

凡纳滨对虾对 13 种动物性饲料原料 营养物质表观消化率的研究

王文娟 迟淑艳* 谭北平 董晓慧 杨奇慧 刘泓宇 杨俊江
(广东海洋大学水产学院水产动物营养与饲料实验室, 湛江 524088)

摘要: 本试验以三氧化二钇(Y_2O_3)为指示剂,由 70% 的基础饲料和 30% 的待测原料组成试验饲料,旨在研究凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)对 13 种动物性饲料原料的营养物质表观消化率。13 种动物性饲料原料分别为:白鱼粉(俄罗斯)、低温蒸汽红鱼粉(秘鲁)、国产直火干燥鱼粉、进口直火干燥鱼粉(秘鲁)、下杂鱼粉、血球蛋白粉、烘干血粉、鸡肉粉、肉骨粉、肉粉、酵解羽毛粉、水解羽毛粉和全虾粉。选取初始均重为(13.0 ± 0.1) g 的凡纳滨对虾 1 260 尾,随机分为 14 组,每组 3 个重复,每个重复 30 尾虾。各组对虾分别投喂相应试验饲料 1 周后,采用虹吸法收粪,测定干物质、粗蛋白质、粗脂肪、总能、总磷和氨基酸的表观消化率。结果表明:13 种饲料原料的干物质、粗蛋白质、粗脂肪、总能、总磷和氨基酸的表观消化率范围分别为 58.11% ~ 76.91%、64.17% ~ 93.57%、52.44% ~ 95.62%、43.00% ~ 95.21%、39.11% ~ 76.47% 和 63.48% ~ 94.06%。各饲料原料的氨基酸表观消化率与粗蛋白质表观消化率变化趋势基本一致。白鱼粉、低温蒸汽红鱼粉和进口直火干燥鱼粉的粗蛋白质表观消化率显著高于其他各饲料原料($P < 0.05$);酵解羽毛粉、水解羽毛粉和烘干血粉的粗脂肪表观消化率显著低于其他各饲料原料($P < 0.05$);白鱼粉和进口直火干燥鱼粉的总能表观消化率显著高于其他各饲料原料($P < 0.05$);白鱼粉、低温蒸汽红鱼粉、国产直火干燥鱼粉和进口直火干燥鱼粉的总磷表观消化率显著高于血球蛋白粉和烘干血粉($P < 0.05$)。13 种动物性饲料原料中白鱼粉的干物质、总能和总磷的表观消化率最高,水解羽毛粉的干物质、粗蛋白质和总能的表观消化率最低,烘干血粉的粗脂肪和总磷的表观消化率最低。由此可见,不同来源和品质的鱼粉的营养物质表观消化率不同;鸡肉粉、肉骨粉、肉粉和全虾粉可作为凡纳滨对虾的优质蛋白质源,在实际生产中可部分替代鱼粉;羽毛粉和血粉由于所采用的加工工艺不同,其营养物质组成有所不同,导致表观消化率有一定的差异,在配制饲料前需对其进行营养价值的评定。

关键词: 凡纳滨对虾;饲料原料;营养物质;表观消化率

中图分类号: S963

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2012)12-2402-13

饲料原料的营养价值不仅取决于营养成分含量,还取决于动物对这些营养物质的消化、吸收和利用率^[1]。我国饲料原料来源广泛、品种繁多,特别是动物性饲料原料,如鱼粉、鸡肉粉、肉骨粉、肉粉、血粉、羽毛粉等,而这些饲料原料由于营养素

组成和加工工艺不同显示不同的营养价值,导致动物对其消化利用程度不同。因此,准确测定动物对各饲料原料营养物质的消化率,不仅是评价饲料营养成分可利用性的常用手段,也是配制营养全面、成本合理的饲料配方必不可少的重要

收稿日期:2012-06-17

基金项目:农业公益性行业科研专项——水产养殖动物营养需求与高效配合饲料开发(201003020);广东省高等学校珠江学者特聘教授基金(GDUPS-2011)

作者简介:王文娟(1986—),女,河南林州人,硕士研究生,研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: wwj6974381@163.com

* 通讯作者:迟淑艳,副教授,硕士生导师, E-mail: chishuyan@yahoo.com.cn

步骤^[2]。

关于凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 对动物性蛋白质源消化率的研究已展开了部分工作。目前已测定了凡纳滨对虾对鱼粉^[3-11]、肉骨粉^[4-6,7-10]、鸡肉粉^[4-5,7-10]、肉粉^[4-5,7-10]、羽毛粉^[7]、乌贼内脏粉^[3,10]、蟹粉^[3,6]、扇贝副产物粉^[3]、鱼溶蛋白粉^[3]、鲑鱼肝脏粉^[6]、发酵蚕蛹粉^[6]和虾头粉^[4-5,10]等动物性蛋白质源的干物质、粗蛋白质、总能的表现消化率,但测定结果之间存在一定的差异,且关于总磷和粗脂肪表观消化率的研究仅见 Yang 等^[4]和刘襄河^[8]有过报道,因此需要进一步研究。

本试验拟通过研究凡纳滨对虾对白鱼粉(俄罗斯)、低温蒸汽红鱼粉(秘鲁)、国产直火干燥鱼粉、进口直火干燥鱼粉(秘鲁)、下杂鱼粉、血球蛋白粉、烘干血粉、肉骨粉、鸡肉粉、肉粉、水解羽毛粉、醇解羽毛粉和全虾粉这 13 种动物性饲料原料的干物质、粗蛋白质、粗脂肪、总能、总磷和氨基酸的表现消化率,以便系统性地了解凡纳滨对虾对这些动物性饲料原料的表现消化率,构建饲料原料消化率数据库,为凡纳滨对虾配合饲料的发展提供一定的参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验饲料的配制

根据凡纳滨对虾的营养需求^[10]配制基础饲料,其组成及营养水平见表 1。试验饲料的配制采用“套算法”^[11],即用“70% 基础饲料 + 30% 测定原料”,以三氧化二钇(Y_2O_3)作为外源指示剂,配制成 13 种试验饲料。待测饲料原料的营养水平和氨基酸组成分别见表 2 和表 3。配方中各饲料原料粉碎后过 60 目筛,采用逐级扩大法混合,压制成药粒为 2.0 mm 的颗粒饲料,风干后放入 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱中保存待用。

1.2 饲养管理

试验虾购自国家(863)计划海水养殖种子工程南方基地。选择健康、初始体重为 $(13.0 \pm 0.1)\text{ g}$ 的凡纳滨对虾 1 260 尾,随机分为 14 组,每组 3 个重复,每个重复 30 尾虾。其中,对照组投喂基础饲料,试验组随机投喂 1 种试验饲料。在试

验期间,每天饱食投喂 4 次(07:00、12:00、16:00 和 22:00)。试验用水为经过沉淀、沙滤的天然海水,试验期间水温为 $28.0 \sim 30.0\text{ }^\circ\text{C}$,海水盐度为 27~29,连续充氧,溶氧含量不低于 5.0 mg/L ,氨氮含量不高于 0.03 mg/L 。

表 1 基础饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
低温蒸汽红鱼粉(秘鲁) Low-temperature steam dried brown fish meal (Peru)	25.00
去皮豆粕 Dehulled soybean meal	30.00
小麦谷朊粉 Vital gluten meal	4.00
高筋面粉 High-tensile wheat flour	35.32
大豆卵磷脂 Soybean lecithin	2.00
鱼油 Fish oil	2.00
维生素 C 磷酸酯 Ascorbyl-2-polyphosphate	0.05
氯化胆碱 Choline chloride	0.50
维生素预混料 Vitamin premix ¹⁾	0.30
矿物质预混料 Mineral premix ²⁾	0.70
乙氧基喹啉 Ethoxyquin	0.03
三氧化二钇 Y_2O_3	0.10
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels ³⁾	
干物质 Dry matter	91.34
总能 Gross energy/(MJ/kg)	20.39
粗蛋白质 Crude protein	44.84
粗脂肪 Crude lipid	7.41
磷 Phosphorus	1.31

¹⁾ 每千克维生素预混料含有 Contained the following per kilogram of vitamin premix: VA 10 g, VD₃ 50 g, VE 99 g, VK 5.0 g, VB₁ 25.50 g, VB₂ 25 g, VB₆ 50 g, VB₁₂ 0.1 g, 泛酸钙 calcium pantothenate 61 g, 烟酸 nicotinic acid 101 g, 生物素 biotin 25 g, 肌醇 inositol 153.06 g, 叶酸 folic acid 6.25 g, 纤维素 cellulose 389.09 g。

²⁾ 每千克矿物质预混料含有 Contained the following per kilogram of mineral premix: KIO₄ 0.03 g, CoCl₂ · 6H₂O 4.07 g, CuSO₄ · 5H₂O 19.84 g, 柠檬酸铁 ferric citrate 13.71 g, ZnSO₄ · 7H₂O 28.28 g, MgSO₄ · 7H₂O 0.12 g, CaH₂PO₄ 80 g, MnSO₄ · H₂O 12.43 g, KCl 15.33 g, Na₂SeO₃ 2 g, 沸石粉 zeolite power 824.19 g。

³⁾ 测定值 Measured values。

表 2 待测原料的营养水平(干物质基础)
Table 2 Nutrient levels of test ingredients (DM basis)

待测原料 Test ingredients	干物质 Dry matter/ %	粗蛋白质 Crude protein/ %	粗脂肪 Crude lipid/ %	总能 Gross energy/ (MJ/kg)	总磷 Total phosphorus/ %
白鱼粉(俄罗斯) White fish meal (Russia)	90.28	65.19	5.84	19.61	2.77
低温蒸汽红鱼粉(秘鲁) Low-temperature steam dried brown fish meal (Peru)	90.62	65.99	5.95	18.65	3.15
国产直火干燥鱼粉 Domestic flame dried fish meal	90.73	71.65	6.60	20.31	2.40
进口直火干燥鱼粉(秘鲁) Imported flame dried fish meal (Peru)	91.46	73.40	5.16	20.97	3.02
下杂鱼粉 Miscellaneous fish meal	87.90	53.36	8.15	19.75	3.71
血球蛋白粉 Spray-dried blood cells	85.68	95.62	0.41	22.89	0.62
烘干血粉 Drying blood meal	90.15	95.13	0.53	24.40	0.74
鸡肉粉 Chicken meal	90.26	70.36	12.58	27.08	5.38
肉骨粉 Meat and bone meal	95.02	47.17	8.28	15.79	6.09
肉粉 Meat meal	89.23	70.71	12.86	25.64	4.65
酵解羽毛粉 Fermented feather meal	93.86	87.90	1.93	23.79	1.18
水解羽毛粉 Hydrolyzed feather meal	90.44	89.20	2.35	25.56	1.04
全虾粉 Shrimp meal	91.39	74.64	1.61	21.93	1.04

1.3 样品采集

投喂饲料 1 周后开始收集粪便,每次投喂 1.5 h 后,用虹吸法收集新鲜、成形、饱满的粪便,每个重复收集的粪便样品放入同一个样品袋中,置于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中冷冻保存^[12],直到收集到足够的(干重 10 g)样品用于分析。

1.4 指标测定及方法

将饲料及粪便样品 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干后,研磨、粉碎过 40 目筛,测定其中的营养成分含量。测定方法参照 AOAC(1995)^[13] 推荐的方法,即水分含量采用 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温干燥法测定;粗蛋白质含量采用凯氏定氮法(KT8400 蛋白质自动分析仪)测定;粗脂肪含量采用索氏提取法(以乙醚为溶剂)测定;能量采用氧弹式能量仪(5E-1C)测定;磷含量采用比色法(钼黄分光光度计)测定;氨基酸含量采用氨基酸自动分析仪(日立 L-8800)测定;钪含量采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS 7500-CX)测定。

1.5 表观消化率的计算公式

$$\text{饲料干物质的表观消化率}(\%) = (1 - S_y/F_y) \times 100;$$

饲料中粗蛋白质、粗脂肪、氨基酸、总磷及总能的表观消化率($\%$) = $[1 - (F_i/S_i) \times$

$$(S_y/F_y)] \times 100。$$

式中: S_y 为饲料中钪的含量($\%$); F_y 为粪便中钪的含量($\%$); S_i 为饲料中某营养成分的含量($\%$ 或 MJ/kg); F_i 为粪便中某营养成分的含量($\%$ 或 MJ/kg)。

待测原料中干物质、粗蛋白质、粗脂肪、氨基酸、总磷及总能的表观消化率计算公式:

$$D_i = D_T + [(D_T - D_R) \times (0.7 \times X_R/0.3 \times X_T)]^{[14]}。$$

式中: D_i 为待测原料中某营养成分的表观消化率($\%$); D_T 为试验饲料中某营养成分的表观消化率($\%$); D_R 为基础饲料中某营养成分的表观消化率($\%$); W_R 为摄取试验饲料中基础饲料的重量(g); W_T 为摄取试验饲料的重量(g); X_R 为基础饲料中某营养成分的含量($\%$ 或 MJ/kg); X_T 为试验饲料中某营养成分的含量($\%$ 或 MJ/kg)。

1.6 数据处理与统计分析

结果以平均值 \pm 标准差表示。采用 SPSS 16.0 统计软件对数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),当单因素方差分析处理间差异显著($P < 0.05$)时,先采用 Levene test 进行方差齐性检验,若方差具有齐性,再采用 Duncan 氏法进行多重比较分析。

表 3 待测原料的氨基酸组成(干物质基础)

Table 3 Amino acid composition of test ingredients (DM basis)

氨基酸 Amino acids	% Amino acid composition of test ingredients (DM basis)												
	白鱼粉(俄罗斯) White fish meal (Russia)	低温蒸汽 红鱼粉(秘鲁) Low-temperature steam dried brown fish meal (Peru)	国产直火 干燥鱼粉 Domestic flame dried fish meal	进口直火 干燥鱼粉 (秘鲁) Imported flame dried fish meal (Peru)	下杂鱼粉 Miscellaneous fish meal	血球蛋白粉 Spray-dried blood meal	烘干血粉 Drying blood meal	鸡肉粉 Chicken meal	肉骨粉 Meat and bone meal	肉粉 Meat meal	发酵羽毛粉 Fermented feather meal	水解羽毛粉 Hydrolyzed feather meal	全虾粉 Shrimp meal
天冬氨酸 Asp	6.03	5.58	6.00	6.24	4.29	10.27	10.23	4.93	3.07	4.75	5.73	5.76	7.26
苏氨酸 Thr	2.73	2.57	2.76	2.97	1.98	3.17	3.23	3.01	1.30	2.12	3.88	3.94	2.65
丝氨酸 Ser	2.79	2.33	2.32	2.57	2.22	3.75	3.92	5.69	1.64	2.80	8.70	8.82	2.71
谷氨酸 Glu	8.02	7.42	8.41	8.47	6.19	7.73	8.04	7.62	4.94	7.47	8.58	8.68	9.55
甘氨酸 Gly	4.35	4.23	3.77	4.16	5.72	4.19	4.15	5.32	7.02	8.46	6.64	6.72	4.48
丙氨酸 Ala	3.58	3.83	4.01	4.20	3.35	7.06	6.50	3.26	3.28	4.26	3.49	3.62	3.72
胱氨酸 Cys	0.94	0.76	0.79	0.85	0.58	1.08	1.13	1.66	0.58	0.76	2.38	2.20	0.85
缬氨酸 Val	2.58	2.63	2.93	3.03	2.01	6.59	6.41	3.84	1.62	2.66	5.07	5.33	2.79
蛋氨酸 Met	1.97	1.85	2.03	2.16	1.41	0.98	0.89	0.84	0.63	1.12	0.71	0.68	2.04
亮氨酸 Ile	2.68	2.51	2.81	2.99	1.79	1.19	1.07	3.19	1.24	2.07	3.96	4.15	3.23
异亮氨酸 Leu	4.53	4.31	4.75	5.05	3.12	11.38	11.09	5.14	2.54	4.14	6.34	6.71	5.14
酪氨酸 Tyr	2.14	2.02	2.12	2.34	1.51	2.28	2.48	2.11	1.20	2.08	2.56	2.67	2.31
苯丙氨酸 Phe	2.66	2.54	2.72	2.84	2.05	5.66	5.44	3.16	1.77	2.53	3.78	3.90	2.87
赖氨酸 Lys	4.93	4.78	5.10	5.56	3.12	8.15	7.97	2.55	2.17	3.52	1.87	1.86	5.72
组氨酸 His	1.41	1.96	1.82	2.39	0.87	6.68	6.28	0.89	0.67	1.16	0.67	0.68	1.40
精氨酸 Arg	4.28	3.81	3.61	4.15	3.37	4.14	4.15	4.79	3.38	4.82	6.05	6.20	5.54
脯氨酸 Pro	2.81	2.86	2.61	2.92	3.28	3.46	3.81	6.86	5.00	5.76	9.78	10.16	2.66

2 结果

凡纳滨对虾对 13 种动物性饲料原料的干物

质、粗蛋白质、粗脂肪、总能和总磷表观消化率见表 4, 对 13 种动物性饲料原料的氨基酸表观消化率见表 5。

表 4 凡纳滨对虾对 13 种动物性饲料原料的干物质、粗蛋白质、粗脂肪、总能和总磷表观消化率

Table 4 Apparent digestibility of dry matter, crude protein, crude lipid, gross energy and total phosphorus in thirteen animal feed ingredients for white shrimp *Litopenaeus vannamei* ($n=3$) %

待测原料 Test ingredients	干物质 Dry matter	粗蛋白质 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	总能 Gross energy	总磷 Total phosphorus
白鱼粉(俄罗斯) White fish meal (Russia)	76.91 ± 0.59 ^a	93.51 ± 0.79 ^a	94.88 ± 0.78 ^a	95.12 ± 3.09 ^a	76.47 ± 1.01 ^a
低温蒸汽红鱼粉(秘鲁) Low-temperature steam dried brown fish meal (Peru)	75.27 ± 0.91 ^{ab}	93.57 ± 1.24 ^a	91.85 ± 2.19 ^{ab}	86.64 ± 2.69 ^b	74.22 ± 0.34 ^a
国产直火干燥鱼粉 Domestic flame dried fish meal	70.33 ± 1.88 ^{cd}	87.07 ± 0.91 ^b	89.48 ± 2.01 ^b	85.89 ± 1.81 ^b	70.45 ± 0.99 ^{ab}
进口直火干燥鱼粉(秘鲁) Imported flame dried fish meal (Peru)	75.59 ± 0.66 ^a	91.62 ± 0.47 ^a	95.62 ± 1.52 ^a	93.94 ± 1.71 ^a	72.87 ± 0.78 ^a
下杂鱼粉 Miscellaneous fish meal	63.88 ± 1.82 ^e	84.95 ± 1.59 ^b	82.93 ± 0.11 ^c	66.55 ± 3.25 ^e	63.45 ± 1.14 ^c
血球蛋白粉 Spray-dried blood cells	62.65 ± 1.62 ^e	77.46 ± 1.47 ^{de}	74.63 ± 2.05 ^d	79.78 ± 2.03 ^e	39.11 ± 0.43 ^f
烘干血粉 Drying blood meal	58.97 ± 1.35 ^f	77.43 ± 1.48 ^{de}	52.44 ± 1.50 ^f	73.63 ± 1.44 ^d	38.39 ± 1.94 ^f
鸡肉粉 Chicken meal	71.07 ± 1.65 ^{cd}	77.45 ± 1.54 ^{de}	86.35 ± 0.65 ^{bc}	72.24 ± 2.29 ^d	65.21 ± 0.69 ^{bc}
肉骨粉 Meat and bone meal	68.70 ± 1.13 ^d	74.26 ± 1.87 ^e	82.50 ± 0.59 ^c	84.61 ± 2.10 ^b	64.79 ± 0.88 ^{bc}
肉粉 Meat meal	72.72 ± 1.29 ^{bc}	80.99 ± 1.75 ^c	84.77 ± 1.06 ^{bc}	80.50 ± 0.85 ^e	65.75 ± 1.06 ^{bc}
酵解羽毛粉 Fermented feather meal	59.87 ± 1.26 ^f	67.75 ± 1.64 ^f	68.04 ± 2.56 ^e	46.38 ± 2.10 ^f	46.94 ± 1.94 ^e
水解羽毛粉 Hydrolyzed feather meal	58.11 ± 1.37 ^f	64.17 ± 1.70 ^f	66.85 ± 0.61 ^e	43.00 ± 1.85 ^f	50.90 ± 1.88 ^e
全虾粉 Shrimp meal	70.91 ± 1.68 ^{cd}	78.17 ± 1.10 ^{cd}	86.67 ± 1.09 ^{bc}	72.04 ± 1.76 ^d	58.67 ± 0.85 ^d

同列数据肩标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Values in the same column with different letter superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

2.1 干物质表观消化率

白鱼粉和进口直火干燥鱼粉的干物质表观消化率分别为 76.91% 和 75.59%, 除与低温蒸汽红鱼粉(75.27%)无显著性差异($P > 0.05$)外,显著高于其他各饲料原料($P < 0.05$);国产直火干燥鱼粉、鸡肉粉、肉粉和全虾粉的干物质表观消化率(70.33% ~ 72.72%)无显著性差异($P > 0.05$);酵解羽毛粉、水解羽毛粉和烘干血粉的干物质表观消化率(58.11% ~ 59.87%)显著低于其他各饲料原料($P < 0.05$)。

2.2 粗蛋白质表观消化率

白鱼粉、低温蒸汽红鱼粉和进口直火干燥鱼粉的粗蛋白质表观消化率(91.62% ~ 93.51%)显著高于其他各饲料原料($P < 0.05$);血球蛋白粉、烘干血粉、鸡肉粉、肉骨粉和全虾粉的粗蛋白质表

观消化率(74.26% ~ 78.17%)无显著性差异($P > 0.05$);酵解羽毛粉和水解羽毛粉的粗蛋白质表观消化率分别为 67.75% 和 64.17%, 显著低于其他各饲料原料($P < 0.05$)。

2.3 粗脂肪表观消化率

白鱼粉和进口直火干燥鱼粉的粗脂肪表观消化率分别为 94.88% 和 95.62%, 显著高于其他各饲料原料($P < 0.05$);鸡肉粉、肉粉和全虾粉的粗脂肪表观消化率(84.77% ~ 86.67%)与国产直火干燥鱼粉、下杂鱼粉和肉骨粉(82.50% ~ 89.48%)无显著性差异($P > 0.05$);酵解羽毛粉和水解羽毛粉的粗脂肪表观消化率分别为 68.04% 和 66.85%, 显著高于烘干血粉(52.44%) ($P < 0.05$)。

续表 5

氨基酸 Amino acids	进口直火 干烤鱼粉 (秘鲁)											
	白鱼粉(俄罗斯) White fish meal (Russia)	低温蒸汽 红鱼粉(秘鲁) Low-temperature steam dried brown fish meal (Peru)	国产直火 干烤鱼粉 Domestic flame dried fish meal	下杂鱼粉 Miscellaneous fish meal	血球蛋白粉 Spray-dried blood meal	烘干血粉 Drying blood meal	鸡肉粉 Chicken meal	肉骨粉 Meat and bone meal	肉粉 Meat meal	发酵羽毛粉 Fermented feather meal	水解羽毛粉 Hydrolyzed feather meal	全虾粉 Shrimp meal
异亮氨酸 Leu	91.88 ±0.59 ^a	92.60 ±1.20 ^a	86.53 ±1.98 ^{bc}	87.99 ±2.68 ^b	82.73 ±1.06 ^d	75.55 ±0.50 ^f	72.10 ±2.17 ^g	73.51 ±1.37 ^{fg}	76.69 ±1.06 ^{ef}	79.30 ±0.29 ^e	71.63 ±1.04 ^g	85.98 ±2.45 ^{bc}
酪氨酸 Tyr	94.06 ±1.44 ^a	90.60 ±1.91 ^b	88.92 ±1.29 ^b	87.75 ±1.50 ^b	76.85 ±1.07 ^{cd}	79.18 ±2.38 ^c	81.76 ±0.24 ^c	74.95 ±1.94 ^{de}	78.82 ±1.27 ^c	73.25 ±1.16 ^e	70.11 ±2.55 ^f	86.66 ±2.25 ^b
苯丙氨酸 Phe	90.25 ±1.74 ^a	88.35 ±0.57 ^{ab}	86.05 ±2.13 ^b	86.32 ±0.64 ^b	80.53 ±1.92 ^c	75.47 ±1.16 ^{ef}	77.06 ±0.37 ^{de}	75.92 ±2.16 ^{ef}	79.90 ±1.84 ^{cd}	73.81 ±0.55 ^f	73.33 ±2.14 ^f	85.13 ±2.20 ^b
赖氨酸 Lys	85.50 ±0.39 ^c	93.58 ±0.50 ^a	87.51 ±0.70 ^c	90.95 ±1.74 ^b	88.96 ±1.04 ^{bc}	84.23 ±1.70 ^c	73.69 ±0.74 ^e	70.49 ±1.98 ^f	76.56 ±2.15 ^e	70.76 ±0.59 ^f	68.14 ±0.78 ^f	86.41 ±2.15 ^c
组氨酸 His	93.10 ±0.50 ^a	90.91 ±1.64 ^a	87.14 ±0.80 ^b	92.82 ±1.00 ^a	82.91 ±1.23 ^c	75.84 ±1.33 ^e	85.91 ±2.24 ^b	81.48 ±2.81 ^c	78.24 ±0.65 ^{de}	75.34 ±1.14 ^e	72.81 ±0.70 ^f	84.42 ±1.95 ^c
精氨酸 Arg	94.05 ±0.40 ^a	92.90 ±0.41 ^{ab}	91.39 ±0.84 ^b	89.88 ±1.98 ^b	69.61 ±1.87 ^f	72.12 ±1.38 ^e	73.27 ±1.37 ^e	74.23 ±1.51 ^e	79.33 ±2.02 ^d	80.04 ±1.24 ^d	77.86 ±1.88 ^d	92.70 ±0.36 ^{ab}
脯氨酸 Pro	93.58 ±1.45 ^a	91.19 ±1.62 ^{ab}	87.66 ±1.72 ^d	90.92 ±2.22 ^{abc}	74.42 ±1.03 ^f	77.16 ±1.94 ^f	88.71 ±1.02 ^{bcd}	82.99 ±1.52 ^e	82.75 ±2.05 ^e	83.06 ±1.65 ^e	74.59 ±1.82 ^f	88.14 ±0.92 ^{cd}

同行数据肩标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。Values in the same row with different letter superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

2.4 总能表观消化率

白鱼粉、低温蒸汽红鱼粉、国产直火干燥鱼粉、进口直火干燥鱼粉、肉骨粉和肉粉的总能表观消化率均高于 80% ;白鱼粉和进口直火干燥鱼粉的总能表观消化率分别为 95.12% 和 93.94% ,显著高于其他各饲料原料 ($P < 0.05$) ;酵解羽毛粉和水解羽毛粉的总能表观消化率较低,分别为 46.38% 和 43.00% ,显著低于其他各饲料原料 ($P < 0.05$) 。

2.5 总磷表观消化率

白鱼粉、低温蒸汽红鱼粉、国产直火干燥鱼粉和进口直火干燥鱼粉的总磷表观消化率较高,在 70.45% ~ 76.47% 之间;下杂鱼粉、鸡肉粉、肉骨粉和肉粉的总磷表观消化率 (63.45% ~ 65.75%) 无显著性差异 ($P > 0.05$) ;酵解羽毛粉和水解羽毛粉的总磷表观消化率分别为 50.90% 和 46.94% ,显著高于血球蛋白粉 (39.11%) 和烘干血粉 (38.39%) ($P < 0.05$) 。

2.6 氨基酸表观消化率

凡纳滨对虾对不同饲料原料的氨基酸表观消化率的变化趋势与蛋白质表观消化率变化趋势基本一致。13 种饲料原料中的赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、精氨酸、组氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸和缬氨酸 9 种必需氨基酸和天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、甘氨酸、酪氨酸、脯氨酸、丝氨酸和胱氨酸 8 种非必需氨基酸的表观消化率存在显著差异 ($P < 0.05$) 。

赖氨酸的表观消化率:赖氨酸表观消化率最高的是低温蒸汽红鱼粉 (93.58%) ,显著高于其他各饲料原料 ($P < 0.05$) ;肉骨粉、酵解羽毛粉和水解羽毛粉的赖氨酸表观消化率 (68.14% ~ 70.76%) 显著低于其他各饲料原料 ($P < 0.05$) 。

蛋氨酸的表观消化率:白鱼粉和进口直火干燥鱼粉的蛋氨酸表观消化率分别为 91.71% 和 91.15% ,除与低温蒸汽红鱼粉 (89.31%) 和全虾粉 (88.67%) 无显著性差异 ($P > 0.05$) 外,显著高于其他各饲料原料 ($P < 0.05$) ;烘干血粉、鸡肉粉、肉骨粉、肉粉和水解羽毛粉的蛋氨酸表观消化率 (75.26% ~ 78.90%) 除与酵解羽毛粉无显著性差异 (79.56%) ($P > 0.05$) 外,显著低于其他各饲料原料 ($P < 0.05$) 。

精氨酸的表观消化率:白鱼粉 (94.05%) 的精氨酸表观消化率除与低温蒸汽红鱼粉 (92.90%)

和全虾粉 (92.70%) 无显著性差异 ($P > 0.05$) 外,显著性高于其他各饲料原料 ($P < 0.05$) ;血球蛋白粉的精氨酸表观消化率 (69.61%) 显著低于其他各饲料原料 ($P < 0.05$) 。

亮氨酸的表观消化率:白鱼粉、低温蒸汽红鱼粉、进口直火干燥鱼粉、鸡肉粉和酵解羽毛粉的亮氨酸表观消化率 (85.56% ~ 88.85%) 显著高于血球蛋白粉、烘干血粉、肉骨粉、肉粉和全虾粉 (70.10% ~ 80.17%) ($P < 0.05$) ;烘干血粉的亮氨酸表观消化率 (70.10%) 显著低于其他各饲料原料 ($P < 0.05$) 。

苏氨酸、组氨酸、苯丙氨酸的表观消化率在白鱼粉中最高,缬氨酸的表观消化率在进口直火干燥鱼粉和全虾粉中最高,异亮氨酸的表观消化率在低温蒸汽红鱼粉中最高,苏氨酸的表观消化率在肉骨粉中最低,异亮氨酸、缬氨酸、苯丙氨酸和组氨酸的表观消化率在水解羽毛粉中最低。

不同饲料原料中天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、胱氨酸、酪氨酸、脯氨酸等非必需氨基酸的表观消化率之间也存在差异。通常,必需氨基酸表观消化率高的原料,其非必需氨基酸的表观消化率也较高。

3 讨论

目前,表观消化率试验研究中常用的外源指示剂主要是三氧化二铬 (Cr_2O_3) 和 Y_2O_3 。在水产动物中常使用 Cr_2O_3 作为指示剂^[15-22] 。但是, Ring^[23] 认为 Cr_2O_3 会影响鲑鱼肠道菌群以及排泄物的脂肪酸组成。研究认为,在罗非鱼饲料中添加铬能提高对葡萄糖的利用,并相应地影响到罗非鱼的体增重、能量和肝糖原含量^[24] ,并且认为 Cr_2O_3 在罗非鱼肠道的移动速率与饲料中的其他营养成分不同^[25] 。Moore^[26] 研究表明, Cr_2O_3 在猪的回收率只有 75% ~ 87% ,即有部分 Cr_2O_3 在肠道中被吸收。赵万鹏等^[27] 认为饲料中过量的铬可能会抑制草鱼消化组织分泌淀粉酶或降低淀粉酶活性。 Y_2O_3 作为一种常用的外源指示剂,在鲑鳟鱼类研究中较为多见^[28-29] , Austreng 等^[30] 分别用 Cr_2O_3 和 Y_2O_3 作为指示剂测定大马哈鱼的表观消化率,证实了 Y_2O_3 在表观消化率测定中的适用性,现已成为水产动物消化率测定的标准方法^[31] 。

鱼粉由于必需氨基酸和脂肪酸含量较高、碳水化合物含量较低、抗营养因子少,并且消化率较高,成为水产动物的优质蛋白质源^[32],这一结果在凡纳滨对虾^[4,7]、中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)^[33]、中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)^[31]、青蟹(*Scylla serrata*)^[34]、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[35]、石斑鱼(*Epinephelus coioides*)^[36]和罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[37]上已得到了证实。本试验选取了5种不同加工工艺的鱼粉,包括白鱼粉、低温蒸汽红鱼粉、国产直火干燥鱼粉、进口直火干燥鱼粉和下杂鱼粉,结果表明凡纳滨对虾对这几种形式的鱼粉的粗蛋白质表观消化率(84.95%~93.57%)均较高,是凡纳滨对虾很好的蛋白质来源。本试验中凡纳滨对虾对白鱼粉的粗蛋白质表观消化率为93.51%,显著高于下杂鱼粉(84.95%),这可能是由于白鱼粉与下杂鱼粉中的粗蛋白质、氨基酸和灰分的含量不同,从而影响了饲料的消化率^[38]。鱼粉的氨基酸表观消化率与粗蛋白质表观消化率变化趋势相一致。5种鱼粉中,下杂鱼粉的赖氨酸、蛋氨酸、精氨酸等必需氨基酸的表观消化率均低于白鱼粉、低温蒸汽红鱼粉、国产直火干燥鱼粉和进口直火干燥鱼粉。低温蒸汽红鱼粉的粗蛋白质表观消化率(93.57%)高于国产直火干燥鱼粉(87.07%)和进口直火干燥鱼粉(91.62%),这可能与鱼粉的加工方式有关。鱼粉在加工过程中温度的高低也是影响鱼粉质量和消化率的一个重要因素^[39],低温蒸汽鱼粉为蒸汽间接干燥,温度低且均匀稳定,直火干燥鱼粉为直接热源加热,温度偏高,均匀稳定性较差。因此,不同的来源和加工方式会导致鱼粉的营养价值和消化率不同。

本试验中鸡肉粉和肉骨粉的粗蛋白质表观消化率分别为77.45%和74.26%,略高于Yang等^[4]测得的凡纳滨对虾对鸡肉粉和肉骨粉的粗蛋白质表观消化率(分别为75.00%和73.88%)。鸡肉粉的营养价值随原料来源的不同差异较大,Dong等^[40]通过对6个不同厂家生产的鸡肉粉的营养成分分析表明:鸡肉粉的粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量变化范围分别为56%~74%、10%~19%和11%~23%,而粗蛋白质的表观消化率变化范围为64%~78%。本试验中肉粉的粗蛋白质表观消化率80.99%,与荣长宽等^[33]测得的中国明对虾对肉粉的粗蛋白质表观消化率(81.35%)

相近。杨志强等^[7]测得凡纳滨对虾对肉骨粉和鸡肉粉的赖氨酸表观消化率分别为71.96%和72.26%,与本试验中测得的肉骨粉和鸡肉粉的赖氨酸表观消化率(分别为70.49%和73.69%)相近。肉骨粉的赖氨酸表观消化率相对较低,可能是由于在加工过程中高温导致赖氨酸变性,从而影响到赖氨酸的消化吸收^[4,41]。本试验中,凡纳滨对虾对肉骨粉的粗脂肪表观消化率为82.50%,与Yang等^[4]测得的凡纳滨对虾对肉骨粉的粗脂肪表观消化率(83.72%)相近,低于Catacutan等^[34]测得的青蟹对肉骨粉的粗脂肪表观消化率(87.2%)。而凡纳滨对虾对肉粉的粗脂肪表观消化率为84.77%,低于Luo等^[42]测得中华绒螯蟹对肉粉的粗脂肪表观消化率(86.9%)。可见,不同的动物种类对同一原料的粗脂肪表观消化率不同。表2的数据表明,肉骨粉中的总磷含量是白鱼粉中2倍,但其表观消化率仅为64.79%,显著低于白鱼粉、低温蒸汽红鱼粉和进口直火干燥鱼粉(72.87%~76.47%),可能是由于肉骨粉中以骨磷形式存在的不溶性的羟基磷灰石和磷酸钙导致其磷的表观消化率较低^[43]。

血粉是动物屠宰后废弃的清洁、新鲜血液经加热凝固,再经压榨除去水分、干燥等工序加工而成的一种动物性蛋白质饲料。本试验中血球蛋白粉和烘干血粉的粗蛋白质表观消化率分别为77.46%和77.43%,与杨志强等^[7]测得的喷雾干燥血粉的粗蛋白质表观消化率(79.62%)相近。血粉的来源不同、加工方式不同,会影响营养物质的消化吸收,本试验中血球蛋白粉的干物质、粗蛋白质、粗脂肪、总能和总磷的表观消化率均高于烘干血粉。血球蛋白粉是动物屠宰后的血液在低温处理条件下,经一定工艺分离出血浆,喷雾干燥后得到的粉末,血粉经过低温喷雾干燥处理后,其消化率会有相应地提高。

羽毛粉是一种新型的蛋白质饲料资源,粗蛋白质含量可达80%以上,但羽毛粉中的蛋白质多为角蛋白,不易被消化吸收,必须经过相应地处理后才能被动物消化吸收。本试验中酵解羽毛粉的营养物质表观消化率要高于水解羽毛粉,可能是羽毛粉在利用微生物进行发酵处理过程中,产生了大量的氨基酸、小肽和有益的微生物菌群,从而有利于蛋白质的消化吸收,提高了酵解羽毛粉的消化率。本试验中酵解羽毛粉和水解羽毛粉的

粗蛋白质表观消化率分别为 67.75% 和 64.17%, 低于荣长宽等^[33]测得的中国明对虾对羽毛粉的粗蛋白质表观消化率(76.42%)。酵解羽毛粉和水解羽毛粉的精氨酸表观消化率分别为 80.04% 和 77.86%, 高于杨志强等^[7]测得的凡纳滨对虾对羽毛粉的精氨酸表观消化率(50.30%), 与梁丹妮等^[44]测得的建鲤对膨化羽毛粉的精氨酸表观消化率(73.62%)和酶解羽毛粉的精氨酸表观消化率(80.03%)相近。酵解羽毛粉和水解羽毛粉的蛋白质和能量表观消化率是所有待测原料中最低的, 这可能与羽毛粉中的氨基酸组成不平衡以及适口性较差有关。

全虾粉的干物质表观消化率为 70.91%, 高于 Yang 等^[4]测得的凡纳滨对虾对虾的副产物(粗蛋白质含量 49.9%, 粗脂肪含量 1.88%)的干物质表观消化率(52.83%)和 Brunson 等^[5]测得的凡纳滨对虾对虾糠的干物质表观消化率(28.32%)。本试验所选用的全虾粉(粗蛋白质含量 74.64%, 粗脂肪含量 1.61%)与上述 2 位学者所选用的虾的副产物和虾糠相比具有更高的营养成分含量, 更有利于凡纳滨对虾对其的消化吸收, 从而提高了干物质的表观消化率。全虾粉中氨基酸组成比较合理, 表观消化率在 84.24% ~ 92.70%, 表明全虾粉中的氨基酸可以很好地被凡纳滨对虾消化吸收。全虾粉中的脂肪多为不饱和脂肪酸, 并且含有丰富的胆碱、磷脂、胆固醇、钙、磷和虾青素, 因此它也可以作为虾料中的诱食剂和着色剂。

4 结 论

① 凡纳滨对虾对鱼粉、鸡肉粉、肉骨粉、肉粉和全虾粉的表观消化率相对较高, 表明凡纳滨对虾可以很好地利用这些饲料原料。

② 羽毛粉和血粉由于所采用的加工工艺不同, 其表观消化率有一定的差异, 建议在生产中使用这些饲料原料时应考虑氨基酸平衡以及适口性等问题。

参考文献:

- [1] 韩庆炜, 梁萌青, 姚宏波, 等. 鲈鱼对 7 种饲料原料的表观消化率及其对肝脏、肠道组织结构的影响 [J]. 渔业科学进展, 2011, 32(1): 32-39.
- [2] 李爱杰. 水产动物营养与饲料学 [M]. 北京: 农业出版社, 1996.
- [3] TERRAZAS-FIERRO M, CIVERA-CERECEDO R, IBARRA-MARTINEZ L, et al. Apparent digestibility of dry matter, protein, and essential amino acid in marine feedstuffs for juvenile whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* [J]. Aquaculture, 2010, 308: 166-173.
- [4] YANG Q H, ZHOU X Q, ZHOU Q C, et al. Apparent digestibility of selected feed ingredients for white shrimp *Litopenaeus vannamei*, Boone [J]. Aquaculture Research, 2009, 41: 78-86.
- [5] BRUNSON J F, ROMAIRE R, REIGH R C. Apparent digestibility of selected ingredients in diets for white shrimp *Penaeus setiferus* L. [J]. Aquaculture Research, 1997, 3: 9-16.
- [6] 唐晓亮, 曹俊明, 朱选, 等. 7 种饲料原料蛋白质和氨基酸对凡纳滨对虾的影响 [J]. 饲料研究, 2010(2): 5-8.
- [7] 杨志强, 曹俊明, 朱远, 等. 凡纳滨对虾对 7 种蛋白原料的蛋白质和氨基酸的消化率 [J]. 饲料工业, 2010, 31(2): 24-27.
- [8] 刘襄河. 凡纳滨对虾对蛋白质饲料原料消化率的研究及饲料配方实践 [D]. 硕士学位论文. 厦门: 集美大学, 2011.
- [9] 刘襄河, 孔江红, 周晔, 等. 南美白对虾对四种蛋白质原料的离体消化率和酶解动力学研究 [J]. 饲料工业, 2009, 30(24): 27-30.
- [10] AKIYAMA D M, DOMINY W G, LAWRENCE A L. Penaeid shrimp nutrition [M]//FAST A W, LESTER L J. Marine shrimp culture: principles and Practices. Amsterdam: Elsevier, 1992: 555-568.
- [11] CHO C Y, SLINGER S J. Apparent digestibility measurement in feedstuff for rainbow trout [M]//HALVER J E, TIEWS K. Finfish nutrition and fish feed technology, Vol. II. Berlin: Heeneman, 1979: 239-248.
- [12] LIN H Z, GUO Z X, YANG Y Y, et al. Effect of dietary traditional Chinese medicines on apparent digestibility coefficients of nutrients for white shrimp *Litopenaeus vannamei*, Boone [J]. Aquaculture, 2006, 253: 495-501.
- [13] AOAC. Official methods of analysis of AOAC [S]. 16th ed. Arlington, VA: Association of Analytical Chemist, Inc., 1995.
- [14] BUREAU D P, HARRIS A M, CHO C Y. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 1999, 180: 345-358.

- [15] ALTAN O, KORKUT A Y. Apparent digestibility of plant protein based diets by European sea bass *Dicentrarchus labrax* L., 1758 [J]. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2011, 11: 87–92.
- [16] YUAN Y C, GONG S Y, YANG H J, et al. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus* [J]. Aquaculture, 2010, 306: 238–243.
- [17] KUMARAGURU-VASAGAM K P, BALASUBRAMANIAN R, VENKATESAN R. Apparent digestibility of differently processed grain legumes, cow pea and mung bean in black tiger shrimp, *Penaeus monodon* Fabricius and associated histological anomalies in hepatopancreas and midgut [J]. Animal Feed Science and Technology, 2007, 132: 250–266.
- [18] TESHIMA S, KANAZAWA A. Digestibility of dietary lipids in the prawn [J]. Bulletin of the Japanese Scientific Fisheries, 1983, 49: 963–966.
- [19] PAVASOVIC A, ANDERSON A J, MATHER P B, et al. Effect of a variety of animal, plant and single cell-based feed ingredients on diet digestibility and digestive enzyme activity in redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Von Martens 1868) [J]. Aquaculture, 2007, 272: 564–572.
- [20] NIETO-LOPEZ M, TAPIA-SALAZAR M, RICQUEMARIE D, et al. Digestibility of different wheat products in white shrimp *Litopenaeus vannamei* juveniles [J]. Aquaculture, 2011, 391: 369–376.
- [21] CATACUTAN M. Apparent digestibility of diets with various carbohydrate levels and the growth response of *Penaeus monodon* [J]. Aquaculture, 1991, 95: 89–96.
- [22] DEERING M J, HEWITT D R, SARAC H Z. A comparison of inert markers used to estimate protein digestibility in the leader prawn *Penaeus monodon* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1996, 27: 103–106.
- [23] RING E. Does chromic oxide (Cr_2O_3) affect faecal lipid and intestinal bacterial flora in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) [J]. Aquaculture and Fisheries Management, 1993, 24: 767–776.
- [24] SHIAU S Y, LIANG H S. Carbohydrate utilization and digestibility by tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*, are affected by chromic oxide inclusion in the diet [J]. The Journal of Nutrition, 1995, 125: 975–982.
- [25] BOWEN S H. Chromic oxide in assimilation studies—a caution [J]. Transactions American Fisheries Society, 1978, 107: 755–756.
- [26] MOORE J H. Diurnal variations in the compositions of the feces of pigs on diets containing chromium oxide [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1957, 11: 273–288.
- [27] 赵万鹏, 刘永坚, 潘庆. 草鱼对碳水化合物表观消化率测定方法的研究 [J]. 中山大学学报, 1999, 38(4): 87–91.
- [28] MC GOOGAN B B, REIGH R C. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets [J]. Aquaculture, 1996, 141: 233–244.
- [29] SUGIURA S H, DONG F M, RATHBONE C K, et al. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds [J]. Aquaculture, 1998, 159: 177–202.
- [30] AUSTRENG E, STOREBAKKEN T, THOMASSEN M S, et al. Evaluation of selected trivalent metal oxides as inert markers used to estimate apparent digestibility in salmonids [J]. Aquaculture, 2000, 188: 65–78.
- [31] 张璐, 陈立侨, 洪美玲, 等. 中华绒螯蟹对 11 种饲料原料蛋白质和氨基酸的表观消化率 [J]. 水产学报, 2007, 31(增刊): 116–121.
- [32] 周歧存, 麦康森, 刘永坚, 等. 动植物蛋白源替代鱼粉研究进展 [J]. 水产学报, 2005, 29(3): 404–410.
- [33] 荣长宽, 梁素秀, 岳炳宜. 中国对虾对 16 种饲料的蛋白质和氨基酸的消化率 [J]. 水产学报, 1994, 18(2): 131–137.
- [34] CATACUTAN M R, EUSEBIO P S, TESHIMA S. Apparent digestibility of selected feedstuffs by mud crab, *Scylla serrata* [J]. Aquaculture, 2003, 216: 253–261.
- [35] ZHOU Q C, TAN B P, MAI K S, et al. Apparent digestibility of selected feed ingredients for juvenile cobia *Rachycentron canadum* [J]. Aquaculture, 2004, 241: 441–451.
- [36] LIN H, LIU Y, TIAN L, et al. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for grouper *Epinephelus coioides* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2004, 35: 134–142.
- [37] 董晓慧, 郭云学, 叶继丹, 等. 吉富罗非鱼幼鱼对 10

- 种饲料原料表观消化率的研究[J]. 动物营养学报, 2009, 21(3): 326-334.
- [38] BUREAU D P, HARRIS A M, CHO C Y. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 1999, 180: 345-358.
- [39] TERRAZAS-FIERRO M M, AVILA-GONZALEZ E, CUCA-GARCIA M. Effect of over processed fish meal in diet formulation for broilers according to digestible amino acid basis [J]. Técnica Pecuaria en México, 2005, 43: 297-308.
- [40] DONG F M, HARDY R W, HARD N F, et al. Chemical composition and protein digestibility of poultry by-product meals for salmonid diets [J]. Aquaculture, 1993, 116: 149-158.
- [41] ALLAN G L, PARKINSON S, BOOTH M A, et al. Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: 1. Digestibility of alternative ingredients [J]. Aquaculture, 2000, 186: 293-310.
- [42] LUO Z, TAN X Y, CHEN Y D, et al. Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* [J]. Aquaculture, 2008, 285: 141-145.
- [43] LALL S P. Digestibility, metabolism and excretion of dietary phosphorus in fish [A] // COWEY C B, CHO C Y. Proceedings of the first international symposium on symposium on nutritional strategies and management of aquaculture waste. Ontario: University of Guelph, 1991: 21-36.
- [44] 梁丹妮, 姜雪姣, 刘文斌, 等. 建鲤对 6 种非常规蛋白质原料中营养物质的表观消化率 [J]. 动物营养学报, 2011, 23(6): 1065-1072.

Apparent Digestibility of Nutrients in Thirteen Animal Feed Ingredients for White Shrimp *Litopenaeus vannamei*

WANG Wenjuan CHI Shuyan* TAN Beiping DONG Xiaohui YANG Qihui LIU Hongyu YANG Junjiang
(Laboratory of Animal Nutrition and Feed, College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: Apparent digestibility of nutrients in thirteen animal feed ingredients was determined for white shrimp *Litopenaeus vannamei* in this experiment. The thirteen animal feed ingredients included white fish meal (Russia), low-temperature steam dried brown fish meal (Peru), domestic flame dried fish meal, imported flame dried fish meal (Peru), miscellaneous fish meal, spray-dried blood cells, drying blood meal, chicken meal, meat and bone meal, meat meal, fermented feather meal, hydrolyzed feather meal, and shrimp meal. Trial diets used with yttrium oxide (Y_2O_3) as an indicator, and consisted of 70% basal diet and 30% test ingredients. One thousand two hundred and sixty shrimp with an initial average body weight of (13.0 ± 0.1) g were randomly divided into 14 groups with 3 replicates per group and 30 shrimp per replicate. After one week feeding with trial diets, the fecal samples were collected by siphon, then the apparent digestibility of dry matter, crude protein, crude lipid, gross energy, total phosphorous and amino acids was determined. The results showed as follows: apparent digestibility of dry matter, crude protein, crude lipid, gross energy, total phosphorous and amino acids in thirteen animal feed ingredients were 58.11% to 76.91%, 64.17% to 93.57%, 52.44% to 95.62%, 43.00% to 95.21%, 39.11% to 76.47%, and 63.48% to 94.06%, respectively. The apparent digestibility of amino acids had a positive correlation with apparent digestibility of crude protein for feed ingredients. The apparent digestibility of crude protein in white fish meal, low-temperature steam dried brown fish meal and imported flame dried fish meal was significant higher than that in other feed ingredients ($P < 0.05$); the apparent digestibility of crude lipid in fermented feather meal, hydrolyzed feather meal and drying blood meal was significantly lower than that in other feed ingredients ($P < 0.05$); the apparent digestibility of gross energy in white fish meal and imported flame dried fish meal was significantly higher than that in other feed ingredients ($P < 0.05$); the apparent digestibility of total phosphorus in white fish meal, low-temperature steam dried brown fish meal, domestic flame dried fish meal and imported flame dried fish meal was significantly higher than that in spray-dried blood cells and drying blood meal ($P < 0.05$). In the thirteen feed ingredients, the highest apparent digestibility of dry matter, gross energy and total phosphorus was found in white fish meal; the lowest apparent digestibility of dry matter, crude protein and gross energy was found in hydrolyzed feather meal; the lowest apparent digestibility of crude lipid was found in drying blood meal. In conclusion, different sources and qualities of fish meal lead to different apparent digestibility of nutrients. The chicken meal, meat and bone meal, meat meal and shrimp meal were high quality protein sources for *L. vannamei*, and they can be used to instead of part of fish meal in actual feed production. While, because of the different produce processes of feather meal and blood meal, the nutrient composition is different among the products, and that lead to the different apparent digestibility. So, the nutrient composition of these feed ingredients should be evaluated before formulating diets. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(12): 2402-2414]

Key words: white shrimp *Litopenaeus vannamei*; feed ingredient; nutrient; apparent digestibility