

网络出版时间:2015-03-12 14:17 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.04.030
网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150312.1417.030.html

吉富罗非鱼成鱼对 8 种常见植物源饲料原料的表观消化率

刘 伟,文 华,蒋 明,吴 凡,田 娟,杨长庚

(农业部淡水生物多样性保护与利用重点开放实验室,中国水产科学研究院 长江水产研究所,湖北 武汉 430223)

【摘 要】 【目的】研究吉富罗非鱼成鱼对 8 种植物源饲料原料中营养成分和总能的表现消化率(ADC),为吉富罗非鱼饲料的配制提供科学依据。【方法】选择 6 种植物源蛋白原料(全脂膨化大豆、豆粕、棉粕、菜粕、花生粕、玉米蛋白粉)和 2 种能量原料(小麦麸、面粉),分别与基础饲料按照 3 : 7 的质量比配制成试验饲料,投喂体质量为(290.6±5.8) g/尾的吉富罗非鱼成鱼,1 周后,采用网捞法收集成型完整的粪便,研究吉富罗非鱼成鱼对 8 种原料的粗蛋白、粗脂肪、总能、总磷和氨基酸的 ADC。【结果】吉富罗非鱼成鱼对 8 种原料粗脂肪的 ADC 差异不显著($P > 0.05$),均高于 89.42%;对 8 种原料粗蛋白、总能、总磷和氨基酸的平均 ADC 均以面粉最高,小麦麸最低;各原料氨基酸的平均 ADC 变化趋势与蛋白质的 ADC 趋势一致。在 6 种蛋白质原料中,吉富罗非鱼成鱼对其粗蛋白、氨基酸平均、总能和总磷的 ADC 分别为 85.70%~94.41%,89.07%~95.87%,62.92%~94.64%和 32.96%~83.39%;其中,对全脂膨化大豆、豆粕、棉粕、花生粕和玉米蛋白粉粗蛋白的 ADC 均高于 89%,且这 5 种原料间无显著差异($P > 0.05$);对花生粕、玉米蛋白粉和全脂膨化大豆总能的 ADC 显著高于菜粕和棉粕($P < 0.05$),而与豆粕无显著差异($P > 0.05$);对玉米蛋白粉总磷的 ADC 显著高于其他原料($P < 0.05$)。【结论】玉米蛋白粉、花生粕、全脂膨化大豆、豆粕可作为吉富罗非鱼成鱼饲料中优质的蛋白源,面粉则是吉富罗非鱼成鱼饲料中优质的能量源。

【关键词】 吉富罗非鱼成鱼;植物原料;表观消化率

【中图分类号】 S964.6

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2015)04-0017-09

Apparent digestibility coefficients of adult *Oreochromis niloticus* to ingredients of eight common botanical feeds

LIU Wei, WEN Hua, JIANG Ming, WU Fan, TIAN Juan, YANG Chang-geng

(Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation and Utilization, Ministry of Agriculture, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan, Hubei 430223, China)

Abstract: 【Objective】To improve the precision of feed formulation, apparent digestibility coefficients (ADC) of adult *Oreochromis niloticus* to nutrient and total energy of eight common botanical feeds were determined. 【Method】ADC values of adult *Oreochromis niloticus* ((290.6±5.8) g) to crude protein (ADC_p), lipid (ADC_l), energy (ADC_e), phosphorus (ADC_{ps}) and amino acids (ADC_a) in six botanical protein ingredients (extruded full-fat soybean meal, soybean meal, cottonseed meal, rapeseed meal, peanut meal and corn gluten meal) and two botanical energy ingredients (wheat bran and wheat flour) were determined using a reference diet. Test diets contained 70% reference diet and 30% feed ingredients by weight. Fecal materials (intact strands) were collected with a fine-mesh net after one week. 【Result】ADC_p, ADC_e and

【收稿日期】 2013-11-25

【基金项目】 中国水产科学研究院基本科研业务费项目(2012A0602);现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-49);农业部公益性行业科研专项经费项目(201003020)

【作者简介】 刘 伟(1982-),男,江苏徐州人,助理研究员,硕士,主要从事鱼类营养与饲料研究。E-mail:liuwei@yfi.ac.cn

【通信作者】 文 华(1965-),男,湖北荆州人,研究员,博士,主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail:wenhua_hb@163.com

average ADCa values were highest in wheat flour and lowest in wheat bran. ADCl values in all feed ingredients were above 89.24%, showing no significant differences among treatments ($P > 0.05$). The ADC of amino acids had a positive correlation with ADC of crude protein for a given ingredient. ADCp, average ADCa, ADCe and ADCps of the six plant protein sources ranged from 85.70% to 94.41%, 89.07% to 95.87%, 62.92% to 94.64% and 32.96% to 83.39%, respectively. In the six botanical protein sources, ADCps values were more than 89% in extruded full-fat soybean meal, soybean meal, cottonseed meal, peanut meal and corn gluten meal, with no remarkable differences among these ingredients ($P > 0.05$). ADCe values in full-fat soybean meal, peanut meal and corn gluten meal were significantly higher ($P < 0.05$) than in cotton seed meal and rapeseed meal, and ADCps value in corn gluten meal was significantly higher ($P < 0.05$) than in the others. 【Conclusion】 Corn gluten meal, peanut meal, extruded full-fat soybean meal and soybean meal could be used as sources of high quality protein sources for adult *Oreochromis niloticus*, and wheat flour could be used as superior energy source.

Key words: adult *Oreochromis niloticus*; botanical ingredients; apparent digestibility

消化率是动物从原料中消化吸收的养分占总摄入养分的百分比,是评价饲料营养价值的重要指标之一^[1]。了解饲料原料中各种营养素的消化率是配制平衡饲料的前提,对原料间的相互替代也具有重要的指导意义^[2]。罗非鱼是联合国粮农组织向全世界推荐的优质鱼类,也是我国主导水产养殖品种之一。自 2006 年来,我国罗非鱼的养殖产量一直稳定在 100 万 t 以上,稳居世界罗非鱼养殖产量首位。

多年来,一直持续有罗非鱼对各种饲料原料表观消化率(Apparent digestibility coefficients, ADC)的研究报道^[2-17]发表,但这些报道的研究对象主要为较小规格体质量(体质量 < 100 g/尾)的尼罗罗非鱼,而对于大规格(体质量 > 200 g/尾)罗非鱼的报道不多,而且现有研究均未涉及到各原料氨基酸、总磷等的 ADC。另外,大规格的罗非鱼(> 200 g/尾)对我国常见的植物饲料原料,如花生粕、玉米蛋白粉、面粉等的 ADC 亦尚未见报道。

吉富品系尼罗罗非鱼(吉富罗非鱼)具有生长快、产量高、耐低氧、遗传性状稳定等优点,是现今我国主要养殖的罗非鱼品系之一。目前,仅见吉富罗非鱼幼鱼(7.05 g/尾)对饲料原料 ADC 的报道^[17]。本研究选择 8 种国内饲料生产中经常使用的植物性原料,以吉富罗非鱼成鱼(> 290 g/尾)为研究对象,测定其对原料中的粗蛋白、粗脂肪、总能、总磷和氨基酸等的 ADC,旨在为开发吉富罗非鱼精准的配合饲料提供科学依据。

1 材料与amp;方法

1.1 原料及试验饲料

8 种试验原料包括 6 种蛋白原料(全脂膨化大

豆、豆粕、棉粕、菜粕、花生粕、玉米蛋白粉)和 2 种能量原料(小麦麸、面粉),购自青岛七好生物科技有限公司,其营养成分含量见表 1。因小麦麸和面粉中的蛋白含量相对较低,为减少基础饲料对试验结果的影响,本试验分别设计了用于测定蛋白原料 ADC 的基础饲料 1 和用于测定能量原料 ADC 的基础饲料 2,其具体配方见表 2。所有原料粉碎细度达到 0.25 mm。在基础饲料中添加 0.1% 三氧化二钇(Y_2O_3)作为标记物,采用逐级扩散法,均匀混合到基础饲料粉料中。取 70% 添加标记物的基础饲料和 30% 的待测原料,充分混合均匀后,添加 20% 左右的水,再次混匀,用绞肉机制成直径 3 mm 的颗粒饲料。风干置于 -20 ℃ 冰箱中备用。共计制作 10 种试验饲料,分别为 2 种基础饲料和 8 种含 30% 待测原料的饲料。

1.2 试验鱼与养殖条件

试验鱼来源于广西南宁国家级罗非鱼良种场。运回后,暂养在循环水养殖系统中,先用商品料喂养,以恢复罗非鱼体质,并使其适应养殖环境。3 周后,选择规格整齐,表观健康的罗非鱼,随机分养于 30 个养殖桶中(有效容积 450 L/桶),每桶放鱼 15 尾。试验鱼的平均体质量(290.6 ± 5.8) g/尾。分桶后,先用基础饲料 2 投喂,每天表观饱食投喂 2 次(09:00, 16:30),1 周后投喂试验饲料,每种饲料随机投喂 3 个养殖桶,每天表观饱食投喂 2 次(09:00, 16:30)。喂养 1 周后,开始收集粪便,共收集 10 d。试验期间,采用自然光照,水流约 2 L/min,水温(30.1 ± 0.6) ℃,水中溶解氧 > 4 mg/L、氨态氮 < 0.2 mg/L、pH 为 7.5~8.3。

表 1 8 种饲料原料营养成分含量(以干物质计)

Table 1 Nutrient compositions and contents of amino acids of test ingredients

营养成分 Nutrient composition	蛋白原料 Protein ingredient						能量原料 Energy ingredient	
	全脂膨化 大豆 Extruded full-fat soybean	豆粕 Soybean meal	棉粕 Cottonseed meal	菜粕 Rapeseed meal	花生粕 Peanut meal	玉米蛋 白粉 Corn gluten meal	小麦麸 Wheat bran	面粉 Wheat flour
干物质/% Dry matter	89.73	87.81	88.50	88.75	89.05	91.27	86.67	86.82
粗蛋白/% Crude protein	35.46	52.69	43.74	42.63	56.25	65.68	18.35	14.69
粗脂肪/% Crude lipid	22.03	1.72	1.46	2.47	1.09	1.25	5.70	2.27
粗灰分/% Crude ash	5.87	6.89	7.78	9.80	6.60	1.25	5.96	0.69
总能/(kJ·g ⁻¹) Gross energy	24.63	19.93	19.73	19.80	19.42	23.80	19.98	19.10
总磷/% Total phosphorus	0.50	0.67	1.18	1.12	0.90	0.32	1.08	0.14
天冬氨酸/% Asp	3.91	5.62	3.89	2.48	5.71	3.96	1.23	0.55
丝氨酸/% Ser	1.86	2.65	1.87	1.63	2.46	3.49	0.81	0.68
谷氨酸/% Glu	6.37	9.24	8.4	6.85	9.83	14.43	3.78	5.02
甘氨酸/% Gly	1.5	2.06	1.67	1.83	2.84	1.68	0.92	0.5
丙氨酸/% Ala	1.52	2.1	1.57	1.62	1.91	5.6	0.82	0.41
脯氨酸/% Pro	0.95	1.29	0.69	1.36	1.01	3.48	0.68	0.9
赖氨酸/% Lys	2.26	3.06	1.79	1.95	1.55	1.12	0.75	0.3
精氨酸/% Arg	2.49	3.47	4.52	1.85	5.48	1.97	1.09	0.46
苏氨酸/% Thr	1.42	1.98	1.33	1.56	1.34	2.22	0.59	0.36
蛋氨酸/% Met	0.32	0.47	0.44	0.46	0.38	1.42	0.18	0.15
半胱氨酸/% Cys	0.32	0.45	0.41	0.3	0.38	0.47	0.19	0.19
缬氨酸/% Val	1.49	2.05	1.62	1.73	1.87	2.76	0.76	0.53
异亮氨酸/% Ile	1.25	1.73	0.98	1.18	1.35	1.78	0.45	0.38
亮氨酸/% Leu	2.58	3.65	2.31	2.57	3.15	11.13	1.1	0.93
苯丙氨酸/% Phe	1.76	2.56	2.21	1.51	2.51	4.11	0.71	0.7
酪氨酸/% Tyr	1.08	1.4	0.7	0.51	1.6	2.76	0.34	0.23
组氨酸/% His	0.88	1.22	1.11	0.97	1.1	1.27	0.47	0.29

注:除总能外,其余指标含量用质量分数表示。表 2 同。

Note: All indexes are mass fraction except gross energy. The same for Table 2.

表 2 基础饲料配方及营养组成

Table 2 Ingredients and nutrients of the reference diets

饲料原料 Ingredient	基础饲料 1 Reference diet 1	基础饲料 2 Reference diet 2	营养组成 Nutrient composition	基础饲料 1 Reference diet 1	基础饲料 2 Reference diet 2
鱼粉/% Fish meal	10.0	20.0	50% 氯化胆碱/% Choline chloride(50%)	1.0	1.0
豆粕/% Soybean meal	29.0	40.0	三氧化二钇/% Yttrium oxide Y ₂ O ₃	0.1	0.1
面粉/% Wheat flour	40.4	24.4	微晶纤维素/% Microcrystalline cellulose	8.0	3.0
羧甲基纤维素钠/% Sodium carboxymethylcellulose	2.0	2.0	干物质/% Dry matter	87.30	86.45
大豆油/% Soy oil	3.0	3.0	粗蛋白/% Crude protein	29.36	39.67
玉米油/% Corn oil	3.0	3.0	粗脂肪/% Crude lipid	7.80	8.69
维生素预混料/% Vitamin premix	1.0	1.0	粗灰分/% Crude ash	6.02	8.30
矿物质预混料/% Mineral premix	1.0	1.0	总磷/% Total P	1.07	1.37
磷酸二氢钙/% Monocalcium phosphate	1.5	1.5	总能/(kJ·g ⁻¹) Gross energy	20.04	20.34

注:维生素和矿物质预混料根据文献[10]配制。

Note: Vitamin and mineral premix are based on literature [10].

1.3 粪便收集

每天下午投喂 0.5 h 后,虹吸出养殖桶中多余的饲料以及排泄的粪便。于每晚 20:00—21:00 罗非鱼排便高峰期,用密网捞取并挑选条状成型、饱满的粪便,每桶收集的粪便单独放入对应的培养皿中,

随后在 -40 ℃ 的冰箱中冷冻。于真空冷冻干燥机中干燥粪便,冷冻干燥 72 h。取出,粉碎过 0.25 mm 筛,放入样品袋中,于 -40 ℃ 的冰箱中保存备用。

1.4 样品分析测定方法

饲料和粪便中的粗蛋白采用凯氏定氮法(GB/T 5009.3)测定,粗脂肪采用索氏抽提法(GB/T 5009.6)测定,粗灰分采用灼烧称重法(GB/T 5009.4)测定,总磷采用钼黄分光光度比色法(GB/T 5009.87)测定, Y_2O_3 的含量采用电感耦合等离子体光谱法(GB/T 18115.1)测定。总能采用氧弹测热仪(Parr-6200)直接测定,氨基酸的含量通过氨基酸分析仪(日立 L-8900)直接测定。

1.5 数据处理

10种试验饲料中粗蛋白、粗脂肪、氨基酸、总磷等营养成分和能量的表观消化率按式(1)计算:

$$ADC_d = [1 - (N_f/N_d) \times (M_d/M_f)] \times 100\% \quad (1)$$

式中: ADC_d 为饲料营养成分或能量的表观消化率(%), M_d 为饲料中 Y_2O_3 的含量(质量分数,%), M_f 为粪便中 Y_2O_3 的含量(质量分数,%), N_d 为饲料中营养成分的含量(质量分数,%)或能量含量(kJ/g), N_f 为粪便中营养成分的含量(质量分数,%)或能量含量(kJ/g)。

对8种试验原料的表观消化率按式(2)计算:

$$ADC_i = ADC_t + [(ADC_t - ADC_r) \times (0.7 \times N_r) / (0.3 \times N_i)] \quad (2)$$

式中: ADC_i 为试验原料的表观消化率(%); ADC_t 为含30%待测原料的试验饲料的营养成分或能量表观消化率(%),根据式(1)计算; ADC_r 为基础饲料的营养成分或能量的表观消化率(%),根据式(1)

计算; N_r 为基础饲料中营养成分的含量(质量分数,%)或能量含量(kJ/g); N_i 为试验原料中营养成分的含量(质量分数,%)或能量含量(kJ/g)。

所有数据均以“平均值±标准误($\bar{x} \pm SE$)”表示,用SPSS 16.0统计软件中One-way ANOVA进行方差分析,并用Duncan's法进行多重比较, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 吉富罗非鱼成鱼对粗蛋白、粗脂肪、总磷和总能的表现消化率

吉富罗非鱼成鱼对8种饲料原料粗蛋白、粗脂肪、总磷和总能的ADC见表3。由表3可知,在6种蛋白原料中,试验鱼对各原料粗蛋白的ADC在85.70%~94.41%,其中对花生粕、棉粕和玉米蛋白粉粗蛋白的ADC显著高于菜粕($P < 0.05$);对各原料粗脂肪的ADC均在89%以上,且各原料间不存在显著性差异($P > 0.05$);对总磷的ADC在32.96%~83.39%,其中对全脂膨化大豆、豆粕和花生粕总磷的ADC在40%以下,显著低于其他原料($P < 0.05$),而对玉米蛋白粉总磷的ADC(83.39%)则显著高于其他原料($P < 0.05$);对总能的ADC在62.92%~94.64%,其中对全脂膨化大豆、花生粕和玉米蛋白粉总能的ADC显著高于棉粕和菜粕($P < 0.05$)。

表3 吉富罗非鱼成鱼对8种饲料原料粗蛋白、粗脂肪、总磷和总能的表现消化率($n=3$)

Table 3 Apparent digestibility coefficients of crude protein, crude lipid, total phosphorus and gross energy in eight tested ingredients for adult *Oreochromis niloticus* ($n=3$)

待测原料 Test ingredient	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	总磷 Total phosphorus	总能 Gross energy	
全脂膨化大豆 Extruded full-fat soybean	89.12±1.59 bc	99.21±0.23	37.50±2.77 a	90.09±6.02 c	
蛋白原料 Protein ingredient	豆粕 Soybean meal	89.42±2.55	32.96±5.65 a	79.99±7.53 bc	
	棉粕 Cottonseed meal	94.41±2.29 c	93.83±1.75	51.45±1.44 b	64.99±7.93 b
	菜粕 Rapeseed meal	85.70±0.20 b	89.51±6.03	59.87±6.68 b	62.92±4.11 b
	花生粕 Peanut meal	92.34±1.11 c	100.16±0.80	38.90±4.66 a	94.64±4.54 c
	玉米蛋白粉 Corn gluten meal	94.10±1.13 c	93.91±1.31	83.39±2.79 c	86.57±2.05 c
能量原料 Energy ingredient	小麦麸 Wheat bran	76.27±6.23 a	94.20±0.99	51.61±6.42 b	39.91±7.18 a
	面粉 Wheat flour	101.12±1.39 d	92.81±5.52	—	103.50±1.19 d

注:—表示计算结果远大于100%;同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同。

Note:— indicates greater than 100%. Values in each row with different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$). The same as following table.

在2种能量原料中,试验鱼对面粉总能和粗蛋白的ADC均显著高于小麦麸($P < 0.05$),对小麦麸总能的ADC仅为39.91%,而面粉的则高达103.50%;对小麦麸和面粉粗蛋白的ADC分别为

76.27%和101.12%;对面粉和小麦麸粗脂肪的ADC差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 吉富罗非鱼成鱼对氨基酸的表观消化率

吉富罗非鱼成鱼对8种饲料原料氨基酸的

ADC 见表 4。

表 4 吉富罗非鱼成鱼对 8 种饲料原料氨基酸的表现消化率($n=3$)

Table 4 Apparent digestibility coefficients of amino acids in eight tested ingredients for adult *Oreochromis niloticus* ($n=3$)

待测原料 Test ingredient	Asp	Ser	Glu	Gly	Ala	%
蛋白原料 Protein ingredient	全脂膨化大豆 Extruded full-fat soybean	94.77±1.13 c	93.12±0.68 c	95.15±1.12 b	89.30±4.53 bc	89.83±2.69 bcd
	豆粕 Soybean meal	96.1±0.57 c	95.39±0.54 cd	97.48±0.49 c	89.16±5.43 bc	93.13±2.39 de
	棉粕 Cottonseed meal	96.70±1.31 c	95.68±1.27 cd	96.77±1.11 c	97.03±2.51 c	95.87±2.15 e
	菜粕 Rapeseed meal	89.55±0.56 b	89.59±0.55 b	94.71±0.56 b	83.55±6.60 ab	86.91±3.18 bc
	花生粕 Peanut meal	95.84±0.56 c	94.37±0.70 cd	96.96±0.52 c	87.34±3.57 bc	92.19±2.13 cde
	玉米蛋白粉 Corn gluten meal	96.09±0.67 c	96.94±0.68 d	97.34±0.54 c	92.94±3.03 bc	96.31±0.35 e
能量原料 Energy ingredient	小麦麸 Wheat bran	82.97±1.77 a	75.39±1.49 a	86.17±0.78 a	74.94±8.40 a	73.92±3.97 a
	面粉 Wheat flour	108.45±1.04 d	106.73±0.77 e	102.02±0.57 d	100.09±11.14 d	100.57±4.72 f
待测原料 Test ingredient	Pro	Lys	Arg	Thr	Met	
蛋白原料 Protein ingredient	全脂膨化大豆 Extruded full-fat soybean	94.97±3.60 bc	92.52±1.98 ab	97.51±1.51 b	90.78±0.95 bc	87.39±1.39 b
	豆粕 Soybean meal	196.20±2.55 c	95.48±0.24 b	97.87±1.26 b	94.27±1.25 cd	90.80±1.83 bc
	棉粕 Cottonseed meal	101.67±3.47 c	92.67±2.15 ab	98.40±0.94 b	97.40±1.93 d	92.44±3.10 c
	菜粕 Rapeseed meal	88.02±3.03 b	87.93±0.63 ab	92.50±1.88 b	86.58±0.26 b	88.20±1.80 b
	花生粕 Peanut meal	95.48±4.11 bc	91.62±1.36 ab	97.70±0.62 b	92.07±1.50 cd	94.73±1.49 c
	玉米蛋白粉 Corn gluten meal	97.56±0.77 c	93.30±2.03 ab	96.64±1.01 b	94.57±0.94 cd	94.74±3.90 c
能量原料 Energy ingredient	小麦麸 Wheat bran	71.67±7.61 a	83.53±2.02 a	84.20±2.84 a	66.67±2.52 a	67.95±1.61 a
	面粉 Wheat flour	102.98±3.32 d	108.74±0.27 c	102.01±5.10 c	101.27±0.55 e	100.13±0.81 d
待测原料 Test ingredient	Cys	Val	Ile	Leu	Tyr	
蛋白原料 Protein ingredient	全脂膨化大豆 Extruded full-fat soybean	76.26±1.11 bc	86.15±3.12 b	89.64±1.34 d	90.95±2.10 bc	85.47±3.04 a
	豆粕 Soybean meal	95.03±1.46 de	92.54±0.78 b	92.99±0.72 d	94.43±0.74 cd	95.49±0.76 b
	棉粕 Cottonseed meal	87.54±7.31 cd	94.01±3.40 b	93.50±1.95 d	95.42±1.88 cd	95.68±4.59 b
	菜粕 Rapeseed meal	98.27±4.72 de	86.34±0.28 b	84.40±0.31 cd	89.37±0.16 b	87.48±3.37 a
	花生粕 Peanut meal	102.29±1.08 e	92.59±0.85 b	90.51±0.98 d	93.67±0.74 bcd	96.15±0.28 b
	玉米蛋白粉 Corn gluten meal	98.97±4.55 de	94.93±1.06 b	94.23±0.76 d	96.66±0.29 d	96.21±2.00 b
能量原料 Energy ingredient	小麦麸 Wheat bran	50.39±5.66 a	64.34±4.29 a	73.29±1.66 c	71.79±1.08 a	—
	面粉 Wheat flour	71.03±6.01 b	99.77±3.95 b	113.29±2.21 e	109.27±0.83 e	81.39±8.14 a
待测原料 Test ingredient	Phe	His	NEAA 平均 ADC Average ADC of NEAA	EAA 平均 ADC Average ADC of EAA	TAA 平均 ADC Average ADC of TAA	
蛋白原料 Protein ingredient	全脂膨化大豆 Extruded full-fat soybean	85.37±3.41 b	93.26±2.27 ab	89.86±6.47 b	90.40±3.82 bc	90.14±5.07 bc
	豆粕 Soybean meal	94.26±1.03 cd	95.98±0.63 b	94.75±2.57 b	94.29±2.06 c	94.51±2.25 cd
	棉粕 Cottonseed meal	94.03±2.15 cd	95.95±1.60 b	95.87±3.89 b	94.87±2.07 c	95.34±3.01 d
	菜粕 Rapeseed meal	88.14±0.53 bc	92.73±0.38 ab	89.76±4.65 b	88.47±2.75 b	89.07±3.70 b
	花生粕 Peanut meal	94.84±0.67 d	94.63±0.82 b	95.08±4.24 b	93.60±2.17 bc	94.29±3.29 cd
	玉米蛋白粉 Corn gluten meal	95.07±2.17 d	96.43±0.66 b	96.54±1.73 b	95.17±1.17 c	95.87±1.55 d
能量原料 Energy ingredient	小麦麸 Wheat bran	46.51±3.14 a	86.88±0.98 a	76.64±11.50 a	71.68±12.54 a	72.54±11.73 a
	面粉 Wheat flour	97.06±1.97 d	112.83±0.37 c	96.66±3.23 b	104.93±6.11 d	101.49±10.51 e

注:NEAA. 非必需氨基酸;EAA. 必需氨基酸;TAA. 总氨基酸。

Note:NEAA. Non-essential amino acids;EAA. Essential amino acids;TAA. Total amino acids.

由表 4 可知,在 6 种蛋白原料中,试验鱼对各原料非必需氨基酸的平均 ADC 差异不显著($P > 0.05$),在 89.76%~96.54%;对各原料必需氨基酸的平均 ADC 为 88.47%~95.17%,其中对菜粕必需氨基酸的平均 ADC 显著低于豆粕、棉粕和玉米蛋白粉($P < 0.05$),其余各原料间差异不显著($P >$

0.05);对各原料总氨基酸的平均 ADC 以菜粕最低(89.07%),与全脂膨化大豆差异不显著($P > 0.05$),但显著低于其他原料($P < 0.05$)。试验鱼对缬氨酸(Val)、异亮氨酸(Ile)、赖氨酸(Lys)、组氨酸(His)和精氨酸(Arg)的 ADC 差异均不显著($P > 0.05$);对全脂膨化大豆中的半胱氨酸(Cys)、苯丙氨

酸(Phe)、酪氨酸(Tyr)和谷氨酸(Glu)的 ADC 显著小于豆粕($P < 0.05$),对二者其他氨基酸的 ADC 差异不显著($P > 0.05$);对玉米蛋白粉各氨基酸的 ADC 均大于 92%;对棉粕半胱氨酸(Cys)的 ADC 为 87.54%,其余均大于 92%;对菜粕氨基酸的 ADC 在 83.55%~98.27%,且大部分在 90%以下;对花生粕中甘氨酸(Gly)的 ADC 为 87.34%,其余均大于 90%。

试验鱼对小麦麸的非必需氨基酸、必需氨基酸和总氨基酸的平均 ADC 均显著低于其他 7 种原料($P < 0.05$),对面粉的必需氨基酸和总氨基酸的平均 ADC 显著高于其他 7 种原料($P < 0.05$)。面粉的氨基酸表观消化率较高,大多超过 100%。

3 讨论

3.1 影响消化率测定准确性的因素

本试验参考 Cho 等^[18]的方法用被测饲料原料取代一部分基础饲料配制成试验饲料,取代比例为 30%,同时根据饲料原料蛋白含量的高低,配制 2 种基础饲料,这样可保证营养物质的均衡,有利于鱼体的消化吸收,使所测得的结果更接近试验鱼的营养消化生理要求。但 Cho 等^[18]的计算方法并没有考虑到基础饲料和待测饲料原料的营养成分对测定结果的影响。本试验采用 Bureau 等^[19-20]在 Cho 等^[18]研究的基础上提出的改进计算方法(具体见公式 2)进行计算,进一步减小了因基础饲料与试验原料所含营养成分不同而产生的对被测饲料原料营养成分消化率的影响,提高了结果的准确度。

根据指示剂及营养成分在饲料和粪便中的含量,间接测定动物对饲料原料营养物质的消化利用,是目前研究动物对饲料消化率的主要方法。选择合适的指示剂和粪便收集方法是影响测定营养物质消化率准确性的关键环节。三氧化二铬是最早的,且应用最多的指示剂。但是,饲料中的三氧化二铬会改变鱼类对饲料营养物质的消化率,排放到水体后会对环境产生危害^[21],并会使饲料的颜色变绿,进而可能影响鱼类的摄食。近年来,越来越多的研究者改用其他指示剂,如三氧化二钇^[22-24],来避免以上负面作用。因此,本试验选用 Y_2O_3 为指示剂以确保数据的准确性。

目前,粪便的收集方法主要有自然排粪法和体内排粪法。自然排粪法的缺点是粪便中的营养成分不可避免地溶失于水中,造成消化率测定值偏高;体内排粪法可能会采到一些还没完全消化吸收的粪

便,也可能被血液、体液等污染,以致消化率测定值偏低^[1]。网捞法作为自然排粪法的方法之一,具有操作简单的优点,若收集的粪便是成型完整的^[25],且在鱼类排便后尽快收集^[26],可以减少上述缺点的影响。在本试验中,吉富罗非鱼成鱼个体相对较大,排便量大、成型好。因此,选择在试鱼排便高峰期,用密网捞取粪便是可行的。

3.2 吉富罗非鱼成鱼对饲料原料粗蛋白和氨基酸的 ADC

研究显示,不同规格的罗非鱼可以有效地利用大豆中的蛋白质,如 7.18 g/尾奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂)对豆粕粗蛋白的 ADC 为 90.9%^[12],15 g/尾尼罗罗非鱼的为 87.4%^[2],93 g/尾尼罗罗非鱼的为 93.0%^[3],100 g/尾尼罗罗非鱼的为 96.3%^[11],250~400 g 奥尼罗非鱼的为 94.61%^[4]。在本试验中,全脂膨化大豆和豆粕粗蛋白的 ADC 分别为 89.12%和 91.20%,与之前的研究结果较为接近。同时,比较各规格罗非鱼对玉米蛋白粉^[2,10,27]、菜粕^[8,13,15]和花生粕^[11,13]粗蛋白的 ADC,发现与本试验所获得的结果接近,表明罗非鱼的规格并未影响其对豆粕、玉米蛋白粉、菜粕和花生粕中粗蛋白的消化。

棉粕中含有棉酚、环丙烯脂肪酸、植酸等抗营养因子,会对鱼类对其养分的利用产生负面影响^[28]。但是随着鱼类的生长,抵抗力逐渐增强,这种影响会减弱。如以生长为判断依据,对于 11 g/尾的虹鳟,饲料中棉粕的用量在 10%以下^[29],39.2 g/尾则可以达到 30%^[30],而 246 g/尾甚至可用到 58.8%^[31]。在本试验发现,吉富罗非鱼成鱼对棉粕粗蛋白的 ADC(94.41%)高于 7.18 g/尾的奥尼罗非鱼(77.6%^[12])、93 g/尾和 96.6 g/尾的尼罗罗非鱼(79.4%^[3],81.8%^[27]),同时也高于 320 g/尾的奥尼罗非鱼(82.13%^[15]),表明吉富罗非鱼成鱼对棉粕的利用能力较强。

在本试验中,吉富罗非鱼成鱼对小麦麸粗蛋白的 ADC 仅为 76.27%,与以往的报道^[8,32]相近;对面粉的 ADC 高达 101.12%,明显高于之前罗非鱼对小麦类原料粗蛋白 ADC 的报道^[8,16,33],而与石斑鱼(*Sebastes schlegeli*) (95%)^[34]、大西洋鲑(*Salmo salar*) (98.3%)^[22]、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*) (100.0%^[22],112%^[35])等鱼类对面粉粗蛋白的 ADC 相近。造成此种差异的原因应该是原料中不可消化碳水化合物的含量及种类不同所导致。如小麦麸的粗纤维含量要远高于面粉。一般认为,鱼类

摄食纤维素含量高的饲料,可降低肠道蛋白酶活性,缩短食糜通过消化道时间,导致饲料蛋白质消化率下降^[36]。

从消化生理方面讲,动物(包括鱼类)对蛋白质的需求实质上是对组成蛋白质的氨基酸的需求。而必需氨基酸(EAA)因鱼体不能合成或合成的量不足,需要从食物中获取,因此了解饲料原料中EAA的消化率,对饲料的配制显得尤为重要。在本试验中,吉富罗非鱼成鱼对各原料氨基酸和蛋白质的ADC表现较为一致。从本试验的结果可以看出,除个别氨基酸外,豆粕、棉粕、花生粕、玉米蛋白粉和面粉EAA的ADC均在90%以上,全脂膨化大豆和菜粕的在85%以上,这表明,吉富罗非鱼成鱼对这7种原料中的大部分氨基酸都能有效地加以利用。但需要注意的是,植物性原料一般都会缺乏部分必需氨基酸,如在本试验中除玉米蛋白粉外,各原料Met的含量都很低。所以,在饲料的配制过程中需要注意利用各种原料氨基酸的互补性,以满足罗非鱼的生长或生理需要。

从本试验结果可以看出,吉富罗非鱼成鱼对全脂膨化大豆氨基酸的平均ADC稍低于豆粕,类似的结果在对尼罗罗非鱼^[13]、虹鳟^[37]的研究中也有报道,这应该与膨化作用改变了原料的部分氨基酸性质,降低了鱼类的利用率有关。Jeunink等^[38]经检测发现,膨化后的大豆中半胱氨酸和胱氨酸总量会减少8.5%,而赖氨酸减少1.4%,从而直接证明氨基酸的性质已发生变化。

3.3 吉富罗非鱼成鱼对粗脂肪、总能和总磷的ADC

在本试验中,各原料粗脂肪的ADC在89%以上,表明吉富罗非鱼有很强的利用植物脂肪的能力,这与前人对奥尼罗非鱼幼鱼(7.18 g/尾)^[12]、尼罗罗非鱼(15 g/尾)^[2]、奥尼罗非鱼(100~150 g/尾)^[8]的研究结果相近。在本试验中,吉富罗非鱼成鱼对面粉(92.81%)与小麦麸(94.20%)粗脂肪的ADC与红拟石首鱼(*Sciaenops ocellatus*)对小麦粗脂肪的ADC(87.9%)^[39]相近,但明显高于奥尼罗非鱼(100~150 g/尾)对小麦(79.9%)、小麦麸(71.9%)^[8]及尼罗罗非鱼(100 g/尾)对面粉(67.37%)^[7]的ADC。

植物性原料含有一些鱼类难以消化的碳水化合物,如纤维素、半纤维素、木质素等,会对能量的消化产生负面影响。这是因为,一方面,这些物质不能被鱼体消化,直接造成可消化能减少;另一方面,这些

物质的存在会降低其他可消化物质的消化。本试验中,面粉总能ADC高达103.50%,表明面粉是吉富罗非鱼成鱼优质的能量来源,而小麦麸的仅为39.91%,这应该与小麦麸所含的不可消化的碳水化合物过多有关^[8,40]。在本试验中,吉富罗非鱼成鱼对全脂膨化大豆(90.09%)、花生粕(94.64%)和玉米蛋白粉(86.57%)总能ADC显著高于棉粕(64.99%)和菜粕(62.92%)。分析认为,全脂膨化大豆中的脂肪含量最高,而花生粕和玉米蛋白粉的粗蛋白较高,相对的降低了难以消化的碳水化合物的含量,从而获得了较高的总能ADC。

磷是鱼类重要的矿物营养元素。它在植物性原料中主要以植酸磷的形式存在,一般较难被鱼类所利用。如团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)对菜粕、花生粕以及棉粕总磷的ADC仅为3.21%,11.81%和17.70%^[41]。但也有研究报道,青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)^[42]、矛尾复虾虎鱼(*Synechogobius hasta*)^[43]等对豆粕、菜粕、花生粕中磷的ADC可达50%以上。在本试验中,全脂膨化大豆、豆粕和花生粕中磷的ADC在32.96%~38.90%,棉粕、菜粕和小麦麸的磷ADC在51.45%~59.87%,玉米蛋白粉的为83.39%。而对比罗非鱼的相关研究发现,15 g/尾的尼罗罗非鱼对豆粕中磷的ADC为30.1%,对玉米蛋白粉中磷的ADC为28.2%^[2];7.18 g/尾的奥尼罗非鱼对豆粕、花生粕、菜粕和棉粕中磷的ADC在52.7%~58.6%^[12],25.24 g/尾的尼罗罗非鱼对加拿大双低菜粕中磷的ADC为29.86%^[44]。推测产生这些差异的主要原因应该与鱼的种类、原料化学组成及生产加工工艺等不同有关。在本试验中,面粉中磷的消化率远高于100%,这与面粉中磷的含量较低有关,类似的结果在日本海鲈(*Lateolabrax japonicus*)^[45]的研究中也有报道。

综上所述,吉富罗非鱼成鱼对不同原料中的营养物质和总能ADC差异较大。但总体而言,除小麦麸外,吉富罗非鱼成鱼对各原料的粗蛋白和氨基酸ADC均较高,然而饲料配方中使用这些原料仍需注意氨基酸的不平衡问题;吉富罗非鱼成鱼能有效地利用各种饲料原料中的脂肪;对各饲料原料能量的利用差异较大,以面粉最高,花生粕、玉米蛋白粉和全脂膨化大豆其次,豆粕、棉粕和菜粕再次,小麦麸最低,在使用豆粕、棉粕和菜粕作为配方的主要原料时,要考虑能量是否充足;原料中总磷的ADC有较大差异,在配方的制定时应注意添加适量的磷。

【参考文献】

- [1] 李爱杰, 麦康森, 沈维华. 水产动物营养与饲料学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 118-122.
Li A J, Mai K S, Shen W H. Nutrition and feed of aquatic animals [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996: 118-122. (in Chinese)
- [2] Köprücü K, Özdemir Y. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Aquaculture, 2005, 250(1/2): 308-316.
- [3] Sintayehu A, Mathies E, Meyer-Burgdorff K H, et al. Apparent digestibilities and growth experiments with tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed soybean meal, cottonseed meal and sunflower seed meal [J]. Journal of Applied Ichthyology, 1996, 12(2): 125-130.
- [4] Degani G, Violafi S, Yehuda Y. Apparent digestibility of pfiotein and carbohydrate in feed ingredients for adult tilapia (*Oreochromis aureus* × *O. niloticus*) [J]. Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh, 1997, 49(3): 115-123.
- [5] Boscolo W R, Hayashi C, Meurer F. Apparent digestibility of the energy and nutrients of conventional and alternatives foods for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science, 2002, 31(2): 539-545.
- [6] Maina J G, Beames R M, Higgs D, et al. Digestibility and feeding value of some feed ingredients fed to tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) [J]. Aquaculture Research, 2002, 33(11): 853-862.
- [7] Pezzato L E, de Miranda E C, Barros M M, et al. Apparent digestibility of feedstuffs by Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science, 2002, 31(4): 1595-1604.
- [8] Sklan D, Prag T, Lupatsch I. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their prediction in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus* (Teleostei, Cichlidae) [J]. Aquaculture Research, 2004, 35(4): 358-364.
- [9] Borghesi R, Portz L, Oetterer M, et al. Apparent digestibility coefficient of protein and amino acids of acid, biological and enzymatic silage for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2008, 14(3): 242-248.
- [10] Dong X H, Guo Y X, Ye J D, et al. Apparent digestibility of selected feed ingredients in diets for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus* [J]. Aquaculture Research, 2010, 41(9): 1356-1364.
- [11] Tram N D Q, Ngoan L D, Hung L T, et al. A comparative study on the apparent digestibility of selected feedstuffs in hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* × *Clarias gariepinus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2011, 17(2): 636-643.
- [12] Zhou Q C, Yue Y R. Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus* [J]. Aquaculture Research, 2012, 43(6): 806-814.
- [13] 吴建开, 雍文岳, 游文章, 等. 13 种饲料原料蛋白质对尼罗罗非鱼的营养价值 [J]. 中国水产科学, 2000, 7(2): 37-42.
Wu J K, Yong W Y, You W Z, et al. Nutritional value of proteins in 13 feed ingredients for *Oreochromis niloticus* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2000, 7(2): 37-42. (in Chinese)
- [14] Ramos A P D, Braga L G T, Carvalho J S O, et al. Digestibility of agro-industrial byproducts in 200 and 300-g Nile tilapia [J]. Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science, 2012, 41(2): 462-466.
- [15] Degani G, Yehuda Y. Digestibility of protein sources in feed for *Oreochromis aureus* × *O. nilotica* [J]. Indian Journal of Fisheries, 1999, 46(1): 33-39.
- [16] Hanley F. The digestibility of foodstuffs and the effects of feeding selectivity on digestibility determinations in tilapia, *Oreochromis niloticus* (L) [J]. Aquaculture, 1987, 66(2): 163-179.
- [17] 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): 20-28.
Dong X H, Guo Y X, Ye J D, et al. Research on apparent digestibility of ten feed ingredients for juvenile gift strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2009, 21(3): 20-28. (in Chinese)
- [18] Cho C Y, Slinger S J. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout [C]//Proc. World Symp on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology: Vol 2. Berlin: Heene-mann, 1979: 239-247.
- [19] 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(3/4): 345-358.
- [20] Bureau D P, Hua K. Letter to the editor of aquaculture [J]. Aquaculture, 2006, 252(2/3/4): 103-105.
- [21] 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(1/2): 65-78.
- [22] 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(3/4): 177-202.
- [23] Alan W D, Carter C G, Townsend A T. The use of yttrium oxide and the effect of faecal collection timing for determining the apparent digestibility of minerals and trace elements in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) feeds [J]. Aquaculture Nutrition, 2005, 11(1): 49-59.
- [24] Miegel R P, Pain S J, Van Wettene W H E J, et al. Effect of water temperature on gut transit time, digestive enzyme activity and nutrient digestibility in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) [J]. Aquaculture, 2010, 308(3/4): 145-151.
- [25] Cho C, Slinger S, Bayley H. Bioenergetics of salmonid fishes: Energy intake, expenditure and productivity [J]. Comparative

- Biochemistry and Physiology, Part B. Comparative Biochemistry, 1982, 73(1): 25-41.
- [26] Windell J T, Foltz J W, Sarokon J A. Methods of fecal collection and nutrient leaching in digestibility studies [J]. The Progressive Fish-culturist, 1978, 40(2): 51-55.
- [27] Guimaraes I G, Pezzato L E, Barros M M. Amino acid availability and protein digestibility of several protein sources for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. Aquaculture Nutrition, 2008, 14(5): 396-404.
- [28] Halver J E, Hardy R W. Fish nutrition [M]. London: Academic Press, 2002: 15-16.
- [29] Cheng Z J, Hardy R W. Apparent digestibility coefficients and nutritional value of cottonseed meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 2002, 212(1/2/3/4): 361-372.
- [30] Luo L, Xue M, Wu X, et al. Partial or total replacement of fishmeal by solvent-extracted cottonseed meal in diets for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2006, 12(6): 418-424.
- [31] Lee K J, Rinchar J, Dabrowski K, et al. Long-term effects of dietary cottonseed meal on growth and reproductive performance of rainbow trout: Three-year study [J]. Animal Feed Science and Technology, 2006, 126(1/2): 93-106.
- [32] Ribeiro F B, Lanna E A T, Bomfim M A D, et al. True and apparent digestibility of protein and amino acids of feed in Nile tilapia [J]. Revista Brasileira de Zootecnia, 2012, 40(5): 939-946.
- [33] Guimaraes I G, Pezzato L E, Barros M M, et al. Nutrient digestibility of cereal grain products and by-products in extruded diets for Nile Tilapia [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2008, 39(6): 781-789.
- [34] Lee S M. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*) [J]. Aquaculture, 2002, 207(1/2): 79-95.
- [35] Gaylord T G, Barrows F T, Rawles S D, et al. Apparent digestibility of nutrients and energy in extruded diets from cultivars of barley and wheat selected for nutritional quality in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquaculture Nutrition, 2009, 15(3): 306-312.
- [36] 刘修英, 王岩, 王建华, 苏氏圆腹(鱼亡)对6种常用饲料原料的表观消化率 [J]. 水生生物学报, 2009, 33(4): 778-781.
- Liu X Y, Wang Y, Wang J H. Apparent digestibility coefficients of six selected feed ingredients for sutchi catfish (*Pangasius sutchi*) reared in net pens [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2009, 33(4): 778-781. (in Chinese)
- [37] Cheng Z J, Hardy R W. Effects of extrusion processing of feed ingredients on apparent digestibility coefficients of nutrients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2003, 9(2): 77-83.
- [38] Jeunink J, Cheftel J C. Chemical and physicochemical changes in field bean and soybean proteins texturized by extrusion [J]. Journal of Food Science, 1979, 44(5): 1322-1325.
- [39] Gaylord T G, Gatlin III D M. Determination of digestibility coefficients of various feedstuffs for red drum (*Sciaenops ocellatus*) [J]. Aquaculture, 1996, 139(3/4): 303-314.
- [40] Stone D A J. Dietary carbohydrate utilization by fish [J]. Reviews in Fisheries Science, 2003, 11(4): 337-369.
- [41] 姜雪姣, 梁丹妮, 刘文斌, 等. 团头鲂对7种饲料的蛋白质、氨基酸及磷的表观消化率 [J]. 中国水产科学, 2011, 18(1): 119-126.
- Jiang X J, Liang D N, Liu W B, et al. Apparent digestibility of proteins, amino acids and phosphorus of seven feed ingredients for bluntnose black bream [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(1): 119-126. (in Chinese)
- [42] 明建华, 叶金云, 张易祥, 等. 青鱼对8种饲料原料中营养物质的表观消化率 [J]. 动物营养学报, 2012, 24(10): 2050-2058.
- Ming J H, Ye J Y, Zhang Y X, et al. Nutrient apparent digestibility of eight feed ingredients for black carp (*Mylopharyngodon piceus* Richardson) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2012, 24(10): 2050-2058. (in Chinese)
- [43] Luo Z, Li X D, Gong S Y, et al. Apparent digestibility coefficients of four feed ingredients for *Synechogobius hasta* [J]. Aquaculture Research, 2009, 40(5): 558-565.
- [44] Furuya W M, Pezzato L E, de Miranda E C, et al. Apparent nutrient and energy digestibility of canola meal for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science, 2001, 30(3): 611-616.
- [45] Wang J, Yun B, Xue M, et al. Apparent digestibility coefficients of several protein sources, and replacement of fishmeal by porcine meal in diets of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*, are affected by dietary protein levels [J]. Aquaculture Research, 2012, 43: 117-127.