 days. Based on two-way analysis of variance, the protein level, lipid level and protein to energy ratio of feed significantly affected the final weight, feed efficiency ratio (FER) and specific growth rate (SGR) ($P<0.05$). Those three growth parameters in the 42% and 48% protein groups was significantly higher than that in the 36% protein group ($P<0.05$), but there was no significant difference in the 42% and 48% protein groups ($P>0.05$). Those three growth parameters in the 8% lipid group was significantly lower than that of the 12% lipid group ($P<0.05$), while no significant difference was observed between the 12% and 16% lipid groups ($P>0.05$). In addition, there was no significant interaction between feed protein and fat levels on growth-related indexes. One-way analysis of variance showed that the final weight, FER, and SGR were the highest in the Diet8 (48/12) treatment, which were significantly higher than those in the Diet1 (36/8), Diet2 (36/12), and Diet3 (36/16) treatments ($P<0.05$), and was no significant difference compared with the Diet4 (42/8), Diet5 (42/12), Diet6 (42/16), and Diet7 (48/8) treatments ($P>0.05$). Considering growth performance and protein saving effect, these results suggest that the diet containing 42% protein and 12% lipid with P/E of 20.75 mg/kJ is optimal for juvenile tiger puffer.

Key words *Takifugu rubripes*; Protein to energy ratios; Protein; Energy

① Corresponding author: LIANG Mengqing, E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn