

[文章编号] 1007-7405(2017)06-0009-08

牛蛙对几种动物性饲料原料的表观消化率

曾秋辉^{1,2}, 王 玲^{1,2}, 陈 佳³, 张春晓^{1,2}

(1. 集美大学水产学院, 福建 厦门 361021; 2. 厦门市饲料检测与安全评价重点实验室, 福建 厦门 361021;
3. 荣成市俚岛畜牧兽医站, 山东 荣成 264317)

[摘要] 以鱼粉和豆粕为主要蛋白质源, 以三氧化二钇(Y_2O_3)作为外源指示剂配制基础饲料, 再以质量分数为90%的基础饲料和10%的待测原料组成试验饲料, 测定了牛蛙 *Rana (Lithobates) catesbeiana* 对肉骨粉、水解羽毛粉、血浆蛋白、肠膜蛋白和蛋白胨5种动物蛋白原料中干物质、粗蛋白质、磷、钙以及能量的表观消化率。试验结果表明: 牛蛙对不同待测原料的干物质表观消化率在45.7%~90.9%之间, 其中血浆蛋白(90.9%)>蛋白胨(81.4%)>肠膜蛋白(81.3%)>肉骨粉(51.2%)>水解羽毛粉(45.7%); 各原料间粗蛋白质的表观消化率在65.6%~87.6%之间, 其中血浆蛋白(87.6%)>蛋白胨(82.6%)>肠膜蛋白(80.0%)>肉骨粉(69.5%)>水解羽毛粉(65.6%); 能量表观消化率在血浆蛋白(81.2%)、肠膜蛋白(80.4%)和蛋白胨(79.7%)三者之间无显著差异, 但都显著高于其他各组($P < 0.05$); 各种饲料原料总钙的表观消化率从高到低依次为蛋白胨(74.7%)、水解羽毛粉(70.3%)、血浆蛋白(69.8%)、肠膜蛋白(64.5%)、肉骨粉(63.2%); 总磷的表观消化率从高到低依次为蛋白胨(82.8%)、血浆蛋白(80.5%)、肠膜蛋白(80.2%)、水解羽毛粉(78.4%)和肉骨粉(75.5%)。结论: 血浆蛋白、肠膜蛋白和蛋白胨可作为牛蛙的优质蛋白质源。

[关键词] 牛蛙; 表观消化率; 动物蛋白; 饲料原料

[中图分类号] S 963

Apparent Digestibility Coefficients of Several Animal Protein Ingredients in the Diets of Bullfrog, *Rana (Lithobates) catesbeiana*

ZENG Qiu-hui^{1,2}, WANG Ling^{1,2}, CHEN Jia³, ZHANG Chun-xiao^{1,2}

(1. Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. Xiamen Key Laboratory for
Feed Quality Testing and Safety Evaluation; Xiamen 361021, China;
3. Animal Husbandry and Veterinary Station of Lidao, Rongcheng 264317, China)

Abstract: A reference diet was formulated with fish meal and soybean meal as the main sources of protein and using yttrium oxide(Y_2O_3) as digestibility indicator. Test ingredients included porcine meat and bone meal, hydrolyzed feather meal, plasma protein powder, dried porcine digest and peptone. A test diets that included 90% reference diet and 10% of the test feed ingredients were used with 0.1% yttrium oxide included as digestibility indicator to determine apparent digestibility coefficients(ADC_s) of dry matter, crude protein, gross energy, phosphorus and calcium in selected feed ingredients for bullfrog. The results showed that the ADC_s of dry matter in

[收稿日期] 2017-05-11

[修回日期] 2017-06-17

[基金项目] 福建省中青年教育科研项目(JA15284); 国家自然科学基金项目(31602172); 福建省科技计划项目(2017N0021)

[作者简介] 曾秋辉(1990—), 硕士生。通信作者: 王玲(1977—), 副教授, 从事水产动物营养与饲料学研究, E-mail: lingwang@jmu.edu.cn.

those tested feed ingredients varied from 45.7% to 90.9%. The tested feed ingredients sorted by the ADC_s of dry matter in descending order was plasma protein powder(90.9%) > peptone(81.4%) > dried porcine digest(81.3%) > porcine meat bone meal(51.2%) > hydrolyzed feather meal(45.7%). ADC_s of crude protein varied from 65.6% to 87.6% among all ingredients. The tested feed ingredients sorted by the ADC_s of crude protein in descending order was plasma protein powder(87.6%) > peptone(82.6%) > dried porcine digest(80.0%) > porcine meat bone meal(69.5%) > hydrolyzed feather meal(65.6%). In this study, ADC_s of energy in plasma protein powder(81.2%), dried porcine digest(80.4%) and peptone(79.7%) had no significant difference, but significantly higher than those in other ingredients ($P < 0.05$). Ingredients sorted by ADC_s of total calcium in descending order was peptone(74.7%), hydrolyzed feather meal(70.3%), plasma protein powder(69.8%), dried porcine digest(64.5%), porcine meat and bone meal(63.2%). Ingredients sorted by ADC_s of total phosphorus in descending order was peptone(82.8%), plasma protein powder(80.5%), dried porcine digest(80.2%), hydrolyzed feather meal(78.4%), porcine meat and bone meal(75.5%). In conclusion, the plasma protein powder and peptone can be used as high quality dietary protein sources for bullfrog.

Keywords: bullfrog; apparent digestibility coefficients; animal protein sources; feed ingredients

0 引言

牛蛙 (*Rana (Lithobates) catesbeiana*) 原产于北美洲落基山脉地区, 是北美最大的蛙类之一, 因其肉质鲜嫩、味道鲜美、高蛋白低脂肪、高营养价值, 深受国内外消费者的喜欢。近年来, 我国牛蛙养殖业发展迅猛, 华东和华南都有较大规模的养殖^[1]。在过去几年, 牛蛙肌肉出口到西方国家的数量持续上升。此外, 牛蛙加工副产品 (包括肝、肠和皮肤等), 也可作为生化制药的原料^[2]。随着牛蛙规模化养殖的扩大, 对饲料蛋白质的需求量日益增大, 然而作为饲料中主要蛋白质源的鱼粉供应也日趋紧张。近年来, 随着鱼粉价格的持续攀升, 寻找廉价蛋白质原料替代鱼粉已经成为当前鱼类营养学研究的热点之一, 这对于缓解蛋白质原料供应不足、降低牛蛙规模化的养殖成本和提高牛蛙养殖经济效益具有重要的意义。因此, 为更好地了解各种饲料原料的营养价值, 开展替代蛋白质源在动物体内的表观消化率的研究势在必行^[3-7]。本试验选择肉骨粉、水解羽毛粉、血浆蛋白、肠膜蛋白和蛋白胨等 5 种高蛋白的饲料原料, 探讨牛蛙对这几种动物蛋白原料的表观消化率, 为其在牛蛙配合饲料中的合理使用提供理论基础^[8]。

1 材料和方法

1.1 试验饲料的配制

根据牛蛙的营养需求来配制基础饲料。以鱼粉和豆粕为主要蛋白质源, 面粉为主要糖源, 鱼油和豆油为主要脂肪源, 并补充无机盐和维生素等来配制基础饲料, 其配方与化学组成见表 1。试验饲料的配制, 以肉骨粉 (来源于猪肉加工过程中的骨和内脏等下脚料)、水解羽毛粉 (来源于鸡羽毛, 并经过酸水解)、血浆蛋白 (来源于猪血)、肠膜蛋白 (来源于猪肠道)、蛋白胨 (来源于猪下脚料炼油残渣, 并经酶解而制成) 等 5 种动物蛋白原料 (由美国动物蛋白及油脂提炼协会提供) 为待测原料, 用三氧化二钇 (Y_2O_3) 作为外源指示剂, 以质量分数为 90% 的基础饲料和 10% 的待测原料配制成 5 种试验饲料。饲料原料先粉碎后过 60 目筛, 各种饲料原料按比例定量后逐级混合均匀, 然后再加入适量的水搅拌均匀, 用水产饲料膨化机制成直径为 4.0 mm 的饲料颗粒, 在室内 18 °C 左右风干后, 最后储存在 -20 °C 左右的冰箱中备用。待测原料和试验饲料的化学组成见表 2。

1.2 动物饲养与管理

试验所用牛蛙采购于厦门同安某一养殖场, 为同一批次孵化培育的幼蛙。正式试验开始时, 牛蛙初始均重为 (63.5 ± 4.4) g, 随机分配到室内 18 个水族箱 (68 cm × 38 cm × 36 cm) 中进行养殖试验。投喂试验饲料 1 周后, 开始收集各组牛蛙粪便。动物饲养与管理参照皇康康等^[1]的操作方法。

表 1 基础饲料配方与化学组成(干物质基础)

Tab.1 Ingredients and proximate composition of basal diet(dry matter basis)

组分 Ingredients	质量分数 Mass fraction/%	组分 Ingredients	质量分数 Mass fraction/%	
鱼粉 Fishmeal	20.00	维生素混合物 Vitamin premix ²⁾	0.10	
豆粕 Soybean meal	38.00	矿物质混合物 Mineral premix ³⁾	0.50	
面粉 Wheat flour	27.67	三氧化二钇 Y ₂ O ₃	0.10	
卵磷脂 Lecithin	1.00	化学组成 Proximate composition	干物质 Dry matter	91.10
豆油 Soybean oil	1.00		粗蛋白质 Crude protein	38.10
鱼油 Fish oil	1.00		粗脂肪 Crude lipid	5.00
胆碱 Choline	0.50		粗灰分 Crude ash	7.93
磷酸二氢钙 Monocalcium phosphate	10.00		钙 Ca	1.53
防霉剂 Mold inhibitor ¹⁾	0.05		磷 P	1.74
维生素 C L-Ascorbate-2-phosphate	0.03		总能 Gross energy	17.82(MJ · kg ⁻¹
乙氧基喹啉 Ethoxyquin	0.05			

说明: 1) 50% 丙酸钙和 50% 富马酸; 2), 3) 参考文献 [9]。

Notes: 1) 50% calcium propionate and fumaric acid of 50%; 2), 3) refer to reference [9].

表 2 待测原料与试验饲料的化学组成(干物质基础)

Tab.2 Nutrient level of test ingredients and test diets(dry matter basis)

原料或饲料 Ingredient or feed	质量分数 Mass fraction/%						总能 Gross energy /(MJ · kg ⁻¹)
	干物质 Dry material	粗蛋白质 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	粗灰分 Crude ash	总钙 Ca	总磷 P	
肉骨粉 Porcine meat and bone meal	92.0	61.7	7.8	20.7	7.5	4.0	16.6
水解羽毛粉 Hydrolyzed feather meal	94.8	92.6	6.2	2.1	0.5	0.2	21.8
待测原料 血浆蛋白 Ingredient Plasma protein powder	92.0	83.2	8.8	9.2	0.2	2.1	19.3
肠膜蛋白 Dried porcine digest	90.0	58.4	11.6	17.6	1.1	1.2	17.7
蛋白胨 Peptone	95.0	80.6	10.1	0.1	0.5	0.7	21.1
基础饲料组 Reference diet group	91.1	38.1	5.0	7.9	1.5	1.7	19.6
肉骨粉组 Porcine meat and bone meal group	91.5	39.7	5.3	9.2	2.2	1.9	19.3
饲料 水解羽毛粉组 Feed Hydrolyzed feather meal group	91.4	42.1	5.1	7.3	1.4	1.4	19.8
血浆蛋白组 Plasma protein powder group	91.4	41.6	5.4	8.1	1.3	1.8	19.5
肠膜蛋白组 Dried porcine digest group	91.9	38.1	5.7	8.7	1.6	1.7	19.4
蛋白胨组 Peptone group	92.0	40.7	5.5	7.1	1.4	1.5	19.7

1.3 样品采集

投喂试验饲料 1 周后开始收集粪便。每晚饱食投喂 2 h 后, 将缸中的水放干, 将带有滤纸的粪便收集器放入缸中^[9], 12 h 后, 将粪便收集器取出, 用勺子将滤纸上饱满、成形的粪便刮下, 置于自

封袋中。收集完毕后的牛蛙粪便放置在 -20 ℃ 冰箱中冷冻保存备用。

1.4 测定及方法

将牛蛙粪便样品在 60 ℃ 下烘干后，用研钵研磨成粉末，105 ℃ 烘干至恒重，测定其中的营养成分含量。试验饲料、待测原料、粪便中的水分、粗蛋白质的含量以及总能的测定采用 AOAC^[10] 的方法。具体操作方法及仪器参照皇康康等^[1] 研究。钇、钙和磷离子含量的测定采用的是电感耦合等离子体质谱仪（ICP-OES，Prodigy7，LEEMAE LABS，USA）。

1.5 表观消化率的计算公式

基础饲料和试验饲料干物质的表观消化率（%）= $(1 - S_y/F_y) \times 100$ ，基础饲料和试验饲料营养成分或能量的表观消化率（%）= $(1 - (F_i/S_i) \times (S_y/F_y)) \times 100$ ，其中： S_y 为饲料中钇的质量分数（%）， F_y 为粪便中钇的质量分数（%）， S_i 为饲料中某营养成分的质量分数（%）（或所含的能量（MJ/kg））， F_i 为粪便中某营养成分的质量分数（%）（或所含的能量（MJ/kg））。

待测原料中的营养物质以及能量的表观消化率 $W_i = W_T + (W_T - W_R) \times (0.9X_R/0.1X_T)$ ，其中： W_i 为待测原料中某营养成分的表观消化率（%）， W_T 为试验饲料中某营养成分的表观消化率（%）， W_R 为基础饲料中某营养成分的表观消化率（%）， X_R 为基础饲料中某营养成分的质量分数（%）（或所含的能量（MJ/kg））， X_T 为试验饲料中某营养成分的质量分数（%）（或所含的能量（MJ/kg））。

1.6 数据的计算

试验数据经 Excel 2016 整理后，采用 SPSS 17.0 软件对实验数据进行 one-way ANOVA，若差异显著，还需采用 Duncan 法进行多重比较，差异显著水平设为 $P < 0.05$ 。实验结果采用（平均值 ± 标准误差）表示。

2 结果

2.1 牛蛙对 5 种饲料原料干物质的表观消化率

各种待测原料中的干物质、粗蛋白质、能量、总钙和总磷的表观消化率如表 3 所示。本试验中，牛蛙对 5 种饲料原料干物质的表观消化率在 45.7% ~ 90.9% 之间，其高低顺序为血浆蛋白(90.9%) > 蛋白胨(81.4%) > 肠膜蛋白(81.3%) > 肉骨粉(51.2%) > 水解羽毛粉(45.7%)。血浆蛋白的干物质表观消化率最高，显著高于其他各种原料 ($P < 0.05$)；蛋白胨与肠膜蛋白两者间干物质表观消化率无显著性差异 ($P > 0.05$)，但显著高于肉骨粉和水解羽毛粉 ($P < 0.05$)；肉骨粉和水解羽毛粉两者间干物质表观消化率无显著性差异 ($P > 0.05$)。

2.2 牛蛙对 5 种饲料原料粗蛋白质的表观消化率

从表 3 可见，在本试验中，牛蛙对 5 种饲料原料中粗蛋白质的表观消化率在 65.6% ~ 87.6% 之间，其高低顺序为血浆蛋白(87.6%) > 蛋白胨(82.6%) > 肠膜蛋白(80.0%) > 肉骨粉(69.5%) > 水解羽毛粉(65.6%)。血浆蛋白中的粗蛋白质表观消化率显著高于其他各种原料，肠膜蛋白和蛋白胨两者间无显著性差异，但显著高于肉骨粉和水解羽毛粉 ($P < 0.05$)；肉骨粉与水解羽毛粉两者间无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.3 牛蛙对 5 种饲料原料能量的表观消化率

从表 3 可得，在本试验中，牛蛙对 5 种饲料原料中能量的表观消化率在 75.76% ~ 81.17% 之间，其高低顺序为血浆蛋白(81.2%) > 肠膜蛋白(80.4%) > 蛋白胨(79.7%) > 肉骨粉(75.9%) > 水解羽毛粉(75.8%)。血浆蛋白、肠膜蛋白、蛋白胨三者间能量的表观消化率无显著差异 ($P > 0.05$)，但显著高于肉骨粉和水解羽毛粉 ($P < 0.05$)，且肉骨粉与水解羽毛粉两者间无显著性差异 ($P > 0.05$)。

2.4 牛蛙对 5 种饲料原料总钙、总磷表观消化率

在本试验中，牛蛙对 5 种饲料原料中总钙的表观消化率在 63.2% ~ 70.3% 之间，其高低顺序为蛋白胨(74.7%) > 水解羽毛粉(70.3%) > 血浆蛋白(69.8%) > 肠膜蛋白(64.5%) > 肉骨粉(63.2%)。蛋白

胨中总钙的表现消化率显著高于其他各种原料 ($P < 0.05$) ; 血浆蛋白与水解羽毛粉两者间无显著性差异 ($P > 0.05$) , 但皆显著高于肠膜蛋白和肉骨粉 ($P < 0.05$) ; 肉骨粉显著低于其他各种原料 ($P < 0.05$) 。

在本试验中, 牛蛙对 5 种饲料原料中总磷的表现消化率在 75.5% ~ 82.8% 之间, 其高低顺序为蛋白胨 (82.8%) > 血浆蛋白 (80.5%) > 肠膜蛋白 (80.2%) > 水解羽毛粉 (78.4%) > 肉骨粉 (75.5%)。蛋白胨中总磷的表现消化率最高, 与血浆蛋白和肠膜蛋白无显著性差异 ($P > 0.05$) , 但显著高于水解羽毛粉和肉骨粉 ($P < 0.05$) ; 肉骨粉和水解羽毛粉两者间总磷的表现消化率无显著差异。

表 3 牛蛙对 5 种饲料原料中干物质、粗蛋白质、总能、钙和磷的表现消化率
Tab.3 Apparent digestibility coefficients for dry matter, crude protein, energy, Ca and P of selected feedstuffs determined for *Rana (Lithobates) catesbeiana*

待测原料 Ingredient	表现消化率 Apparent digestibility coefficient/%				
	干物质 Dry matter	粗蛋白质 Crude protein	总能 Gross energy	钙 Ca	磷 P
肉骨粉 Porcine meat and bone meal	51.2 ± 7.9 ^a	69.5 ± 3.8 ^a	75.9 ± 0.3 ^a	63.2 ± 2.3 ^a	75.5 ± 2.2 ^a
水解羽毛粉 Hydrolyzed feather meal	45.7 ± 3.2 ^a	65.6 ± 2.5 ^a	75.8 ± 0.7 ^a	70.3 ± 1.1 ^b	78.4 ± 3.3 ^{ab}
血浆蛋白 Plasma protein powder	90.9 ± 3.3 ^c	87.6 ± 0.3 ^c	81.2 ± 0.9 ^b	69.8 ± 0.8 ^b	80.5 ± 1.0 ^{bc}
肠膜蛋白 Dried porcine digest	81.3 ± 0.7 ^b	80.0 ± 3.5 ^b	80.4 ± 0.1 ^b	64.5 ± 0.2 ^a	80.2 ± 0.2 ^{bc}
蛋白胨 Peptone	81.4 ± 3.8 ^b	82.6 ± 2.4 ^{bc}	79.7 ± 0.7 ^b	74.7 ± 0.4 ^c	82.8 ± 1.6 ^c

说明: 同一列字母上标不同的表示是差异显著 ($P < 0.05$) 。
Note: Values with different superscripts in the same column differ significantly ($P < 0.05$) .

3 讨论

众多因素可影响水产动物原料表现消化率试验结果的准确性, 如消化率的测定方法、指示剂的种类和粪便收集的方法等。有关水产动物饲料原料消化率的测定大多参照 Cho 等^[11]的方法用待测原料替代 30% 基础饲料配制成试验饲料, 根据基础饲料和试验饲料营养物质的消化率计算待测原料营养成分的消化率, 但 Cho 等^[11]的计算方法忽略了基础饲料和待测饲料中原料的营养成分对测定结果的影响。Bureau 等^[12]提出的改进计算方法, 进一步减小了因基础饲料与待测原料所含营养成分不同的影响, 但无论计算公式如何改变, 基础饲料与试验原料间营养物质的差异仍无法完全消除。NRC^[13]也认为在实际试验工作中, 7:3 这个比例并非是固定不可变, 比例的调整原则是保证试验的可行, 包括能够正常制粒、符合适口性要求, 以及鱼类能够正常消化等。本试验所选用的饲料原料中蛋白质水平为 58.4% ~ 92.6%, 远高于牛蛙蛋白质需要量 (40%)。为减少误差产生而又不影响研究结果, 本实验采用 w (基础饲料): w (待测原料) 为 9:1 的方式制作试验饲料。相较于 Bureau 等^[12]的方法, 本试验饲料的营养水平更加接近基础饲料, 且能够保持饲料蛋白质水平接近牛蛙需要量。此外, 原料组成的差异会影响膨化饲料颗粒质量, 如实际饲料制粒过程中, 水解羽毛粉替代比例增加, 其膨化度急剧下降, 当按 7:3 比例设计试验饲料时, 膨化率低于 60%, 而这也影响牛蛙对饲料的摄食率, 从而影响消化率的测定结果。相较于 7:3 比例法, 本试验所选 9:1 比例方式更能够降低这些因素的影响, 故所得消化率结果能很好地反映原料的质量好坏。目前, 研究表现消化率试验中常用的外源指示剂主要有三氧化二钇 (Y_2O_3) 和三氧化二铬 (Cr_2O_3), 本实验使用的是三氧化二钇 (Y_2O_3)。有研究表明, 饲料中添加 Cr_2O_3 , 会提高罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) 对葡萄糖的利用, 进而影响其体重、肝糖原和能量的含量^[14]。赵万鹏等^[6]的研究表明 Cr_2O_3 在饲料中过量的添加, 会降低草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 淀粉酶的分泌量或其活性。有研究表明, Cr_2O_3 在猪的粪便中质量分数只有 74.0% ~ 86.0%, 也就是说有一部分 Cr_2O_3 会在猪的肠道中被吸收。而尚未有关于 Y_2O_3 影响动物营养吸收的相关报道, 且其在测定大马哈鱼 (*Oncorhynchus keta*) 和鲑鳟鱼 (*Oncorhynchus mykiss*) 的

表观消化率中也被广泛应用^[15]。此外,本试验采用 Zhang 等^[9]研究体外收集牛蛙粪便的方法,用粪便器收集滤纸上包膜完整的粪便,相比传统的挤压法^[16]、解剖法^[17]和虹吸法^[18]、透膜捞网^[19]和倾析法^[20]而言,此法既避免了人为干扰造成应激反应,又避免了粪便中营养物质在水中溶失问题。

饲料干物质的表观消化率是动物对饲料总体消化能力的反映^[21]。本试验中,牛蛙对 5 种待测原料的干物质表观消化率为 45.7% ~ 90.9%,各原料间存在显著差异。其中,血浆蛋白的干物质表观消化率最高,其次是蛋白胨和肠膜蛋白,最低的是水解羽毛粉和肉骨粉。有研究表明,在水产动物饲料中,过高的灰分会降低其干物质的表观消化率^[22]。本试验结果表明,肉骨粉干物质表观消化率较低,这可能是受其高粗灰分(20.7%)的影响。相似的结果在斑点叉尾鲟(*Ictalurus punctatus*)^[23]、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[24]和罗非鱼^[25]中也有报道。本试验也发现,水解羽毛粉的干物质表观消化率在 5 种原料中最低。Zhang 等^[9]研究指出,虽羽毛粉具有较高粗蛋白质含量(92.6%),但其蛋白质主要以角质蛋白的形式存在,即便经过高温、高压,其水解也可能不完全,难以被动物消化吸收。因此,水解羽毛粉的低干物质消化率主要是由于低蛋白消化率造成的。

在本试验中,牛蛙对 5 种动物蛋白原料中粗蛋白质的表观消化率不同,范围在 65.6% ~ 87.6% 之间,其趋势与干物质表观消化率相似。本试验中,血浆蛋白的粗蛋白质表观消化率最高(87.6%),与 Zhang 等^[9]报道牛蛙对鱼粉的蛋白质表观消化率(87.6% ~ 89.8%)结果接近。有研究表明,血浆蛋白粉中含有大量白蛋白、纤维蛋白、球蛋白及少量肽物质,且生产加工中经过超滤浓缩、喷雾干燥,提高了蛋白质纯度,消化性更好,其中的氨基酸种类丰富且平衡,其表观消化率达 95.0% 以上^[26]。说明血浆蛋白粉是一种优质的蛋白质原料,可以应用于牛蛙配合饲料。肠膜蛋白粉含有丰富的游离氨基酸和小肽,且水溶性好,易于被动物利用^[27-28]。本试验用蛋白胨是炼猪油的残渣经过酶解、干燥形成的粉状物质,其含有 40% 以上的肽类。Boze 等^[29]研究表明,小肽在肠道内的吸收具有以下特点:速度快、耗能低、载体不易饱和,小肽与小肽之间运转无竞争与抑制性。若以小肽的形式供给动物体蛋白质,可显著提高其对蛋白质的利用率。曾礼华等^[30]研究指出,早期断奶的仔猪投喂肠膜蛋白粉和猪血浆蛋白粉,对其生长效果均优于鱼粉。本试验中,肠膜蛋白(80.0%)和蛋白胨(82.6%)的蛋白质表观消化率略低于牛蛙对鱼粉的蛋白质表观消化率(87.6% ~ 89.8%)^[9],但与 Secco 等^[31]报道的牛蛙蝌蚪对鱼粉的蛋白质表观消化率(81.0%)接近,说明肠膜蛋白粉和猪血浆蛋白粉也是牛蛙饲料的优质蛋白质源。在本试验中,水解羽毛粉的蛋白质表观消化率低于其他各种原料,其结果与 Booth 等^[32]研究相似。羽毛粉的低营养价值可能是由于其含有高水平的不易消化的角蛋白形式的蛋白质。Davies 等^[33]研究发现,在欧洲鲈鱼(*Dicentrarchus labrax*)、金头鲷(*Sparus aurata*)和大比目鱼(*Psetta maxima*)等物种中,肉骨粉的蛋白质表观消化率皆高于羽毛粉产品。本试验结果也表明,肉骨粉的蛋白质表观消化率好于水解羽毛粉。

本试验中,5 种动物性原料能量表观消化率(大于 70.0%)皆在较高水平,说明牛蛙对这些动物性原料均有较好的能量利用率。其中血浆蛋白、蛋白胨、肠膜蛋白的能量表观消化率显著高于水解羽毛粉和肉骨粉,其变化趋势与干物质的表观消化率类似,这与 Lee^[34]报道的一致。Lee 等^[34]研究指出,饲料原料中高含量的灰分也会降低干物质和能量的表观消化率。而肉骨粉灰分含量较高^[23],有可能是引起其能量表观消化率低的原因。

水产动物矿物质元素的利用率会因饲料原料的来源和种类的不同而有所差异,而钙、磷是水产动物重要矿物元素之一。在本试验中,蛋白胨中的钙和磷的表观消化率最高,分别为 74.7% 和 82.8%,说明牛蛙能够较好地利用蛋白胨中的钙和磷。其中,蛋白胨、血浆蛋白、肠膜蛋白中磷的表观消化率范围为 80.2% ~ 82.8%,与 Zhang 等^[9]研究牛蛙对鱼粉中磷的表观消化率(84.8%)相近。王秀等^[35]研究指出,血浆蛋白粉由于经过特殊的加工生产工艺,已将其难以消化吸收的血细胞分离,蛋白质的消化率一般都在 95.0% 以上外,磷、铁、镁等矿物质元素也有很高的消化率。以上结果与本试验结果一致,而钙的表观消化率结果趋势与磷类似。本试验中,水解羽毛粉中钙和磷的表观消化率

也较高,分别为70.3%和78.4%,可能与其本身钙(0.5%)、磷(0.2%)含量较低有关^[36]。贡彪等^[37]在花鲈(*Lateolabrax japonicus*)对饲料原料消化率的研究中发现,原料中磷的含量越少,其测得的表观消化率值呈现越高的现象,其原因有待于进一步研究。

4 结论

综上所述,牛蛙对血浆蛋白、肠膜蛋白和蛋白胨都有很高的表观消化率,可以作为牛蛙饲料中优先选择的蛋白质源,虽然牛蛙对肉骨粉、水解羽毛粉的表观消化率较低,但由于其价格较低,可以在配合饲料中适量添加以降低饲料成本。

[参 考 文 献]

- [1] 皇康康,张春晓,王玲,等. 饲料蛋白质和脂肪水平对牛蛙生长性能的影响 [J]. 水产学报, 2014, 38(6): 877-887.
- [2] PASTERIS S E, BÜHLER M I, NADER-MACÍAS M E. Microbiological and histological studies of farmed-bullfrog (*Rana catesbeiana*) tissues displaying red-leg syndrome [J]. Aquaculture, 2006, 251(1): 11-18.
- [3] 申屠基康. 大黄鱼对21种饲料原料表观消化率及色氨酸营养需要研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- [4] 麦康森,陈立侨,陈乃松,等. 水产动物营养与饲料学 [M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [5] 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 [J]. 水生生物学报, 2007, 31(3): 370-376.
- [6] 赵万鹏,刘永坚,潘庆,等. 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.
- [7] 林仕梅,罗莉,叶元土,等. 草鱼对17种饲料原料粗蛋白和粗脂肪的表观消化率 [J]. 中国水产科学, 2001, 8(3): 59-64.
- [8] 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.
- [9] ZHANG C X, HUANG K K, WANG L, et al. Apparent digestibility coefficients and amino acid availability of common protein ingredients in the diets of bullfrog, *Rana(Lithobates)catesbeiana* [J]. Aquaculture, 2015, 437: 38-45.
- [10] AOAC INTERNATIONAL. Official methods of analysis of AOAC international; Volume 1 [J]. Trends in Food Science & Technology, 1995, 6(11): 382.
- [11] CHO C Y, SLINGER S J, BAYLEY H S. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity [J]. Comparative Biochemistry & Physiology Part B: Comparative Biochemistry, 1982, 73(1): 25-41.
- [12] BUREAU D P, HUA K. Letter to the editor of aquaculture [J]. Aquaculture, 2006, 252(2/3/4): 103-105. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.01.028.
- [13] NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of fish and shrimp [M]. Washington (DC): National Academies Press, 2011.
- [14] 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]. Journal of Nutrition, 1995, 125(4): 976-982.
- [15] 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.
- [16] HAJEN W E, HIGGS D A, BEAMES R M, et al. Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in sea water: 2. Measurement of digestibility [J]. Aquaculture, 1993, 112(4): 333-348.
- [17] VENS-CAPPELL B. Methodical studies on digestion in trout: 1. Reliability of digestion coefficients in relation to methods for faeces collection [J]. Aquacultural Engineering, 1985, 4(1): 33-49.
- [18] 余含,戈贤平,孙盛明,等. 鳙鱼对10种蛋白质饲料原料中营养物质的表观消化率 [J]. 动物营养学报, 2017, 29(4): 1427-1436. DOI:10.3969/j.issn.1006-267x.2017.04.042.

- [19] SANGMIN L. Evaluation of the nutrient digestibilities by different fecal collection methods in juvenile and adult korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) [J]. Numerical Mathematics Theory Methods & Applications, 1997, 36(2): 150-164.
- [20] SPYRIDAKIS P, METAILLER R, GABAUDAN J, et al. Studies on nutrient digestibility in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): 1. Methodological aspects concerning faeces collection [J]. Aquaculture, 1989, 77(1): 61-70.
- [21] 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.
- [22] REIGH R C, BRADEN S L, CRAIG R J. Apparent digestibility coefficients for common feedstuffs in formulated diets for red swamp crayfish, *Procambarus clarkia* [J]. Aquaculture, 1990, 84(3/4): 321-334.
- [23] KITAGIMA R E, FRACALOSSO D M. Digestibility of alternative protein-rich feedstuffs for channel catfish, *Ictalurus punctatus* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2011, 42(3): 306-312.
- [24] 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.
- [25] ZHOU Q, YUE Y. Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus* [J]. Aquaculture Research, 2012, 43(6): 806-814.
- [26] JIANG R H, CHANG X Y, STOLL B, et al. Dietary plasma protein reduces small intestinal growth and lamina propria cell density in early weaned pigs [J]. Journal of Nutrition, 2000, 130(1): 21-26.
- [27] 王建峰. 新一代肠膜蛋白粉在饲料中的应用 [J]. 新饲料, 2010(特刊): 64-66.
- [28] 贾晓燕, 程文虹. 肠膜蛋白粉的营养特性及在养猪生产中的应用 [J]. 饲料研究, 2006(8): 39-41.
- [29] BOZA J J, MOËNNOZ D, VUICHOUD J, et al. Protein hydrolysate vs free amino acid-based diets on the nutritional recovery of the starved rat [J]. European Journal of Nutrition, 2000, 39(6): 237-243.
- [30] 曾礼华. 大豆浓缩蛋白、肠膜蛋白粉、血浆蛋白粉对早期断奶仔猪生产性能的影响 [J]. 西南农业学报, 2006, 19(5): 949-952.
- [31] SECCO E M, MVDE S, VIDOTTI R M. Apparent digestibility of different ingredients in diets for bullfrog *Rana catesbeiana* tadpoles [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2007, 36(1): 135-140.
- [32] BOOTH M A, ALLAN G L, SMULLEN R P. Digestibility of common feed ingredients by juvenile mullet *Argyrosomus japonicus* [J]. Aquaculture, 2013, 414-415(11): 140-148.
- [33] DAVIES S J, GOUVEIA A, LAPORTE J, et al. Nutrient digestibility profile of premium (category III grade) animal protein by-products for temperate marine fish species (European sea bass, gilthead sea bream and turbot) [J]. Aquac Res, 2009, 40: 1759-1769. DOI:10.1111/j.1365-2109.2009.02281.x.
- [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] 王秀. 血浆蛋白粉在仔猪饲料中的添加使用 [J]. 四川畜牧兽医, 2010, 37(4): 41.
- [36] 房进广, 梁旭方, 刘立维, 等. 麦瑞加拉鲮幼鱼对12种原料表观消化率的比较研究 [J]. 水生生物学报, 2016, 40(6): 1178-1186.
- [37] 负彪. 几种蛋白原料的消化率及替代鱼粉蛋白在花鲈饲料中的应用 [D]. 哈尔滨: 黑龙江八一农垦大学, 2009.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄力行)