

doi: 10.7541/2020.141

黄颡鱼对四种动物性蛋白原料在不同制粒工艺下的表观消化率研究

刘翠^{1,2*} 周建成^{3*} 刘昊昆¹ 韩冬^{1,4} 金俊琰¹
杨云霞¹ 朱晓鸣^{1,4} 解绶启^{1,4}

(1. 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 武汉大北农水产科技有限公司, 武汉 430090; 4. 湖北省水产动物营养鱼饲料工程技术研究中心, 武汉 430072)

摘要: 实验以三氧化二铬(Cr_2O_3)为外源指示剂, 采用“70%基础饲料+30%实验原料”的方法配制实验饲料, 测定了初始体质量为 (28.68 ± 0.49) g的黄颡鱼(*Peltobagrus fulvidraco*)对国产鱼粉、进口鱼粉、进口鸡肉粉和脱脂黄粉虫粉在膨化制粒和非膨化制粒两种工艺下的干物质、粗蛋白、粗脂肪和氨基酸表观消化率。结果显示, 在非膨化制粒工艺下, 黄颡鱼对进口鸡肉粉的干物质表观消化率显著高于另外3种原料($P < 0.05$), 黄颡鱼对黄粉虫粉蛋白消化率最低($P < 0.05$), 黄颡鱼对进口鸡肉粉脂肪表观消化率显著高于国产鱼粉和进口鱼粉($P < 0.05$); 在膨化制粒工艺下, 进口鸡肉粉的干物质表观消化率显著低于另外3种原料($P < 0.05$), 国产鱼粉和进口鱼粉的粗蛋白质消化率达94%以上, 显著高于另外两种原料($P < 0.05$), 但进口鸡肉粉的脂肪表观消化率显著低于其他原料($P < 0.05$)。在非膨化制粒工艺和膨化制粒工艺下国产鱼粉、进口鱼粉和黄粉虫粉的干物质表观消化率无显著性差异, 但在非膨化制粒工艺下进口鸡肉粉的干物质表观消化率显著高于膨化制粒工艺($P < 0.05$)。对于国产鱼粉、进口鱼粉和黄粉虫粉而言, 非膨化制粒工艺的蛋白消化率显著低于膨化制粒工艺($P < 0.05$), 而鸡肉粉则相反。膨化加工工艺进口鱼粉的脂肪表观消化率显著高于非膨化加工工艺($P < 0.05$), 而膨化加工工艺的黄粉虫脂肪表观消化率显著低于非膨化加工工艺($P < 0.05$)。氨基酸的消化率结果与粗蛋白的表观消化率变化趋势基本一致。由此可知, 对于黄颡鱼饲料, 国产鱼粉和进口鱼粉是最佳的蛋白质来源, 进口鸡肉粉和黄粉虫亦可以作为其优质的蛋白质来源。对于进口鱼粉、国产鱼粉和黄粉虫粉, 膨化制粒工艺更有利于黄颡鱼对其干物质、蛋白、脂肪和氨基酸等营养元素的消化利用, 而对于进口鸡肉粉, 非膨化制粒工艺更有利于黄颡鱼对营养元素的消化利用。

关键词: 黄颡鱼; 动物性蛋白饲料原料; 膨化制粒工艺; 非膨化制粒工艺; 表观消化率

中图分类号: S965.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2020)06-1215-07

黄颡鱼(*Peltobagrus fulvidraco*)又名黄刺骨、黄骨鱼等, 为鲶形目, 鲶科, 黄颡鱼属。该鱼为底栖杂食偏肉食性鱼类, 体型小, 无细刺, 肉质细嫩, 肉味鲜美, 营养丰富。根据近15年《中国渔业统计年鉴》统计数据显示, 全国黄颡鱼养殖产量2017年达到 4.8×10^8 kg, 年均增长率15.6%。可见黄颡鱼在市场上深受广大消费者喜爱, 具有广阔的养殖前景。

我国水产饲料原料来源广泛, 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, 由于营养素组成和制粒工艺

不同而具有不同的营养价值, 导致动物对其消化利用程度也有所不同^[1]。因此, 准确测定水产动物对各饲料原料营养物质的消化率, 是配制营养均衡、成本合理的鱼用饲料的重要依据, 同时也可以评价饲料营养成分可利用性^[2]。

膨化饲料具有水稳定性好, 消化率高, 饲料浪费少, 对水体污染小等优点, 因此是目前水产行业内具有广阔应用前景的饲料。同时膨化制粒工艺还会在一定程度上改善饲料的营养性能, 如膨化制粒工艺过程中的高温、高压、高剪切力可以提高

收稿日期: 2019-11-14; 修订日期: 2020-03-17

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD0900200); 国家特色淡水鱼产业技术体系(CARS-46)资助 [Supported by the National Key R & D Program of China (2019YFD0900200)]; China Agriculture Research System (CARS-46)]

作者简介: 刘翠(1993—), 女, 博士研究生; 主要从事鱼类生理生态学研究。E-mail: 985753292@qq.com; 周建成(1986—), 男, 博士; 主要从事鱼类营养与饲料研究。E-mail: jiancheng1949@163.com *共同第一作者

通信作者: 朱晓鸣(1964—), E-mail: xmzhu@ihb.ac.cn

淀粉糊化度, 有利于动物的消化吸收, 还可以提高蛋白质的利用率, 同时对饲料中的抗营养因子和有害微生物有一定的破坏和杀灭作用^[3, 4]。本实验通过研究黄颡鱼对不同制粒工艺条件下制粒工艺的进口鱼粉、国产鱼粉、鸡肉粉和黄粉虫粉的干物质、粗蛋白质、粗脂肪和氨基酸的表观消化率, 为这些原料在黄颡鱼养殖中的实际应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼

实验用黄颡鱼来自湖北省武汉市邓家州, 养殖实验开始之前, 对实验鱼暂养2周进行驯化。暂养期间饱食投喂, 使其适应实验饲料, 每天投喂2次, 时间为8: 30和16: 30; 在正式实验前, 实验鱼饥饿24h, 选取大小均匀、健康的实验鱼[体重(28.68±0.49) g], 称重后随机放入30个方形灰塑料养殖缸中(水体积150 L), 每缸12尾。

1.2 实验养殖系统

实验在室内循环水养殖系统中进行。实验期间水温为(23.5±1.0)℃。光照周期为12L:12D(8: 00—20: 00)。每周监测氨氮和水体溶氧, 氨氮<0.1 mg/L, 溶氧>7.5 mg/L, pH为6.5—7.0。使用充气头在非投喂期间连续充气增氧。

1.3 实验饲料

本实验共有10种实验饲料, 包括1种非膨化制粒基础饲料和1种膨化制粒基础料, 其配方和营养成分见表1。实验饲料的配制采用“套算法”^[5], 在基础饲料中添加0.5%的Cr₂O₃为指示剂, 配制成8种实验原料为国产鱼粉、进口鱼粉、进口鸡肉粉和黄粉虫粉的实验饲料。配方中各饲料原料粉碎后(粉碎粒度为163 μm)过20目筛, 分别用非膨化制粒工艺和膨化制粒工艺制成饲料, 非膨化饲料的制备采用实验室小型制粒机制备(中国上海渔业与机械研究所, SLP-45), 膨化饲料的制备采用挤压膨化饲料机湿法加工制备(北京现代洋工机械科技发展有限公司, TSE65S)。在饲料制备过程中, 分别记录非膨化饲料和膨化饲料的加工参数, 非膨化饲料加工过程中的机筒温度、调制温度和膜孔直径分别是60—70℃、22—24℃(室温)和2.4 mm; 膨化饲料加工过程中的机筒温度、调制温度和膜孔直径分别是105—115℃、85—90℃(室温)和2 mm。所制备的饲料60℃烘干后储存于-20℃的冰箱中待用。

1.4 饲养管理

实验共10个处理, 每处理3个平行。实验期间,

表1 基础饲料配方和化学组成

Tab. 1 Formulation and chemical composition of the reference diet

原料 Ingredient	含量(%干物质) Content (% in dry matter)
鱼粉 Fishmeal	30.00
豆粕 Soybean meal	15.00
双低菜粕 Canola meal	15.00
面粉 Wheat flour	29.00
鱼油 Fish oil	2.50
豆油 Soybean oil	2.50
胆碱 Choline chloride	0.11
多维预混 Vitamin premix	0.39
多矿预混 Mineral premix	5.00
三氧化二铬 Cr ₂ O ₃	0.50
总计 Total	100.00
基本成分 Chemical composition	
水分 Moisture	16.27
蛋白 Protein	41.80
脂肪 Lipid	4.20

每天8: 30和16: 30投喂, 每次投喂1h至表观饱食, 吸除残饵。投喂1周后用虹吸法在饲喂6h后收集粪便, 吸取包膜完好的粪便颗粒, 收集的粪便样品分别放在30个称量盒中, 冷冻干燥机烘干, 研磨后放入-20℃冰箱中保存以备分析。

1.5 样品处理和分析

饲料和粪便样的生化参数的测定均参照AOAC^[6]的方法。干物质含量通过在105℃下烘烤至恒重测得。粗脂肪用索氏抽提仪(Soxtocsystem-HT6, Tecator, Haganas, Sweden)以乙醚为溶剂测定, Cr₂O₃采用酸消化比色法测定^[7]。氨基酸含量在酸水解后采用氨基酸自动分析仪(曼默博尔A300)测定。测定饲料干物质、蛋白质和能量表观消化率的计算公式为:

饲料干物质表观消化率(%)=(1-饲料中Cr₂O₃%/粪便中Cr₂O₃%)×100;

营养成分表观消化率(%)=[1-(饲料中Cr₂O₃%×粪便营养成分)/(粪便中Cr₂O₃%×饲料营养成分)]×100;

实验原料营养成分表观消化率计算公式为:

饲料原料营养成分表观消化率(%)=(实验饲料某营养成分的表观消化率-0.7×基础饲料某营养成分的表观消化率)/(1-0.7)×100。

1.6 数据分析与处理

采用SPSS22.0对所得数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 若差异显著(P<0.05)则对所有数据进行Duncan多重比较。

2 结果

本实验测定了黄颡鱼对2种制粒工艺下国产鱼粉、进口鱼粉、进口鸡肉粉和脱脂黄粉虫粉4种动物性蛋白原料的表观消化率。4种原料的营养水平和氨基酸组成如表 2和表 3所示。从图 1可知,在非膨化制粒工艺下,黄颡鱼对进口鸡肉粉的干物质表观消化率显著高于另外3种原料($P<0.05$);在膨化制粒工艺下,进口鸡肉粉的干物质表观消化率显著低于另外3种原料($P<0.05$)。在非膨化制粒工艺和膨化制粒工艺下国产鱼粉、进口鱼粉和黄粉虫粉的干物质表观消化率无显著性差异,但在非膨化制粒工艺下进口鸡肉粉的干物质表观消化率显著高于膨化制粒工艺($P<0.05$)。黄颡鱼对非膨化制粒工艺的黄粉虫粉蛋白消化率最低($P<0.05$),对于膨化制粒工艺、国产鱼粉和进口鱼粉的粗蛋白质消化率达94%以上,显著高于另外2种原料($P<0.05$),进口

表 2 蛋白质原料营养水平

Tab. 2 Nutrient levels of test protein ingredients (%)

指标 Index	国产鱼粉 Domestic fishmeal	进口鱼粉 Imported fishmeal	黄粉虫粉 Mealworm meal	进口鸡肉粉 Chick meal
蛋白 Protein	66.36	66.09	68.96	64.68
脂肪 Lipid	9.52	9.34	6.97	13.54
水分 Moisture	10.02	9.25	6.86	5.77

表 3 原料氨基酸含量

Tab. 3 Amino acid profile of the ingredients (g/100 g, in dry matter)

指标 Index	国产鱼粉 Domestic fishmeal	进口鱼粉 Imported fishmeal	黄粉虫粉 Mealworm meal	进口鸡肉粉 Chick meal
必需氨基酸Essential amino acids				
组氨酸 His	1.38	1.31	1.12	1.31
精氨酸 Arg	2.85	2.86	3.91	3.54
苏氨酸 Thr	2.15	2.24	2.16	2.11
缬氨酸 Val	2.27	2.43	2.68	2.36
蛋氨酸 Met	1.38	1.25	1.03	1.02
苯丙氨酸 Phe	1.88	2.19	1.99	2.05
异亮氨酸 Ile	2.14	2.20	1.81	1.93
亮氨酸 Leu	3.78	3.97	4.46	3.76
赖氨酸 Lys	3.62	3.85	3.75	3.19
非必需氨基酸Non-essential amino acids				
天冬氨酸 Asp	7.58	7.86	6.58	7.25
谷氨酸 Glu	6.62	6.98	7.96	7.31
丝氨酸 Ser	1.85	2.04	2.88	2.29
甘氨酸 Gly	3.66	3.18	4.38	4.95
酪氨酸 Tyr	1.61	1.65	1.73	1.53
丙氨酸 Ala	3.43	3.30	3.04	3.34
脯氨酸 Pro	2.20	2.09	3.58	3.12

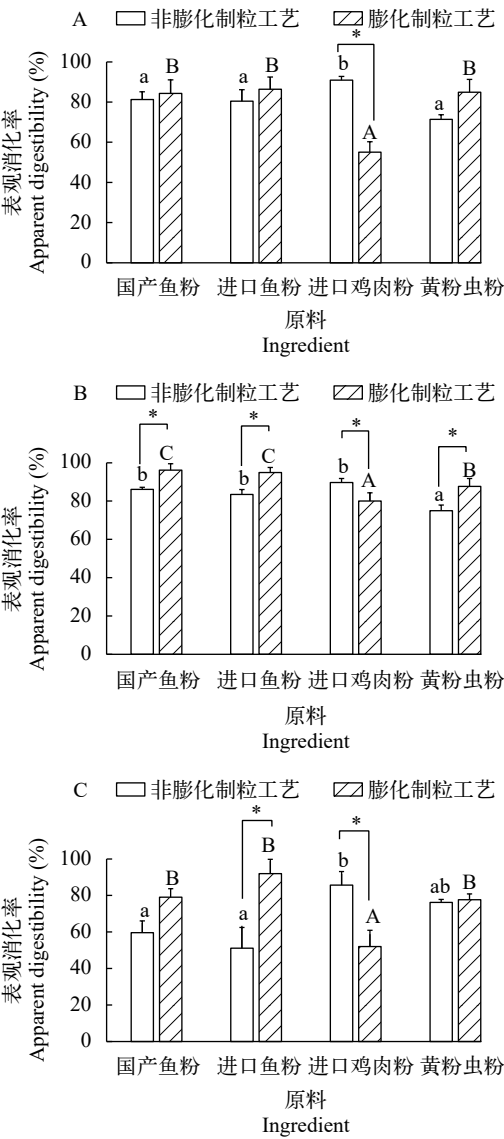


图 1 黄颡鱼对不同制粒工艺4种蛋白质原料中干物质(A), 蛋白(B)和粗脂肪(C)表观消化率(%)

Fig. 1 Apparent digestibility of dry matter (A) and crude protein (B) and crude lipid (C) in four protein ingredients of yellow catfish (%)

不同处理柱图标注不同字母表示不同原料差异显著($P<0.05$); “*”表示不同加工工艺差异显著($P<0.05$)

Bars with different capital letters mean significant difference among groups ($P<0.05$). Bars with * mean significant difference between pelleting and extrusion processing ($P<0.05$)

鸡肉粉的粗蛋白消化率最低($P<0.05$)。对于国产鱼粉、进口鱼粉和黄粉虫粉而言,非膨化制粒工艺的蛋白消化率显著低于膨化制粒工艺($P<0.05$),而鸡肉粉则相反。黄颡鱼对非膨化制粒工艺的进口鸡肉粉脂肪表观消化率显著高于国产鱼粉和进口鱼粉($P<0.05$),但膨化制粒工艺的进口鸡肉粉的脂肪表观消化率显著低于其他原料($P<0.05$)。膨化加工

工艺进口鱼粉的脂肪表观消化率显著高于非膨化加工工艺($P<0.05$), 而膨化加工工艺的黄粉虫脂肪表观消化率显著低于非膨化加工工艺($P<0.05$)。

由表4可知, 在不同制粒工艺条件下4种原料中的赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、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: 非膨化制粒工艺的国产鱼粉赖氨酸的表观消化率(93.05%)最高($P<0.05$); 膨化制粒工艺的进口鱼粉(95.06%)和进口鸡肉粉(95.15%)赖氨酸的表观消化率最高, 国产鱼粉次之, 黄粉虫粉的最低($P<0.05$); 非膨化制粒工艺的黄粉虫粉(87.05%)的赖氨酸表观消化率显著高于膨化制粒工艺(64.15%, $P<0.05$)。

精氨酸的表观消化率: 不同处理的精氨酸表观消化率均在80%以上, 对于非膨化加工工艺国产鱼粉的精氨酸表观消化率显著高于另外3种蛋白原料($P<0.05$), 而膨化加工工艺4种蛋白原料的精氨酸表观消化率没有显著性差异。膨化加工工艺的进口

鱼粉和黄粉虫粉的精氨酸表观消化率显著高于非膨化加工工艺($P<0.05$)。

膨化制粒工艺的进口鱼粉亮氨酸(92.32%)和缬氨酸(96.32%)表观消化率较高; 膨化制粒工艺的进口鱼粉(96.83%)、鸡肉粉(95.09%)和黄粉虫粉(93.13%)苏氨酸的表观消化率较高; 苯丙氨酸和异亮氨酸非膨化制粒工艺的国产鱼粉和膨化制粒工艺的进口鱼粉和鸡肉粉的表观消化率均在90%以上。各处理组组氨酸的表观消化率没有显著性差异。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、酪氨酸和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

水产动物对饲料的表观消化率受到如指示剂种类、收集粪便的方法、实验动物生长阶段及实验环境等因素影响^[8]。采用解剖法或挤压法收集粪便会干扰实验动物的生理活动, 具有一定的弊端^[9], 因此本实验采用虹吸法收集黄颡鱼粪便。实验所

表4 黄颡鱼对不同制粒工艺4种蛋白质原料中氨基酸的表观消化率

Tab. 4 Apparent digestibility of amino acids in four protein ingredients for yellow catfish (%)

原料 Ingredient	非膨化 Pelleting processing				膨化 Extrusion processing			
	国产鱼粉 Domestic fishmeal	进口鱼粉 Imported fishmeal	进口鸡肉粉 Chick meal	黄粉虫粉 Mealworm meal	国产鱼粉 Domestic fishmeal	进口鱼粉 Imported fishmeal	进口鸡肉粉 Chick meal	黄粉虫粉 Mealworm meal
必需氨基酸 Essential amino acids								
组氨酸 His	91.43±3.98	87.19±1.30	88.90±0.02	80.88±3.22	85.66±1.18	83.29±1.05	94.48±0.48	95.44±0.44
精氨酸 Arg	92.47±1.61 ^{bc}	86.34±0.66 ^a	90.10±0.34 ^{abc}	83.8±2.78 ^a	89.32±0.59 ^{abc}	91.86±1.25 ^{bc}	93.71±1.61 ^c	91.37±1.37 ^{bc}
苏氨酸 Thr	86.10±3.13 ^{ab}	78.71±8.67 ^{ab}	90.96±1.27 ^{ab}	73.50±6.00 ^a	77.55±5.47 ^{ab}	96.83±1.16 ^b	95.09±0.09 ^b	93.13±0.13 ^b
缬氨酸 Val	62.76±3.66 ^a	84.76±2.41 ^{bc}	84.80±0.81 ^{bc}	80.42±3.54 ^b	82.49±3.68 ^b	96.32±2.60 ^d	93.42±0.41 ^{cd}	93.66±2.69 ^{cd}
蛋氨酸 Met	57.48±0.13 ^{ab}	53.06±2.40 ^{ab}	47.09±1.45 ^a	44.83±3.12 ^a	87.91±2.68 ^b	87.23±0.23 ^b	95.35±0.34 ^b	89.04±0.03 ^b
苯丙氨酸 Phe	96.17±1.35 ^c	87.74±4.96 ^{ab}	83.98±1.64 ^{ab}	86.80±5.41 ^{ab}	81.25±7.69 ^b	93.26±0.26 ^{bc}	92.34±0.34 ^{bc}	58.02±0.02 ^a
异亮氨酸 Ile	97.23±2.02 ^c	86.16±3.54 ^{ab}	85.71±2.39 ^{ab}	81.40±3.59 ^a	85.33±1.51 ^{ab}	94.49±5.41 ^{bc}	94.09±0.09 ^{bc}	94.01±1.80 ^{bc}
亮氨酸 Leu	63.61±4.05 ^a	85.42±3.25 ^{bc}	85.51±1.67 ^{bc}	76.56±6.19 ^{ab}	84.45±3.38 ^{bc}	92.32±0.32 ^c	87.50±0.50 ^{bc}	89.50±0.50 ^{bc}
赖氨酸 Lys	93.05±0.22 ^{cd}	91.31±3.22 ^{bcd}	88.65±2.00 ^{bcd}	87.05±1.99 ^{bc}	85.02±2.86 ^b	95.06±2.45 ^d	95.15±0.15 ^d	64.15±0.15 ^a
非必需氨基酸 Non-essential amino acids								
天冬氨酸 Asp	73.23±1.61 ^a	86.00±2.67 ^{abc}	82.22±1.61 ^{abc}	83.33±4.44 ^{abc}	79.78±8.09 ^{ab}	88.68±4.06 ^{bc}	93.36±1.36 ^c	93.54±3.54 ^c
谷氨酸 Glu	93.1±0.92 ^{ab}	90.47±3.8 ^{ab}	93.54±5.31 ^{ab}	83.90±2.14 ^a	96.31±2.74 ^{ab}	99.31±6.27 ^b	96.84±2.31 ^{ab}	96.58±6.8 ^{ab}
丝氨酸 Ser	87.32±2.36 ^{ab}	73.97±8.99 ^a	86.10±0.83 ^{ab}	75.63±4.89 ^a	80.46±4.33 ^{ab}	95.33±0.33 ^b	95.01±0.01 ^b	96.08±3.47 ^b
甘氨酸 Gly	95.41±0.41	88.02±5.15	92.78±1.75	90.70±0.63	88.14±0.73	95.65±1.30	96.16±0.16	95.00±2.00
酪氨酸 Tyr	68.01±5.51 ^{ab}	69.85±10.63 ^{ab}	77.34±6.28 ^{bc}	84.06±0.06 ^{bc}	83.6±3.32 ^{bc}	89.03±0.09 ^c	78.50±0.50 ^{bc}	55.57±1.34 ^{bc}
丙氨酸 Ala	96.39±0.80 ^b	91.10±4.61 ^{ab}	90.94±0.30 ^{ab}	89.38±3.00 ^{ab}	81.53±7.99 ^a	97.97±1.40 ^b	94.31±4.31 ^{ab}	93.00±1.00 ^{ab}
半胱氨酸 Cys	91.66±0.06 ^b	93.14±0.14 ^b	94.07±0.67 ^b	91.47±0.47 ^b	63.01±6.59 ^a	89.50±0.50 ^b	93.15±0.15 ^b	67.00±1.00 ^a
脯氨酸 Pro	74.76±1.97 ^{ab}	86.20±3.00 ^{bc}	77.02±2.65 ^{ab}	87.01±5.96 ^{bc}	84.79±5.37 ^{bc}	67.55±0.45 ^a	95.85±3.01 ^c	77.97±8.23 ^{ab}

注: 表中数据为3个重复的平均值; 同一行右上角含有相同英文上标字母或无上标表示无显著差异($P \geq 0.05$)

Note: Data are means of triplicates. Means in each bar sharing the same superscript letter or absence of superscripts are not significantly different determined by Duncan's test ($P \geq 0.05$), the same applies below

用指示剂 Cr_2O_3 以及消化率计算方法也为国内外水产营养学普遍采用,其可靠性已被证实^[10,11]。本实验采用非膨化和膨化加工工艺两种方法探究黄颡鱼对四种动物型蛋白原料的消化率,饲料配方采用“70%基础饲料+30%待测原料”的方法,不仅保证了饲料营养成分的均衡,还能充分供给黄颡鱼正常生长所需的各种营养素养^[5],确保消化吸收率的客观性和准确性。

3.1 鱼粉表观消化率

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^[12],这一结果在凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[13]、中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)^[14]、中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)^[15]、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[16]、石斑鱼(*Epinephelus coioides*)^[17]和罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[8]上已得到了证实。本实验采用选取了国产鱼粉和进口鱼粉,采用膨化和非膨化两种制粒工艺进行加工,结果表明膨化制粒工艺的国产鱼粉和进口鱼粉的干物质(84.29%和86.38%)、蛋白(96.15%和94.84%)和脂肪(79.02%和91.98%)表观消化率均较高。膨化制粒工艺的国产鱼粉和进口鱼粉的氨基酸消化率分别为77.55%—89.32%和83.29%—96.83%,而非膨化制粒工艺的国产鱼粉(57.48%—97.23%)和进口鱼粉(53.06%—91.31%)氨基酸表观消化率变化较大。我国是世界最大的鱼粉消费国和进口国,不同地方生产的鱼粉质量和营养组成存在较大的差异,本实验采用的国产鱼粉和进口鱼粉的蛋白含量(66.36%和66.09%)和脂肪含量(9.52%和9.34%)相近,干物质、蛋白表观消化率也无显著性的差异,说明国产鱼粉的质量在提高,和进口鱼粉的差距在缩小。

3.2 鸡肉粉表观消化率

鸡肉粉的营养价值随原料来源的不同差异较大,有学者通过对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为56%—74%、10%—19%和11%—23%,而粗蛋白质的表观消化率为64%—78%^[18]。本实验中的进口鸡肉粉的粗蛋白和粗脂肪的含量分别为64.68%和13.54%,非膨化制粒工艺的鸡肉粉干物质(90.87%)、蛋白(89.66%)和脂肪(85.64%)表观消化率高达85%以上,但采用膨化方式鸡肉粉的干物质和脂肪表观消化率较低。膨化饲料的品质不仅受原料的物理特性和原料各组分的影响,同时还受到不同膨化工艺的影响。有研究发现当鸡肉粉质量分数为30%时,膨化加工机筒温度适宜温度为

155℃,机筒温度较低时,原料糊化不完全,产品中存在较多大气泡,从而造成饲料品质较差,影响消化率^[19]。本实验在膨化加工过程中,机筒温度为105—115℃,这就造成了膨化加工工艺下鸡肉粉消化率降低。在麦鲢鱼(*Cirrhinus mrigaca*)的研究中鸡肉粉的脂肪消化率高达80%^[20],在一般情况下,鱼类可以高效利用脂肪^[21]。饲料中粗脂肪的利用率受脂肪酸链的长度、不饱和程度以及饲料中其他成分等因素的影响^[16]。非膨化制粒工艺的鸡肉粉除蛋氨酸表观消化率较低(47.09%),其他必需氨基酸的表观消化率均在80%以上,而膨化制粒工艺除了亮氨酸的表观消化率为87.50%,其他必需氨基酸的表观消化率均在90%以上。

3.3 黄粉虫表观消化率

昆虫的粗蛋白含量极高,达50%—70%。且纤维含量少,是优质的蛋白饲料资源^[22]。在本实验中,黄粉虫粉的蛋白含量高达68.96%,黄颡鱼对黄粉虫粉非膨化制粒工艺和膨化制粒工艺的干物质消化率分别为71.39%和84.93%,蛋白消化率分别为75.00%和87.68%,两种制粒工艺的脂肪表观消化率分别为76.20%和77.66%。与本实验结果相似,在黄颡鱼对蝇蛆粉消化率的研究中发现,黄颡鱼对蝇蛆粉干物质、蛋白和脂肪的表观消化率分别80.35%、91.08%和71.59%^[23]。黄颡鱼对黄粉虫粉的大部分氨基酸消化率比鱼粉和进口鸡肉粉低。在研究黄粉虫粉对凡纳滨对虾的消化性能影响的研究中发现干物质的表观消化率为45.9%,粗蛋白的表观消化率为76.1%,必需氨基酸的表观消化率为72%—86%,并且在黄粉虫粉中蛋氨酸为第一限制性氨基酸^[24]。

膨化饲料在经过膨化挤压的过程中,原料成分会发生化学和物理变化,从而影响其消化率。膨化的瞬时高温、高压和强度很大的机械剪切力作用使部分蛋白质的属性发生改变,适度的蛋白质变性,可提高其消化率,如植物蛋白的消化率,但是过度膨化也会因为赖氨酸与糖发生美拉德反应(Maillard reaction)而降低蛋白质的消化率^[25]。同时有学者研究发现膨化过程的高温高压作用会钝化饲料的抗营养因子,在一定程度上提高动物对饲料中蛋白质的消化率^[26]。这与本研究中黄颡鱼对国产鱼粉,进口鱼粉和黄粉虫粉的膨化加工工艺较非膨化加工工艺有高的蛋白和氨基酸消化率的结果一致。

综上所述,在非膨化制粒工艺下,黄颡鱼对国产鱼粉、进口鱼粉和鸡肉粉的表观消化率较好,黄粉虫粉的稍差;在膨化制粒工艺下,国产鱼粉、进

口鱼粉和黄粉虫粉的干物质和脂肪表观消化率较高,进口鸡肉粉的较差,但是国产鱼粉、进口鱼粉和进口鸡肉粉的氨基酸表观消化率均较高。总体来说,膨化饲料比非膨化饲料表观消化率较高。

参考文献:

- [1] Wang W J, Chi S Y, Tan B P, *et al.* Apparent digestibility of nutrients in thirteen animal feed ingredient for white shrimp *Litopenaeus vannamei* [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, **24**(12): 2402-2414. [王文娟, 迟淑艳, 谭北平, 等. 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 [J]. 动物营养学报, 2012, **24**(12): 2402-2414.]
- [2] Li A J. Nutrition and Feed of Aquatic Animals [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996: 118. [李爱杰. 水产动物营养与饲料学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 118.]
- [3] Li Q W. Analysis of the processing technology for expanded aquafeed [J]. *Cereal and Feed Industry*, 2001(8): 18-19. [李启武. 对水产膨化饲料加工工艺的分析 [J]. 粮食与饲料工业, 2001(8): 18-19.]
- [4] Cao P Y, Hao Y J, Yang Z C. Tests on rearing the chinese soft-shelled turtle *Pelodiscus sinensis* with expanded feeds [J]. *Reservoir Fisheries*, 2002, **22**(2): 10-12. [曹培彦, 郝玉江, 杨振才. 膨化饲料养殖中华鳖试验研究 [J]. 水利渔业, 2002, **22**(2): 10-12.]
- [5] Cho C Y, Slinger S J. Apparent Digestibility Measurement in Feedstuff for Rainbow Trout [M]//Halver J E, Tiews K (Eds.), *Finfish Nutrition and Fish Feed Technology Vol. II*. Berlin: H. Heenemann GmbH and Co., 1979: 239—248.
- [6] AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA, 2003.
- [7] Liu X H, Kong J H, Zhou Y, *et al.* Study of the digestibility in vitro and enzymolysis kinetics of digestive enzyme to four protein feedstuffs for *Penaues vannamei* [J]. *Feed Industry*, 2009, **30**(24): 27-30. [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.]
- [8] Dong X H, Guo Y X, Ye J D, *et al.* Research on apparent digestibility of ten ingredients for juvenile GIFT Strain of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2009, **21**(3): 326-334. [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.]
- [9] Lee G P, Lawrence A. Digestibility. Abramo L D, Conklin D, Akiyama D (Eds.), *Crustacean Nutrition Advances in World Aquaculture [C]*. Vol. VI. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA, 1997: 194—260.
- [10] Smith D M, Tabrett S J. Accurate measurement of *in vivo* digestibility of shrimp feeds [J]. *Aquaculture*, 2004, **232**(1-4): 1-580.
- [11] Chen J M, Ye J Y, Shen B Q, *et al.* Apparent digestibility of eleven protein ingredients by fingerlings of *Hemibarbus maculatus* (Bleeker) [J]. *Journal of Hydroecology*, 2009, **2**(3): 65-68. [陈建明, 叶金云, 沈斌乾, 等. 花鱼骨鱼种对 11 种蛋白质饲料原料的消化率 [J]. 水生生态学杂志, 2009, **2**(3): 65-68.]
- [12] Hu Y, Liu Y L, Tian Q Q, *et al.* Effects of fish meal levels on growth and immunity of black carp (*Mylopharyngodon piceus*) in different culture densities [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, **44**(1): 75-84. [胡毅, 刘艳莉, 田芊芊, 等. 不同养殖密度下鱼粉水平对青鱼幼鱼生长及免疫的影响 [J]. 水生生物学报, 2000, **44**(1): 75-84.]
- [13] Yang Q, Zhou X, Zhou Q, *et al.* Apparent digestibility of selected feed ingredients for white shrimp *Litopenaeus vannamei*, Boone [J]. *Aquaculture Research*, 2010, **41**(1): 78-86.
- [14] Rong C K, Liang S X, Yue B Y. Protein and amino acid digestibility of sixteen feed ingredients for *Penaues orientalis* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1994, **18**(2): 131-137. [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.]
- [15] Zhang L, Chen L Q, Hong M L, *et al.* Apparent digestibility of crude protein and amino acids of 11 feed ingredients for *Eriocheir sinensis* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2007, **31**(B09): 116-121. [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**(B09): 116-121.]
- [16] 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**(1-4): 1-451.
- [17] 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**(2): 134-142.
- [18] Dong F M, Hardy R W, Haard N F, *et al.* Chemical composition and protein digestibility of poultry by-product meals for salmonid diets [J]. *Aquaculture*, 1993, **116**(2—3): 1-158.
- [19] Yang Z, Gong H, Liu M, *et al.* Effect of barrel temperature and chicken powder addition on the quality of extruded products [J]. *Food Science*, 2019, **40**(7): 128-134. [杨震, 贡慧, 刘梦, 等. 机筒温度、鸡肉粉质量分数对挤压膨化产品品质的影响 [J]. 食品科学, 2019, **40**(7): 128-134.]
- [20] Fang J G, Liang X F, Liu L W, *et al.* Comparative research on apparent digestibility of twelve ingredients for juvenile *Cirrhinus mrigala* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, **40**(6): 1178-1186. [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.]
- [21] Wu K J, Yong W Y. Nutritional value of proteins in 13 feed ingredients for *Oreochromis niloticus* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2000, **7**(2): 37-42. [吴建开, 雍

- 文岳. 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.]
- [22] Li Y X, Liu Y S. A new feed protein from insects suddenly coming to the fore [J]. *Feed Research*, 2001(7): 14-16. [李玉霞, 刘玉升. 异军突起的昆虫源动物饲料蛋白[J]. 饲料研究, 2001(7): 14-16.]
- [23] Wen Y H, Cao J M, Huang Y H, *et al.* Research of apparent digestibility of maggot meal for yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. *Feed Industry*, 2012, 33(14): 23-26. [文远红, 曹俊明, 黄燕华, 等. 黄颡鱼对蝇蛆粉的表观消化率的研究[J]. 饲料工业, 2012, 33(14): 23-26.]
- [24] Panini R L, Freitas L E L, Guimarães A M, *et al.* Effects of mealworm meal substitute protein feed on the digestibility of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) [J]. *Aquaculture*, 2017(473): 115-120.
- [25] Cheng Z J, Hardy R W. Effects of extrusion and expelling processing, and microbial phytase supplementation on apparent digestibility coefficients of nutrients in full-fat soybeans for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 2003, 218(1-4): 1-514.
- [26] Rao Y C. Feed Granulation Technology and Equipment [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1993: 167. [饶应昌. 饲料制粒工艺与设备 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1993: 167.]

APPARENT DIGESTIBILITY OF NUTRIENTS IN FOUR ANIMAL PROTEIN INGREDIENTS WITH DIFFERENT PROCESSING TECHNOLOGY FOR YELLOW CATFISH (*PELTEOBAGRUS FULVIDRACO*)

LIU Cui^{1,2}, ZHOU Jian-Cheng³, LIU Hao-Kun¹, HAN Dong^{1,4}, JIN Jun-Yan¹,
YANG Yun-Xia¹, ZHU Xiao-Ming^{1,4} and XIE Shou-Qi^{1,4}

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Wuhan DBN Aquaculture Technology Co. LTD, Wuhan 430090, China; 4. Hubei Engineering Research Center for Aquatic Animal Nutrition and Feed, Wuhan 430072, China)

Abstract: In order to evaluate the digestibility of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) to different protein ingredients with different processing, the test diets were consisted of 70% basal diet and 30% test ingredients, including domestic and imported fish meal, chick meal and mealworm meal, and chromium sesquioxide (Cr_2O_3) was used the indicator to determine the apparent digestibility of dry matter, crude protein, crude lipid and amino acids. The yellow catfish with an average body weight of (28.68 ± 0.49) g was randomly divided into 10 groups with 3 replicates per group and 12 fish per replicate. The results using pelleting processed diet showed that the apparent digestibility of dry matter in domestic fish meal was higher than that of the other three ingredients ($P < 0.05$) and the apparent digestibility of protein in mealworm meal was the lowest ($P < 0.05$), and the apparent digestibility of crude lipid in chick meal was significantly higher than domestic and imported fish meal ($P < 0.05$). The results using extrusion processed diet indicated that the apparent digestibility of dry matter in chick meal was significantly lower than that of the other three ingredients ($P < 0.05$), and the apparent digestibility of protein in domestic and imported fish meal was 94%, and the apparent digestibility of crude lipid in chick meal was also significantly lower than that of the other three ingredients ($P < 0.05$). Different processing technology did not impact the apparent digestibility of dry matter using domestic and imported fish meal and mealworm meal in yellow catfish, however, compared to extrusion processing, pelleting processing significantly increased the apparent digestibility of dry matter in chick meal ($P < 0.05$). The apparent digestibility of protein in domestic and imported fish meal and mealworm meal with pelleting processing was lower than extrusion processing ($P < 0.05$), however, chick meal was the opposite. Compared with pelleting processing, the apparent digestibility of crude lipid in imported fish meal was higher with extrusion processing ($P < 0.05$), while for mealworm meal, it was lower with extrusion processing ($P < 0.05$). The apparent digestibility of amino acids is positively correlated with apparent digestibility of crude protein for feed ingredients. In conclusion, different sources and qualities of fish meal lead to different apparent digestibility of nutrients. The domestic and imported fish meal was the best protein source for yellow catfish, and chick meal and mealworm meal were also high-quality protein source for yellow catfish.

Key words: Yellow catfish; Animal protein ingredients; Pelleting processing; Extrusion processing; Apparent digestibility coefficients