

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200213001

http://www.yykxjz.cn/

王建学, 卫育良, 徐后国, 梁萌青. 红鳍东方鲀对 8 种饲料原料的表观消化率. 渔业科学进展, 2021, 42(2): 96-103

Wang JX, Wei YL, Xu HG, Liang MQ. Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*). Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(2): 96-103

## 红鳍东方鲀对 8 种饲料原料的表观消化率\*

王建学<sup>1,2</sup> 卫育良<sup>2</sup> 徐后国<sup>2</sup> 梁萌青<sup>2①</sup>

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)

**摘要** 本研究旨在探讨红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)幼鱼对红鱼粉、白鱼粉、豆粕、菜粕、花生粕、棉粕、玉米酒糟蛋白(DDGS)和肉骨粉中干物质、粗蛋白、粗脂肪、氨基酸、总能和总磷的表观消化率。实验饲料由 70% 的基础饲料和 30% 的待测饲料原料组成,并添加 0.1% 的三氧化二钇( $Y_2O_3$ )作为外源添加剂,选取平均体重为 37.90 g 的红鳍东方鲀幼鱼,随机分成 8 组,每组 3 个重复,每个重复 30 尾鱼,按照不同处理分别投喂相应饲料,采用虹吸法收集粪便。结果显示,白鱼粉、红鱼粉和豆粕的干物质表观消化率分别为 70.54%、69.02%和 60.37%,显著高于菜粕、棉粕及 DDGS( $P<0.05$ );粗蛋白的表观消化率为 50.91%~92.78%,肉骨粉粗蛋白表观消化率最低(50.91%),显著低于白鱼粉、红鱼粉、豆粕、菜粕、花生粕和 DDGS( $P<0.05$ ),各待测饲料原料中总氨基酸表观消化率的变化趋势与粗蛋白的表观消化率基本一致;粗脂肪的表观消化率为 70.6%~94.19%,白鱼粉粗脂肪表观消化率最高(94.19%),显著高于棉粕和肉骨粉( $P<0.05$ );能量的表观消化率为 30.58%~90.01%,白鱼粉、红鱼粉、豆粕和花生粕总能的表观消化率最高(76.26%~90.01%)( $P<0.05$ );磷的表观消化率为 9.13%~68.14%,白鱼粉和红鱼粉的总磷表观消化率最高(分别为 66.98%和 68.14%)( $P<0.05$ )。白鱼粉、红鱼粉的各种营养成分的表观消化率均较佳,肉骨粉及棉粕各种营养成分的表观消化率相对较差;豆粕及花生粕的粗蛋白消化率及必需氨基酸的消化率优于其他植物蛋白,菜粕次之。

**关键词** 红鳍东方鲀; 表观消化率; 饲料原料; 营养物质

**中图分类号** S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2021)02-0096-08

鱼粉是水产饲料最重要的蛋白质源,但随着水产养殖业的发展以及饲料工业的进步,优质蛋白质源鱼粉受资源和价格的限制,供应日益紧张,寻找可替代鱼粉的低价蛋白质源成为研究的热点,替代蛋白源营养评价及利用率就显得尤为重要。消化率是指动物所摄入的营养物质在体内被消化吸收的程度,评定蛋白源的表观消化率是评定蛋白源营养价值的重要方

式,也是研发配合饲料的重要步骤(Goddard *et al.*, 2001; Silva *et al.*, 1995)。在掌握饲料原料消化率的基础上,才能提高饲料的消化率,充分利用饲料原料,减少浪费及对水环境污染。

红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)属硬骨鱼纲(Osteichthyes)、鲀形目(Tetraodontiformes)、鲀亚目(Tetraodontoidei)、鲀总科(Tetraodontoidea)、鲀科

\* 中国水产科学研究院基本科研业务费(2020TD48)和现代农业产业技术体系专项资金(CARS-47-G15)共同资助 [This work was supported by Central Public-Interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2020TD48), and China Agriculture Research System (CARS-47-G15)]. 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: 2020-02-13, 收修改稿日期: 2020-02-24

(Tetraodontidae)、东方鲀属(*Takifugu*), 肉味鲜美, 营养丰富, 经济价值较高, 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, 特别是重要的饲料蛋白原料的消化率, 目前为止未见报道。本研究分析测定了红鳍东方鲀幼鱼对红鱼粉、白鱼粉、豆粕、菜粕、花生粕、棉粕、玉米酒糟蛋白(DDGS)和肉骨粉 8 种饲料原料的干物质、粗蛋白、粗脂肪、氨基酸、总能和总磷的表观消化率, 以期对红鳍东方鲀精准饲料配方的设计提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验饲料

以白鱼粉和豆粕作为主要蛋白源, 鱼油和豆油作为脂肪源, 小麦粉作为糖源配制基础饲料, 基础饲料组成及营养成分见表 1。待测饲料原料为白鱼粉、红鱼粉、豆粕、棉粕、菜粕、花生粕、肉骨粉和 DDGS (饲料原料营养成分见表 2)。实验采用 Cho 等(1982)的方法, 实验饲料由基础饲料 70%和待测原

表 1 基础饲料配方及其化学组成(%干物质)

Tab.1 Formulation and proximate composition of reference diets (% dry matter)

原料 Ingredient	含量 Content	原料 Ingredient	含量 Content
白鱼粉 White fish meal	50.00	氯化胆碱 Choline chloride	1.00
豆粕 Soybean meal	18.00	磷酸二氢钙 Calcium dihydrogen phosphate	1.50
鱼油 Fish oil	3.00	三氧化二钇 Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10
豆油 Soybean oil	3.00	维生素 C Vitamin C	0.50
小麦粉 Wheat meal	14.90	化学成分 Chemical composition (%)	
酵母粉 Yeast meal	3.00	干物质 Dry matter	93.71
卵磷脂 Lecithin	2.50	粗蛋白 Crude protein	48.86
复合维生素 Vitamin premix <sup>1</sup>	1.00	粗脂肪 Crude lipid	9.89
复合矿物质 Mineral premix <sup>2</sup>	1.00	能量 Gross energy (MJ/kg)	21.25
诱食剂 Attractant	0.50	总磷 Total phosphorus (g/kg)	26.40

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 B<sub>12</sub>, 0.01 mg; 生物素, 0.12 mg; 维生素 K<sub>3</sub>, 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 B<sub>12</sub> 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 0.08 mg; CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 5mg; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 1mg; FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 8 mg; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 5 mg; MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O 120 mg; Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O 300 mg; NaCl 10mg; Mordenzeo 551 mg

表 2 实验饲料原料营养成分组成

Tab.2 Proximate chemical composition of experimental feed ingredients (%)

项目 Items	红鱼粉 <sup>1</sup> BFM	白鱼粉 WFM	肉骨粉 MBM	豆粕 SBM	菜粕 RSM	棉粕 CSM	花生粕 PNM	玉米酒糟蛋白 DDGS
干物质 Dry matter	96.81	96.64	99.07	92.31	95.28	97.26	96.31	93.76
粗蛋白 Crude protein	77.44	71.04	29.95	51.94	60.91	60.91	54.90	35.50
粗脂肪 Crude lipid	7.39	7.61	2.21	0.56	2.56	2.56	0.27	1.44

注: <sup>1</sup>原料来源: 红鱼粉 BFM: 秘鲁进口; 白鱼粉 WFM: 俄罗斯进口; 肉骨粉 MBM: 国产市售; 豆粕 SBM、棉粕 CSM(国产 50 棉粕)、菜粕 RSM(双低菜粕)、花生粕 PNM 和玉米酒糟蛋白 DDGS: 山东海鼎农牧有限公司

Note: <sup>1</sup>: BFM, brown fish meal, imported from Peru; WFM, white fish meal, imported from Ruassia; MBM, meat and bond meal, from local market; SBM, soybean meal, RSM, rapeseed meal, CSM, cottonseed meal, PNM, local 54.9 peanut meal, and DDGS, distillers dried grains with solubles, obtained from Shandong Haiding Agriculture and animal husbandry Co., LTD

料 30%组成, 并添加 0.1%的氧化钇( $Y_2O_3$ )为外源指示剂。所有原料测定常规成分后, 粉碎过 80 目筛, 按配方称量原料, 逐级混匀, 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。实验饲料的化学组成及氨基酸组成分别见表 3 和表 4。

表 3 实验饲料化学成分组成  
Tab.3 Proximate chemical composition of experimental feeds (%)

项目 Item	红鱼粉 BFM	白鱼粉 WFM	肉骨粉 MBM	豆粕 SBM	菜粕 RSM	棉粕 CSM	花生粕 PNM	玉米酒糟蛋 白 DDGS
干物质 Dry matter	93.47	92.75	94.74	93.75	90.84	92.33	94.24	93.66
粗蛋白 Crude protein	51.67	49.65	38.05	46.57	42.89	47.44	44.90	40.08
粗脂肪 Crude lipid	10.78	11.25	8.75	9.04	9.09	8.82	8.84	13.40
总能 Gross energy (MJ/kg)	21.06	21.51	17.98	20.98	20.98	20.90	21.02	21.66
总磷 Total phosphorus (g/kg)	33.70	29.50	51.10	23.30	25.60	16.70	19.10	20.00

表 4 实验饲料氨基酸组成  
Tab.4 Amino acid composition of experimental feeds (%)

氨基酸 Amino acid	红鱼粉 BFM	白鱼粉 WFM	肉骨粉 MBM	豆粕 SBM	菜粕 RSM	棉粕 CSM	花生粕 PNM	玉米酒糟蛋 白 DDGS
苏氨酸 Thr	2.02	2.15	1.53	1.43	1.81	1.71	1.61	1.32
缬氨酸 Val	2.62	2.72	1.99	1.99	2.57	2.24	2.32	1.99
蛋氨酸 Met	0.39	0.48	0.44	0.52	0.62	0.27	0.58	0.19
异亮氨酸 Ile	2.28	2.31	1.59	1.74	2.14	1.81	1.96	1.61
亮氨酸 Leu	3.77	3.82	2.66	2.85	3.43	3.11	3.32	3.14
苯丙氨酸 Phe	2.38	2.57	1.93	2.60	1.98	2.47	2.23	2.80
赖氨酸 Lys	3.68	3.36	2.21	2.63	2.82	2.52	2.57	2.31
组氨酸 His	1.44	1.45	1.08	2.35	1.08	1.21	1.02	0.83
精氨酸 Arg	2.53	2.37	1.99	3.14	2.21	3.27	3.00	1.83
牛磺酸 Tau	0.30	0.19	0.12	0.14	0.14	0.13	0.14	0.19
天冬氨酸 Asp	3.86	4.38	3.34	3.15	3.59	4.10	4.01	2.04
丝氨酸 Ser	1.88	1.99	1.49	1.47	1.74	1.77	1.80	1.37
谷氨酸 Glu	7.24	7.50	5.69	5.62	7.33	7.73	7.67	5.08
甘氨酸 Gly	2.78	2.80	2.63	1.80	2.60	2.20	2.51	1.85
丙氨酸 Ala	2.92	2.89	2.25	1.89	2.57	2.17	2.36	2.21
胱氨酸 Cys	0.12	0.87	1.18	0.94	0.41	0.43	0.09	0.20
酪氨酸 Tyr	1.28	1.46	0.89	1.19	1.37	1.09	1.47	0.90
脯氨酸 Pro	2.17	1.94	2.09	1.85	3.42	1.96	2.91	2.37
必需氨基酸 EAA	21.11	21.23	15.43	19.25	18.65	18.61	18.60	16.03
非必需氨基酸 NEAA	22.54	24.02	19.67	18.07	23.18	21.57	22.98	16.21
总氨基酸 TAA	43.65	45.24	35.10	37.32	41.83	40.18	41.58	32.24

## 1.2 实验鱼来源及驯化

实验用鱼苗来自河北唐山海都水产食品有限公司, 体重为 14.95 g, 在暂养池(方形, 5.0 m×5.0 m×1.5 m)中用商业配合饲料(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之间残食, 对每尾幼鱼剪牙, 然后继续在暂养池中暂养 14 d, 使其适应养殖环境。

## 1.3 饲养管理与粪便收集

养殖实验在山东省烟台市海阳市黄海水产公司基地进行, 选择初始体重为 37.90 g 的红鳍东方鲀幼鱼在养殖桶(方形, 0.7 m×0.7 m×0.4 m)中进行, 在 08:00 和 19:00 手工缓慢投喂至表观饱食。每天在投饲 1 h 后清除残饵, 5 h 后开始采用虹吸法收集聚集的粪便, 将粪便于 55℃烘干后, 置-20℃冰箱保存, 用于测定饲料原料的表观消化率。养殖过程中, 养殖

车间采用自然光周期, 流水养殖, 水温为 20℃~22℃, 盐度为 30~31, pH 为 7.4~8.2, 溶解氧(DO)为 5~7 mg/L。

#### 1.4 样品分析与消化率计算

饲料原料、实验饲料及鱼体常规成分的分析均采用(AOAC, 1995)的标准方法。其中, 水分含量用(105±2)℃ 常温干燥法; 粗蛋白含量采用凯氏定氮仪测定(VELP, UDK142 automatic distillation unit, VELP, Usmate, MB, 意大利); 粗脂肪采用索氏抽提仪测定(Foss Tecator, Hoganas, 瑞典); 饲料、粪便及原料氨基酸分析采用盐酸水解法, 通过全自动氨基酸分析仪(日立 L-8900, 日本)测定; 饲料及粪便的能量采用氧弹仪(Parr 6100, 美国)测定; 饲料、粪便中的磷和钷使用电感耦合等离子体发射光谱仪(Thermo iCAP 7600 ICP-OES, 美国)测定。

基础饲料和实验饲料干物质、营养成分(蛋白质、脂肪、磷和氨基酸)及能量的表观消化率计算公式如下:

$$ADC=(1-D_Y/F_Y) \times 100;$$

$$ADC_d=[1-(F/D) \times (F_Y/D_Y)] \times 100;$$

$$ADC_i=(ADC_t-0.7 \times ADC_r)/(1-0.7)$$

式中, ADC 为饲料中干物质的表观消化率(%);  $ADC_d$  为饲料中某营养物质的表观消化率(%);  $ADC_i$  为待测蛋白质源的表观消化率(%);  $D_Y$  为饲料中  $Y_2O_3$

的含量(%);  $F_Y$  为粪便中  $Y_2O_3$  的含量(%);  $F$  为粪便中对应的营养物质的含量(%);  $D$  为实验饲料中对应营养物质的含量(%);  $ADC_t$  为实验饲料中对应营养物质的表观消化率(%);  $ADC_r$  为基础饲料中对应营养物质的表观消化率(%)。

#### 1.5 数据统计

实验所得数据以平均值±标准误(Mean±SE)表示。实验数据采用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 当差异显著时( $P<0.05$ ), 采用 Tukey 检验进行多重比较。

## 2 结果

### 2.1 红鳍东方鲀对 8 种饲料原料中干物质、粗蛋白、粗脂肪、总磷和总能的表现消化率

红鳍东方鲀幼鱼对 8 种饲料原料干物质、粗蛋白、粗脂肪、氨基酸、总能和总磷的表观消化率结果见表 5。干物质的表观消化率在 43.35%~70.54%之间。其中, 白鱼粉的消化率最高, 与红鱼粉及豆粕无显著性差异( $P>0.05$ ), 显著高于 DDGS、菜粕、棉粕和肉骨粉(43.35%~46.39%)( $P<0.05$ )。植物蛋白中豆粕干物质消化率最高, 显著高于菜粕、棉粕及 DDGS( $P<0.05$ ), 与花生粕无显著差异( $P>0.05$ )。

表 5 红鳍东方鲀幼鱼对 8 种饲料原料干物质、粗蛋白、粗脂肪、能量以及磷的表观消化率  
Tab.5 Apparent digestibility of nutrients and energy in tested feed ingredients of *T. rubripes* (%)

项目 Items	表观消化率 Apparent digestibility							
	红鱼粉 BFM	白鱼粉 WFM	肉骨粉 MBM	豆粕 SBM	菜粕 RSM	棉粕 CSM	花生粕 PNM	玉米酒糟蛋白 DDGS
干物质 Dry matter	69.02±3.79 <sup>cd</sup>	70.54±1.39 <sup>d</sup>	43.35±2.41 <sup>a</sup>	60.37±3.00 <sup>cd</sup>	44.08±0.77 <sup>a</sup>	43.87±1.33 <sup>a</sup>	57.27±2.22 <sup>bc</sup>	46.39±2.88 <sup>ab</sup>
粗蛋白 Crude protein	88.57±2.13 <sup>cd</sup>	92.78±2.66 <sup>d</sup>	50.91±3.28 <sup>a</sup>	84.01±1.34 <sup>cd</sup>	78.27±6.01 <sup>bcd</sup>	62.16±4.98 <sup>ab</sup>	83.32±1.13 <sup>cd</sup>	72.50±3.63 <sup>bc</sup>
粗脂肪 Crude lipid	90.95±0.43 <sup>bc</sup>	94.19±4.28 <sup>c</sup>	78.33±3.08 <sup>ab</sup>	89.83±1.22 <sup>bc</sup>	80.66±4.91 <sup>abc</sup>	70.60±4.38 <sup>a</sup>	89.82±1.02 <sup>bc</sup>	84.38±0.62 <sup>abc</sup>
总能 Gross energy	90.01±2.60 <sup>c</sup>	88.62±2.62 <sup>c</sup>	30.58±4.58 <sup>a</sup>	76.26±2.87 <sup>c</sup>	50.39±0.84 <sup>b</sup>	46.79±2.89 <sup>b</sup>	88.67±2.34 <sup>c</sup>	39.17±3.13 <sup>ab</sup>
总磷 Total phosphorus	68.14±5.25 <sup>d</sup>	66.98±3.17 <sup>d</sup>	31.04±4.35 <sup>bc</sup>	20.94±1.67 <sup>ab</sup>	45.20±4.06 <sup>c</sup>	9.13±0.50 <sup>a</sup>	31.74±0.59 <sup>bc</sup>	37.20±1.87 <sup>c</sup>

注: 同一行数值中右上角不同小写字母表示组间存在显著差异( $P<0.05$ ), 下同

Note: Data within the same row with different superscriptes are significantly different ( $P<0.05$ ), the same as below

饲料原料粗蛋白的表观消化率在 50.91%~92.78%之间, 其中, 白鱼粉的表观消化率最高为 92.78%, 红鱼粉、菜粕、豆粕和花生粕也均在 78%以上, 且与白鱼粉无显著性差异( $P>0.05$ ); 肉骨粉和棉粕的粗蛋白表观消化率分别是 50.91%和 62.16%, 显著低于白鱼粉、红鱼粉、豆粕和花生粕( $P<0.05$ ); 植物蛋白中豆粕粗蛋白消化率最高, 显著高于棉粕( $P<0.05$ ), 与花生粕、菜粕及 DDGS 无显著差异( $P>0.05$ )。

饲料原料粗脂肪的表观消化率为 70.6%~

94.19%, 其中, DDGS、白鱼粉、菜粕、豆粕、红鱼粉和花生粕粗脂肪表观消化率较高, 均在 80%以上, 且各组之间无显著性差异( $P>0.05$ ); 棉粕和肉骨粉粗脂肪表观消化率分别为 70.60%和 78.33%, 显著低于白鱼粉组( $P<0.05$ )。

饲料原料的能量表观消化率为 30.58%~90.01%, 其中, 白鱼粉、豆粕、红鱼粉和花生粕的能量表观消化率显著高于 DDGS、菜粕、棉粕和肉骨粉( $P<0.05$ ), 肉骨粉的能量表观消化率显著低于白鱼粉、

红鱼粉、豆粕、菜粕、花生粕和棉粕( $P<0.05$ )。

饲料原料的磷表观消化率为9.13%~68.14%,其中,棉粕磷的表观消化率显著低于白鱼粉、红鱼粉、菜粕、花生粕、肉骨粉和 DDGS( $P<0.05$ ),白鱼粉和红鱼粉的磷的表观消化率显著高于豆粕、菜粕、花生粕、棉粕、肉骨粉和 DDGS( $P<0.05$ )。

## 2.2 红鳍东方鲀对 8 种饲料原料中氨基酸的表观消化率

红鳍东方鲀幼鱼对 8 种饲料原料的氨基酸的表观消化率如表 6 所示,红鳍东方鲀幼鱼对 8 种饲料原料的氨基酸的表观消化率差异较大,但各饲料原料的总氨基酸表观消化率变化趋势与各自的粗蛋白表观消化率基本一致。白鱼粉和红鱼粉的总氨基酸表观消化率最高,分别达到 84.35%和 85.79%,显著高于菜粕、豆粕、花生粕、棉粕、肉骨粉和 DDGS( $P<0.05$ ),且这 2 组氨基酸组成较为均衡,必需氨基酸的表观消

化率均在 75%以上。DDGS 的总氨基酸表观消化率为 61.21%,显著低于白鱼粉、红鱼粉、豆粕、花生粕和棉粕,显著高于肉骨粉( $P<0.05$ )。豆粕和花生粕总氨基酸的表观消化率分别为 76.40%和 75.57%,二者间无显著性差异( $P>0.05$ ),豆粕必需氨基酸表观消化率为 78.39%~95.35%,非必需氨基酸表观消化率为 20.68%~87.52%,花生粕必需氨基酸的表观消化率为 74.02%~85.10%,非必需氨基酸表观消化率为 40.77%~86.75%。棉粕和菜粕的总氨基酸 69.26%和 67.63%,棉粕必需氨基酸表观消化率为 63.74%~80.89%,非必需氨基酸的表观消化率为 28.46%~80.70%,菜粕必需氨基酸表观消化率为 63.90%~82.18%,非必需氨基酸的表观消化率为 36.72%~81.40%。肉骨粉总氨基酸表观消化率为 41.90%,显著性低于白鱼粉、红鱼粉、菜粕、棉粕、豆粕、花生粕和 DDGS( $P<0.05$ ),必需氨基酸表观消化率为 25.08%~57.82%,非必需氨基酸表观消化率为 15.26%~59.38%。

表 6 红鳍东方鲀幼鱼对 8 种饲料原料氨基酸的表观消化率  
Tab.6 Apparent digestibility of amino acids in tested feed ingredients of *T. rubripes* (%)

氨基酸 Amino acid	红鱼粉 BFM	白鱼粉 WFM	肉骨粉 MBM	豆粕 SBM	菜粕 RSM	棉粕 CSM	花生粕 PNM	玉米酒糟蛋 白 DDGS
苏氨酸 Thr	90.83±2.85 <sup>d</sup>	80.33±3.23 <sup>cd</sup>	25.08±4.38 <sup>a</sup>	79.06±3.31 <sup>cd</sup>	63.90±5.44 <sup>bc</sup>	65.18±4.04 <sup>c</sup>	74.02±2.98 <sup>cd</sup>	44.00±5.65 <sup>ab</sup>
缬氨酸 Val	93.06±2.49 <sup>d</sup>	91.49±2.85 <sup>d</sup>	45.02±4.69 <sup>a</sup>	95.35±2.68 <sup>d</sup>	68.39±4.03 <sup>b</sup>	80.89±2.96 <sup>bcd</sup>	83.77±2.36 <sup>cd</sup>	71.32±1.89 <sup>bc</sup>
蛋氨酸 Met	75.08±4.82 <sup>bc</sup>	75.99±2.33 <sup>bc</sup>	29.79±3.44 <sup>a</sup>	78.85±1.89 <sup>c</sup>	78.07±0.90 <sup>bc</sup>	63.74±4.10 <sup>b</sup>	76.91±2.95 <sup>bc</sup>	24.81±1.59 <sup>a</sup>
异亮氨酸 Ile	89.48±3.90 <sup>c</sup>	84.82±2.29 <sup>bc</sup>	39.14±3.73 <sup>a</sup>	80.65±2.78 <sup>bc</sup>	66.18±1.19 <sup>b</sup>	72.50±8.33 <sup>bc</sup>	75.43±4.46 <sup>bc</sup>	65.33±3.12 <sup>b</sup>
亮氨酸 Leu	88.58±1.79 <sup>c</sup>	84.32±4.20 <sup>bc</sup>	44.37±3.65 <sup>a</sup>	83.22±3.54 <sup>bc</sup>	68.57±3.64 <sup>b</sup>	71.54±4.51 <sup>bc</sup>	77.26±3.16 <sup>bc</sup>	72.34±1.36 <sup>b</sup>
苯丙氨酸 Phe	91.01±3.63 <sup>b</sup>	88.54±3.59 <sup>b</sup>	56.78±3.05 <sup>a</sup>	78.39±4.69 <sup>b</sup>	75.40±5.58 <sup>ab</sup>	75.97±4.92 <sup>ab</sup>	78.67±1.02 <sup>b</sup>	81.26±4.59 <sup>b</sup>
赖氨酸 Lys	93.28±0.81 <sup>de</sup>	93.93±1.08 <sup>e</sup>	57.82±4.25 <sup>a</sup>	89.72±2.53 <sup>cde</sup>	77.90±2.99 <sup>bc</sup>	71.41±3.99 <sup>ab</sup>	83.46±1.62 <sup>bcd</sup>	79.54±3.80 <sup>bcd</sup>
组氨酸 His	91.86±1.92 <sup>c</sup>	90.05±1.97 <sup>c</sup>	33.55±6.98 <sup>a</sup>	80.56±2.81 <sup>bc</sup>	82.18±4.42 <sup>bc</sup>	63.85±2.34 <sup>b</sup>	75.39±3.42 <sup>bc</sup>	66.02±3.41 <sup>b</sup>
精氨酸 Arg	90.42±3.30 <sup>d</sup>	90.78±2.04 <sup>d</sup>	44.53±3.93 <sup>a</sup>	83.18±2.25 <sup>cd</sup>	79.23±2.85 <sup>bcd</sup>	75.95±1.78 <sup>bc</sup>	85.10±2.95 <sup>cd</sup>	68.20±3.20 <sup>b</sup>
牛磺酸 Tau	81.62±2.66 <sup>d</sup>	73.61±4.24 <sup>cd</sup>	15.26±1.09 <sup>a</sup>	53.70±3.11 <sup>b</sup>	47.49±4.79 <sup>b</sup>	57.11±6.46 <sup>bc</sup>	40.77±2.20 <sup>b</sup>	56.95±4.86 <sup>bc</sup>
天冬氨酸 Asp	88.37±1.56 <sup>d</sup>	82.68±5.04 <sup>cd</sup>	59.38±6.87 <sup>ab</sup>	87.52±3.25 <sup>d</sup>	65.43±0.82 <sup>bc</sup>	80.70±4.61 <sup>cd</sup>	86.62±2.82 <sup>d</sup>	40.04±4.19 <sup>a</sup>
丝氨酸 Ser	87.12±2.89 <sup>c</sup>	88.42±3.66 <sup>c</sup>	38.56±4.95 <sup>a</sup>	71.27±2.54 <sup>bc</sup>	81.40±4.00 <sup>bc</sup>	76.54±4.21 <sup>bc</sup>	81.77±2.57 <sup>bc</sup>	64.57±4.04 <sup>b</sup>
谷氨酸 Glu	80.71±4.46 <sup>bc</sup>	90.45±3.35 <sup>c</sup>	52.24±3.47 <sup>a</sup>	75.11±1.58 <sup>bc</sup>	77.83±2.65 <sup>bc</sup>	71.82±3.80 <sup>b</sup>	78.74±1.82 <sup>bc</sup>	69.87±4.47 <sup>b</sup>
甘氨酸 Gly	78.29±2.36 <sup>d</sup>	89.01±3.40 <sup>d</sup>	45.24±1.04 <sup>a</sup>	76.79±1.91 <sup>d</sup>	60.42±3.89 <sup>b</sup>	79.95±3.65 <sup>d</sup>	75.00±2.23 <sup>cd</sup>	61.49±3.91 <sup>bc</sup>
丙氨酸 Ala	90.38±3.61 <sup>cd</sup>	92.53±2.53 <sup>d</sup>	20.71±2.64 <sup>a</sup>	83.50±1.94 <sup>bcd</sup>	76.85±3.62 <sup>bcd</sup>	71.66±6.52 <sup>bc</sup>	73.74±2.12 <sup>bcd</sup>	70.06±5.52 <sup>b</sup>
胱氨酸 Cys	73.26±0.80 <sup>b</sup>	69.19±4.15 <sup>b</sup>	33.24±4.40 <sup>a</sup>	20.68±4.06 <sup>a</sup>	66.01±1.49 <sup>b</sup>	28.46±3.68 <sup>a</sup>	61.66±2.40 <sup>b</sup>	63.09±2.53 <sup>b</sup>
酪氨酸 Tyr	90.59±4.15 <sup>d</sup>	79.79±4.30 <sup>cd</sup>	46.88±1.64 <sup>a</sup>	75.31±4.05 <sup>bcd</sup>	44.47±4.39 <sup>a</sup>	65.56±4.30 <sup>bc</sup>	86.75±2.40 <sup>d</sup>	60.64±2.08 <sup>ab</sup>
脯氨酸 Pro	66.19±3.10 <sup>bc</sup>	66.41±3.41 <sup>bc</sup>	36.60±3.65 <sup>a</sup>	68.74±3.90 <sup>c</sup>	36.72±3.02 <sup>a</sup>	71.95±1.98 <sup>c</sup>	63.54±3.12 <sup>bc</sup>	52.10±0.87 <sup>b</sup>
必需氨基酸 EAA	89.31±0.25 <sup>f</sup>	86.54±1.16 <sup>ef</sup>	41.71±0.62 <sup>a</sup>	83.01±1.31 <sup>de</sup>	73.28±1.49 <sup>c</sup>	71.28±1.33 <sup>bc</sup>	79.23±1.51 <sup>d</sup>	63.34±3.75 <sup>b</sup>
非必需氨基酸 NEAA	81.70±2.60 <sup>d</sup>	81.40±1.03 <sup>d</sup>	38.46±0.42 <sup>a</sup>	68.53±2.32 <sup>bc</sup>	61.44±1.52 <sup>b</sup>	68.21±2.42 <sup>bc</sup>	77.06±2.99 <sup>cd</sup>	60.19±1.14 <sup>b</sup>
总氨基酸 TAA	85.79±0.43 <sup>e</sup>	84.35±1.93 <sup>e</sup>	41.90±0.84 <sup>a</sup>	76.40±2.24 <sup>d</sup>	67.63±0.86 <sup>bc</sup>	69.26±2.97 <sup>cd</sup>	75.67±1.30 <sup>d</sup>	61.21±0.97 <sup>b</sup>

白鱼粉赖氨酸消化率最高,显著高于肉骨粉、棉粕及 DDGS( $P<0.05$ ),与红鱼粉、豆粕及花生粕无显著差异( $P>0.05$ )。除苯丙氨酸、牛磺酸及胱氨酸的消化率较低外,红鳍东方鲀对白鱼粉、红鱼粉的其他氨

基酸的消化率均较高;除精氨酸外,花生粕的所有必需氨基酸消化率虽低于豆粕,但无显著差异( $P>0.05$ );红鳍东方鲀对肉骨粉的氨基酸消化率都较低;除赖氨酸和苏氨酸,红鳍东方鲀对 DDGS 氨

基酸消化率均较低。

### 3 讨论

本研究以红鳍东方鲀幼鱼为研究对象, 采用氧化钇( $Y_2O_3$ )为外源指示剂, 在饲料配制方面, 采用 Cho 等(1982)的“套算法”, 即用“70%的基础饲料和 30%的待测饲料原料”配制成实验饲料, 这样既保证了红鳍东方鲀的正常生长生理需求, 又保证了所测蛋白原料表观消化率的数据更加接近鱼体营养消化生理的真实情况。

干物质的表观消化率反映了鱼类对饲料原料总体的消化吸收水平。本研究红鳍东方鲀幼鱼对白鱼粉和红鱼粉的干物质表观消化率显著高于植物性饲料, 这与大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)(杨传哲等, 2016)、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)(任鸣春等, 2012)、真鲷(*Pagrus major*)(McGoogan *et al*, 1996)、大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)(李会涛等, 2007)、条纹鲈(*Morone saxatilis*)(Sullivan *et al*, 1995)和罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)(Guimarães *et al*, 2008)的研究结果相似。而且, 目前已有研究表明, 肉食性鱼类对鱼粉等动物性饲料原料的干物质消化吸收要比植物性饲料原料好(Bergot *et al*, 1983)。肉食性鱼类利用纤维素的能力较差, 可能是植物性饲料原料表观消化率偏低的原因, 本研究肉骨粉的干物质表观消化率为 43.35%, 显著低于美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)(86%)(Gaylord *et al*, 1996), 同时也显著低于豆粕和花生粕( $P < 0.05$ ), 这和很多已有的结果不同, 但在大黄鱼(李会涛等, 2007)中有类似的情况。现有报道指出, 肉骨粉不同批次差异较大, 可比较性较差, 当肉骨粉中骨粉含量较大时, 可能会使消化吸收情况受到影响(李会涛等, 2007), 这可能是其干物质消化率较低的原因。

饲料原料蛋白质的质量是影响鱼类生长性能的重要因素, 饲料蛋白质粗蛋白表观消化率是饲料配制切实有效的测定方法。本研究中, 红鳍东方鲀幼鱼对 8 种饲料原料的粗蛋白表观消化率中, 白鱼粉的最高, 达到 92.78%, 红鱼粉次之, 这与大部分报道的肉食性鱼类的结果一致。白鱼粉、红鱼粉的粗蛋白表观消化率与豆粕、花生粕及菜粕无显著性差异( $P > 0.05$ ), 说明红鳍东方鲀对豆粕、花生粕及菜粕的蛋白质消化率较高, 可以有效地部分替代鱼粉。本研究发现, 红鳍东方鲀对肉骨粉粗蛋白消化率较低(50.91%), 花鲈(*Lateolabrax japonicus*)对肉骨粉的消化率虽然在所测定的鱼粉、肉骨粉、豆粕、棉粕、花生粕及菜粕中处于较低水平, 但也达到了 77.39% (常青等, 2005); 虹

鳟(*Oncorhynchus mykiss*)(Bureau *et al*, 1999)对肉骨粉的消化率为 83%~89%, 乌鳢(*Ophiocephalus argus*)(Yu *et al*, 2013)的粗蛋白消化率为 80.10%, 粗蛋白的消化率虽与鱼种有关, 但也受肉骨粉的加工条件和肉的质量的影响。对于植物蛋白, 豆粕和花生粕蛋白质消化较高, 菜粕次之, 棉粕最差, 这与花鲈的研究结果一致(常青等, 2005)。本研究 DDGS 的消化率为 72.5%, 远远高于大菱鲆(杨传哲等, 2016)对玉米蛋白粉的消化率(48.97%~57.20%), 低于钟国防等(2012)报道暗纹东方鲀(*Takifugu obscurus*)玉米蛋白粉的消化率(94.97%), 但据报道军曹鱼(Zhou *et al*, 2004)、建鲤(*Cyprinus carpio var. Jian*)(梁丹妮等, 2010)和凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)(韩斌等, 2009)对玉米蛋白粉中粗蛋白质的表观消化率分别为 94.42%、92.85%及 90.40%。可能原因是 DDGS 是一种以玉米为原料发酵制取乙醇后产出的酒糟, 含有蛋白质、B 族维生素及氨基酸, 是一种非常优良的饲料, 与玉米蛋白粉不同的蛋白质含量及其他成分差异较大。本研究发现, 红鳍东方鲀对肉骨粉和棉粕蛋白质消化率较低, 建议在配方中不宜高水平添加。影响饲料蛋白源中粗蛋白表观消化率的因素主要有两方面, 一是蛋白质的质量取决于蛋白源的氨基酸组成和可利用性, 在植物蛋白替代鱼粉时, 往往因为植物蛋白氨基酸不平衡而影响其蛋白质利用率(Hasan *et al*, 1997); 二是植物性蛋白源中往往存在一种或多种抗营养因子, 这也影响粗蛋白的消化吸收(Francis *et al*, 2001)。

氨基酸的组成和表观消化率可以反映饲料原料的蛋白质质量。本研究中, 红鳍东方鲀幼鱼对 8 种饲料原料氨基酸表观消化率的变化趋势与粗蛋白的表观消化率基本一致, 这与银鲈(*Bidyanus bidyanus*)(周兴华等, 2003)和大菱鲆(杨传哲等, 2016)中得出的结果相一致。饲料中必需氨基酸的缺乏会导致鱼体生长缓慢(Bergot *et al*, 1983), 在选择饲料原料时, 饲料氨基酸的组成至关重要。DDGS 的蛋氨酸和苏氨酸的消化率较低, 导致粗蛋白消化率较低; 而肉骨粉的蛋氨酸、苏氨酸、蛋氨酸、组氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸及精氨酸均较低, 与粗蛋白消化率最低的结果相吻合。红鳍东方鲀氨基酸消化率的获得使更精准更经济地进行配方设计得以实现。

脂肪是鱼类体内重要的能源物质。本研究红鳍东方鲀幼鱼对 8 种饲料原料的脂肪表观消化率差异显著( $P < 0.05$ ), 在 70.60%~94.19%之间。说明红鳍东方鲀对大部分饲料的脂肪具有很好的消化能力, 除棉粕和肉骨粉的消化率较低外, 其余的饲料脂肪消化率都在 80%以上, 与大多数鱼类都可利用脂肪的特性一

致。棉粕的粗脂肪表观消化率为 70.60%，低于花鲈(常青等, 2005)和斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*) (NRC, 1993)的研究结果, 分别为 80.46%和 88%, 高于大黄鱼的研究结果(61.3%)(李会涛等, 2007)。肉骨粉的粗脂肪表观消化率为 78.33%, 这与美国红鱼的研究结果接近(McGoogan *et al*, 1996; Gaylord *et al*, 1996)。

研究表明, 肉食性鱼类对动物性饲料原料的能量消化率要优于植物性饲料原料(Cho *et al*, 1982; Sullivan *et al*, 1995; Bergot *et al*, 1983)。本研究中, 肉骨粉能量的表观消化率最低(30.58%), 这可能与肉骨粉的原料组成、加工过程密切相关。

本研究中, 对于花生粕、棉粕、菜粕和 DDGS 等原料磷的表观消化率为 9.13%~45.20%, 存在普遍偏低的现象, 这种情况在其他鱼类如斑点叉尾鲷(NRC, 1993)、虹鳟(Lall, 1991)等肉食性鱼类中也有类似的结果, 豆粕、花生粕和棉粕等植物性饲料原料中的磷是以植酸及其盐的形式存在(Lall, 1991), 而鱼类无法利用植酸磷, 这也影响了红鳍东方鲀幼鱼对植物性饲料原料磷的表观消化率(Marty *et al*, 1996)。本研究中的肉骨粉的磷表观消化率显著高于棉粕, 显著低于白鱼粉和红鱼粉, 肉骨粉中骨骼含量高, 而骨骼中含有大量的磷, 这部分磷大多以不溶的羟基磷石灰和磷酸钙的形式存在, 鱼类不易吸收(Lall, 1991)。这也是同为动物性饲料原料, 肉骨粉的磷表观消化率要低于鱼粉的原因。

#### 4 小结

白鱼粉和红鱼粉的各种营养成分的表观消化率均较佳, 肉骨粉及棉粕各种营养成分的表观消化率相对较差; 豆粕及花生粕的粗蛋白质消化率及必需氨基酸的消化率优于其他植物蛋白, 菜粕次之, 可在红鳍东方鲀饲料中适量添加。

#### 参 考 文 献

- AOAC. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, 14th edn. Williams S(Eds), Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, 1995, 1141
- Bergot F, Breque J. Digestibility of starch by rainbow trout: Effects of the physical state of starch and of the intake level. *Aquaculture*, 1983, 34(3-4): 203-212
- Bureau DP, Harris AM, Cho CY. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 1999, 180(3): 345-358
- Chang Q, Liang MQ, Wang JL, *et al*. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*). *Acta Hydrobiologica Sinia*, 2005, 29(2): 172-176 [常青, 梁萌青, 王家林, 等. 花鲈对不同饲料原料的表观消化率. *水生生物学报*, 2005, 29(2): 172-176]
- Cho CY, Slinger SJ, Bayley HS. Bioenergetics of salmonid fishes: Energy intake, expenditure and productivity. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B, Comparative Biochemistry*, 1982, 73(1): 25-41
- Francis G, Harinder PSM, Klaus B. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 2001, 199(3-4): 197-227
- Gaylord TG, Iii DMG. Determination of digestibility coefficients of various feedstuffs for red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture*, 1996, 139(3-4): 303-314
- Goddard JS, McLean E. Acid-insoluble ash as an inert reference material for digestibility studies in tilapia, *Oreochromis aureus*. *Aquaculture*, 2001, 194(1-2): 93-98
- Guimarães IG, Pezzato LE, Barros MM. Amino acid availability and protein digestibility of several protein sources for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition*, 2008, 14(5): 396-404
- Han B, Hua XM, Zhou HQ. Study on apparent digestibilities (AD) of corn gluten meal for *Litopenaeus vannamei*. *Feed Industry*, 2009, 30(4): 24-25 [韩斌, 华雪铭, 周洪琪. 凡纳滨对虾对玉米蛋白粉表观消化率的研究. *饲料工业*, 2009, 30(4): 24-25]
- Hasan MR, Macintosh DJ, Jauncey K. Evaluation of some plant ingredients as dietary protein sources for common carp (*Cyprinus carpio* L.) fry. *Aquaculture*, 1997, 151(1-4): 55-70
- Lall SP. Digestibility, metabolism and excretion of dietary phosphorus in fish. In: Cowey CB, Cho CY(Eds.), *Proc. 1st Int. Symposium on Nutritional Strategies and Management of Aquaculture Waste*. University of Guelph. Guelph, Ontario, Canada, 1991, 21-36
- Li HT, Mai KS, Ai QH, *et al*. Apparent digestibility of selected protein ingredients for yellow croaker *Pseudosciaena crocea*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31(3): 370-376 [李会涛, 麦康森, 艾庆辉, 等. 大黄鱼对几种饲料蛋白原料消化率的研究. *水生生物学报*, 2007, 31(3): 370-376]
- Liang DN, Jiang XJ, Liu WB, *et al*. Nutrient apparent digestibility of seven kinds of feed ingredients for Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *Jian*). *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2010, 22(6): 1592-1598 [梁丹妮, 姜雪姣, 刘文斌, 等. 建鲤对 7 种饲料原料中营养物质的表观消化率. *动物营养学报*, 2010, 22(6): 1592-1598]
- McGoogan BB, Reigh RC. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets. *Aquaculture*, 1996, 141(3-4): 233-244
- National Research Council (NRC). *Nutrient requirements of fishes*. National Academy of Sciences, Washington, DC, 1993
- Ren MC, Ai QH, Mai KS, *et al*. Apparent digestibility of seven protein ingredients for cobia, *Rachycent canadum*. *Periodical of Ocean University of China*, 2012, 42(S1): 45-50 [任鸣春, 艾庆辉, 麦康森, 等. 军曹鱼七种饲料原料表观消化率的研究. *中国海洋大学学报*, 2012, 42(S1): 45-50]
- Silva SSD, Anderson TA. *Fish nutrition in aquaculture*. London:

- Chapman and Hall, 1995, 103–142
- Sullivan JA, Reigh RC. Apparent digestibility of selected feedstuffs in diets for hybrid striped bass (*Morone saxatilis* ♀ × *Morone chrysops* ♂). *Aquaculture*, 1995, 138(1–4): 313–322
- Yang CZ, He G, Zhou HH, *et al.* Nutrient apparent digestibility coefficients of several protein sources in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) and effects of extrusion treatment on them. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(7): 2045–2054 [杨传哲, 何良, 周慧慧, 等. 大菱鲆幼鱼对几种蛋白质源中营养物质的表观消化率及膨化处理对其产生的影响. *动物营养学报*, 2016, 28(7): 2045–2054]
- Yu HR, Zhang Q, Cao H, *et al.* Apparent digestibility coefficients of tested feed ingredients for juvenile snakehead, *Ophiocephalus argus*. *Aquaculture Nutrition*, 2013, 19(2): 139–147
- Zhong GF, Han B, Hua XM, *et al.* Apparent digestibility coefficients (ADC) of selected protein feed ingredients and the effect of dietary multi-enzyme on ADC of *Takifugu obscurus*. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2012, 21(2): 241–246 [钟国防, 韩斌, 华雪铭, 等. 暗纹东方鲀对几种蛋白质原料表观消化率及酶制剂对其消化能力的影响. *上海海洋大学学报*, 2012, 21(2): 241–246]
- Zhou QC, Tan BP, Mai KS, *et al.* Apparent digestibility of selected feed ingredients for juvenile cobia *Rachycentron canadum*. *Aquaculture*, 2004, 241(1–4): 441–451
- Zhou XH, Xiang X, Chen J. Apparent digestibility of protein and amino acid in six feed ingredients for *Bidyanus bidyanus*. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2003(3): 95–98 [周兴华, 向泉, 陈建. 银鲈对六种饲料原料蛋白质和氨基酸的表观消化率. *西南农业学报*, 2003, 16(3): 95–98]

(编辑 陈 辉)

## Apparent Digestibility Coefficients of Selected Feed Ingredients for Juvenile Tiger Puffer (*Takifugu rubripes*)

WANG Jianxue<sup>1,2</sup>, WEI Yuliang<sup>2</sup>, XU Houguo<sup>2</sup>, LIANG Mengqing<sup>2①</sup>

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

2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

**Abstract** Apparent digestibility coefficients (ADCs) of dry matter, crude protein, crude lipid, gross energy, phosphorus and amino acids in white fish meal, Peruvian red fish meal, meat and bone meal, corn gluten meal, soybean meal, peanut meal, cottonseed meal, and rapeseed meal were determined for juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*) with initial mean body weight of 37.90 g. A reference diet and test diets that consisted of a 70 : 30 mixture of the reference diet to test ingredient were used with 0.1% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as an external indicator. White fish meal, Peruvian red fish meal and soybean meal had higher ADCs of dry matter, dry matter ADCs ranged in 43.35%~70.54% among ingredients tested. Protein ADCs of feed ingredients ranged in 50.91%~92.78%, meat and bone meal had significantly lower ADCs of protein compared with that of white fish meal, Peruvian red fish meal, soybean meal, peanut meal, rapeseed meal and distillers dried grains with solubles (DDGS) ( $P < 0.05$ ). Amino acid ADCs generally reflected protein digestibility. ADCs of lipid were relatively high in the ingredients tested. Energy ADCs of feed ingredients ranged in 30.58%~90.01%, white fish meal, Peruvian red fish meal, soybean meal and peanut meal had significantly higher ADCs of energy (76.26%~90.01%). Phosphorus ADCs of feed ingredients ranged in 9.13%~68.14%, white fish meal, Peruvian red fish meal had significantly higher ADCs of phosphorus among ingredients tested. In conclusion, ADCs of dry matter, crude protein, crude lipid, gross energy, phosphorus and amino acids in white fish meal, Peruvian red fish meal were higher, while ADCs of dry matter, crude protein, crude lipid, gross energy, phosphorus and amino acids in meat and bone meal and DDGS were lower compared with that other tested ingredient for tiger puffer. Soybean meal and peanut meal had higher ADCs of protein and essential amino acids in plant protein ingredients. Resultant digestibility data may provide useful information to commercial tiger puffer feed industry.

**Key words** *Takifugu rubripes*; Apparent digestibility coefficients; Feed ingredients; Nutrients

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