

## 大黄鱼对几种饲料蛋白原料消化率的研究

李会涛 麦康森 艾庆辉 张璐 张春晓 张文兵 刘付志国

(中国海洋大学教育部海水养殖重点实验室, 青岛 266003)

**摘要:**以白鱼粉为主要蛋白源制成参考饲料,以0.1%的 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 为外源性指示剂,按参考饲料和实验原料70%:30%的比例配制成实验饲料,测定了大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)对白鱼粉、红鱼粉、肉骨粉、豆粕、花生粕、菜籽粕和棉籽粕的表观消化率。实验大黄鱼(平均初始体重 $15.0 \pm 1.6\text{g}$ )养殖于海水浮式网箱(1.5 m × 1.5 m × 2.0 m)中,分别以各实验饲料投喂实验鱼5周,然后采用挤压法收集粪便。实验结果表明各原料表观干物质消化率在43.6%至70.0%之间,能量消化率在42.9%到82.6%的范围内。实验原料的蛋白质表观消化率在70.7%到92.4%之间,其中白鱼粉和红鱼粉的蛋白消化率最高(分别为92.4%和89.3%),而棉籽粕则最低(70.7%)。脂肪的表观消化率在61.3%到90.5%之间,其中棉籽粕最低(61.3%)。磷的表观消化率相对较低,仅白鱼粉和红鱼粉在53.2%以上,其余皆低于37.5%。总之,大黄鱼对这几种原料的表观消化率存在较大差异,但蛋白消化率均较高,因此,可作为大黄鱼的饲料蛋白源在实际饲料配制中使用。

**关键词:**大黄鱼;表观消化率;饲料原料

**中图分类号:**S963

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-3207(2007)03-0370-07

消化率(Digestibility)是指被动物消化道吸收的能量或营养物质占摄入食物总量的百分比。它反映了鱼类对饲料营养物质的吸收状况,有关饲料原料消化率的研究是鱼类营养生理学研究的重要内容。在养殖生产上,饲料原料消化率是评定饲料原料营养价值的重要指标<sup>[1-3]</sup>,是配制高效人工饲料的基础,可用于控制原料在饲料中的比例,从而起到提高饲料营养价值、降低饲料成本的目的。

近年来,随着鱼粉价格的不断上升,利用廉价蛋白原料源替代鱼粉已经成为当前鱼类营养学研究的热点之一<sup>[4-7]</sup>。因此研究鱼类对这些替代蛋白源的消化率就成为亟待解决的重要问题。现在已知在水产饲料中应用较多的主要有以下几种原料:红鱼粉、肉骨粉、豆粕、花生粕、菜籽粕以及棉籽粕等,许多养殖生物对这几种原料的消化率都已经有了相关报道<sup>[8-12]</sup>。

大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)属石首鱼科,黄鱼属,也称黄鱼、大黄花、大鲜,主要分布在我国黄海南部、东海、台湾海峡以及南海北部,由于肉质鲜美,因而深受人们喜爱。有关大黄鱼营养生理学及人工配

合饲料的开发已经有了初步研究<sup>[13]</sup>。但是,有关大黄鱼对饲料原料消化率的研究迄今为止尚未见报道。本实验就是以大黄鱼为研究对象,测定其对7种饲料原料(白鱼粉、红鱼粉、肉骨粉、豆粕、花生粕、菜籽粕和棉籽粕)干物质、蛋白质、脂肪、能量以及磷的表观消化率,以期为大黄鱼饲料原料营养价值的评定及合理设计高效的大黄鱼饲料配方提供理论依据。

### 1 材料与方法

**1.1 实验鱼来源及驯化** 大黄鱼选用当年人工孵化的同一批鱼苗,初始体重为 $15.0 \pm 1.6\text{g}$ 。正式实验前,实验鱼暂养于海水浮式网箱(1.5 m × 1.5 m × 2.0 m)中,以基础实验饲料饱食投喂,使鱼苗逐渐适应实验饲料。经过15d的驯化喂养后,挑选出体格健壮、规格一致的大黄鱼进行分组实验。

**1.2 实验饲料的设计与配制** 依据已有的实验结果<sup>[13]</sup>,配制一种适宜大黄鱼生长的参考饲料(其配方及营养成分见表1),以测定大黄鱼对白鱼粉、红鱼粉、肉骨粉、豆粕、花生粕、菜籽粕和棉籽粕的表观

收稿日期:2005-07-20;修订日期:2006-12-05

基金项目:国家十五科技攻关项目(2001BA505B06,2004BA526B06);863计划(2004AA603610)资助

作者简介:李会涛(1979—),男,主要从事鱼类营养生理研究。E-mail:figurelee@163.com

通讯作者:麦康森,E-mail:kmai@ouc.edu.cn

消化率(饲料原料营养成分见表2)。实验饲料由参考饲料和测试原料按70%:30%的比例配制而成,并添加0.1%的 $Cr_2O_3$ 为外源指示剂。配制实验饲料时,所有原料粉碎粒度均过60目筛网,用F(II)-26双螺杆制粒机(华南理工大学,中国广州)加工制成硬颗粒饲料(2.5mm×8.0mm),60℃烘干后,保存于-15℃冰柜中备用。

表1 参考饲料配方及其化学组成(%干重)

Tab.1 Formulation and chemical proximate composition of reference diet (% dry weight)

原料 Ingredients	含量% Dry weight
白鱼粉 White fish meal	52.0
大豆粉 Soybean meal	11.0
酵母粉 Yeast meal	3.0
鱼油 Fish oil	3.0
大豆油 Soybean oil	3.0
小麦粉 Wheat meal	20.55
诱食剂 Attractant	0.3
防腐剂 Meld inhibitor <sup>1</sup>	0.1
抗氧化剂 Ethoxyquin	0.05
无机盐混合物 Mineral premix <sup>2</sup>	2.0
维生素混合物 Vitamin premix <sup>3</sup>	2.0
氯化胆碱 Choline	0.5
大豆磷脂 Lecithin	2.5
化学组成(%) Chemical composition (%)	
粗蛋白质 Crude protein	44.3
粗脂肪 Crude lipid	11.3
粗灰分 Crude ash	11.7
粗纤维 Crude fiber	1.5
水分 Moisture	7.3

<sup>1</sup> 50%丙酸钙和50%富马酸

<sup>2</sup> 无机盐配方(mg or g/kg diet):氯化钠,2mg;碘化钾,0.8mg;氯化钴(1%),50mg;硫酸铜,10mg;硫酸铁,80mg;硫酸锌,50mg;硫酸锰,60mg;硫酸镁,1200mg;磷酸二氢钙,3000mg;氯化钠,100mg;沸石粉,15.45g

<sup>3</sup> 维生素配方(mg or g/kg diet):维生素B<sub>1</sub>,25mg;核黄素,45mg;维生素B<sub>6</sub>(盐酸吡哆醇),20mg;维生素B<sub>12</sub>,0.1mg;维生素K<sub>3</sub>,10mg;肌醇,800mg;维生素B<sub>3</sub>(泛酸),60mg;烟酸,200mg;叶酸,20mg;生物素1.20mg;维生素A,32mg;维生素D<sub>3</sub>,5mg;维生素E,120mg;维生素C,2000mg;乙氧基喹啉,150mg;次粉,16.51g

<sup>4</sup> 50% calcium propionic acid and 50% fumaric acid

<sup>2</sup> Mineral premix (mg or g/kg diet): NaF, 2mg; KI, 0.8mg; CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O (1%), 50mg; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 10mg; FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 80mg; ZnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 50mg; MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 60mg; MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 1200mg; Ca (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O, 3000mg; NaCl, 100mg; Zeolite, 15.45g

<sup>3</sup> Vitamin premix (mg or g/kg diet): thiamin, 25mg; riboflavin, 45mg; pyridoxine HCl, 20mg; vitamin B<sub>12</sub>, 0.1mg; vitamin K<sub>3</sub>, 10mg; inositol, 800mg; pantothenic acid, 60mg; niacin acid, 200mg; folic acid, 20mg, biotin, 1.20mg; retinol acetate, 32mg; cholecalciferol, 5mg; alpha-tocopherol, 120mg; ascorbic acid, 2000mg; ethoxyquin 150mg, wheat middling 16.51g

表2 实验饲料几种原料营养成分组成(%)

Tab.2 Proximate chemical composition of experimental feed ingredients

原料 Ingredients%	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	粗灰分 Ash	水分 Moisture
白鱼粉 WFM <sup>1)</sup>	68.9	10.1	17.3	4.6
红鱼粉 BFM	61.0	8.7	21.3	5.8
肉骨粉 MBM	42.3	8.9	38.7	4.4
豆粕 SBM	46.4	2.0	6.3	7.6
花生粕 PNM	51.9	1.9	6.4	9.0
菜籽粕 GSM	38.5	3.1	12.6	7.0
棉籽粕 CSM	40.3	2.5	5.9	7.3

<sup>1)</sup> 原料来源:白鱼粉:斥山水产公司;红鱼粉:斥山水产公司;肉骨粉:市售商品原料;豆粕:益海(烟台)粮油工业有限公司;花生粕:青岛长生花生油有限公司;菜籽粕:安徽蚌埠花园植物油厂;棉籽粕:高青油棉有限责任公司

<sup>1)</sup> WFM: white fishmeal, obtained from Cishan Fisheries (Shandong, China); BFM: brown fishmeal, obtained from Cishan Fisheries (Shandong, China); MBM: meat and bone meal, obtained from local market; SBM: soybean meal, obtained from Yihai Oil Co., LTD. (Shandong, China); PNM: peanut meal, obtained from Qingdao Changsheng Peanut Oil Co., LTD (Shandong, China); GSM: rapeseed meal, obtained from Bengbu Huayuan Oil Co., LTD (Anhui, China); CSM: cottonseed meal, obtained from Gaoqing Oil Co., LTD (Shandong, China)

1.3 实验过程 养殖实验在海水浮式网箱(1.5m×1.5m×2.0m)中进行,溶氧为7.0mg/L左右,盐度为22.5‰—28‰,水温在23.5—28.5℃之间,每个网箱中放养100尾实验鱼,每个处理3个重复。每天投喂2次(07:00,17:00),达到饱食状态。投喂5周后,采用挤压法收集粪便样品。每次收集粪便之间的时间间隔为5d,以使大黄鱼恢复正常的生理状态。

1.4 样品采集 粪便的收集采用挤压法。在饱食投喂大黄鱼后,分别在不同时间(第2、3、4、5和6h)段对粪便进行收集,结果发现大黄鱼在投喂饲料5h左右开始大量排出粪便,因此,粪便的收集时间为摄食后的第5h。实验鱼用丁香酚(1:10000,上海试剂厂,中国上海)麻醉,擦干并置于解剖盘中,轻轻挤压鱼体腹侧,尽可能排除尿液和生殖产物,然后在肛门前3cm处轻轻挤压其两侧,收集粪便。粪使用滤纸直接吸干,自然阴干后转移至称量瓶并保存于-20℃冰箱中待测。

1.5 样品分析和消化率的计算 饲料、各原料及粪便样品均在105℃烘干至恒重后,求得干物质含量,然后进行生化测定。采用凯氏定氮法测定样品的总氮含量,将测定结果乘以6.25即得粗蛋白含量;采

用索氏抽提法,以乙醚为抽提剂测定脂肪含量;将样品在电炉上炭化后,在马福炉中灼烧(550℃)8h后测得样品灰分含量<sup>[14]</sup>;样品中的铬(Cr)、磷(P)的含量用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES; VISTA-MPX, VARIAN, USA)测定。

基础饲料和实验饲料干物质、各种营养成分(蛋白质、脂肪、磷)及能量的表观消化率计算公式为:

饲料干物质表观消化率 =  $(1 - \text{饲料中Cr}_2\text{O}_3\% / \text{粪便中Cr}_2\text{O}_3\%) \times 100$

营养成分及能量表观消化率 =  $[1 - (\text{饲料中Cr}_2\text{O}_3\% \times \text{粪便营养成分}) / (\text{粪便中Cr}_2\text{O}_3\% \times \text{饲料营养成分})] \times 100$

饲料原料干物质、营养成分的表观消化率 =  $(\text{实验饲料某营养成分的表观消化率} - 0.7 \times \text{基础饲料某营养成分的表观消化率}) / 30 \times 100$ <sup>[15]</sup>

表3 大黄鱼对7种饲料原料干物质、蛋白质、脂肪、磷以及能量的表观消化率(平均数±标准误)

Tab. 3 Apparent digestibility coefficients (%) for dry matter, crude protein, crude lipid, gross energy and phosphorus of practical feedstuffs determined for large yellow croaker (Means ± S.E.)<sup>1</sup>

原料 Ingredient <sup>3</sup>	表观消化率(ADC <sup>2</sup> %)				
	干物质(Dry matter)	蛋白质(Crude protein)	脂肪(Crude lipid)	磷(Phosphorus)	能量(Gross energy)
基础白鱼粉(WFM)	70.0 <sup>a</sup> ± 0.8	92.4 <sup>a</sup> ± 0.1	90.5 <sup>a</sup> ± 0.1	60.3 <sup>a</sup> ± 0.9	82.6 <sup>a</sup> ± 0.9
红鱼粉(BFM)	65.2 <sup>b</sup> ± 0.5	89.3 <sup>a</sup> ± 0.5	88.3 <sup>a</sup> ± 1.0	53.2 <sup>b</sup> ± 0.5	80.5 <sup>a</sup> ± 0.9
肉骨粉(MBM)	52.4 <sup>c</sup> ± 0.6	78.3 <sup>c</sup> ± 1.6	74.2 <sup>c</sup> ± 0.6	27.6 <sup>d</sup> ± 0.3	70.2 <sup>c</sup> ± 1.3
豆粕(SBM)	68.2 <sup>ab</sup> ± 0.6	84.5 <sup>b</sup> ± 2.0	90.0 <sup>a</sup> ± 1.1	35.9 <sup>c</sup> ± 0.1	76.3 <sup>b</sup> ± 0.4
花生粕(PNM)	66.5 <sup>b</sup> ± 1.0	80.6 <sup>bc</sup> ± 1.2	82.6 <sup>b</sup> ± 0.8	37.5 <sup>c</sup> ± 0.8	74.7 <sup>b</sup> ± 0.7
菜籽粕(GSM)	50.6 <sup>c</sup> ± 0.6	79.4 <sup>c</sup> ± 1.4	76.3 <sup>c</sup> ± 1.0	21.5 <sup>e</sup> ± 0.4	66.4 <sup>d</sup> ± 1.0
棉籽粕(CSM)	43.6 <sup>d</sup> ± 1.0	70.7 <sup>d</sup> ± 0.5	61.3 <sup>d</sup> ± 1.2	9.3 <sup>f</sup> ± 0.3	42.9 <sup>e</sup> ± 0.6
ANOVA <sup>4</sup>					
F value	283.2	55.7	206.3	1550.0	356.2
P value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

<sup>1</sup>表中所给数据为平均数及3个重复的标准误,表中不同的上标字母表示差异显著( $p < 0.05$ )

<sup>2</sup>ADC为表观消化率

<sup>4</sup>ANOVA表示单因素方差分析

<sup>1</sup>Values are means and standard errors of three replicates. Means in each column with different superscripts have significant differences( $p < 0.05$ )

<sup>2</sup>Apparent digestibility coefficients

<sup>3</sup>WFM: white fishmeal; BFM: red fishmeal; MBM: meat and bond meal; SBM: soybean meal; PNM: peanut meal; GSM: grapeseed meal; CSM: cotton-seed meal

<sup>4</sup>ANOVA: One-way analysis of variance

各种原料的蛋白质表观消化率从70.7%到92.4%,其中动物性原料白鱼粉和红鱼粉显著高于各种植物性原料( $p < 0.05$ ),而肉骨粉(78.3%)则显著低于白鱼粉(92.4%)、红鱼粉(89.3%)和豆粕(84.5%)( $p < 0.05$ ),棉籽粕最低(70.7%)。

各原料的脂肪表观消化率均高于61.3%,白鱼

采用SPSS 11.0 for Windows对所得数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),若差异达到显著,则进行Tukey多重比较,显著性水平为 $p < 0.05$ 。

## 2 结果

各种原料的干物质、蛋白质、脂肪、磷和能量的表观消化率如表3所示。各原料之间干物质表观消化率差异显著( $p < 0.05$ ),在43.6%到70.0%之间,其中白鱼粉(70.0%)与豆粕(68.2%)最高,以下依次为花生粕(66.5%)、红鱼粉(65.2%)、肉骨粉(52.4%)、菜籽粕(50.6%),而棉籽粕最低仅为43.6%。能量的表观消化率在42.9%到82.6%之间,其中白鱼粉(82.6%)和红鱼粉(80.5%)显著高于其他各种原料,肉骨粉显著高于菜籽粕和棉籽粕,但却低于豆粕和花生粕。

粉、红鱼粉和豆粕之间无显著差异,但均显著高于其他各种原料,而肉骨粉和菜籽粕显著低于花生粕,但高于棉籽粕( $p < 0.05$ )。

原料磷的表观消化率除白鱼粉和红鱼粉消化率高于53.2%外,其余都在37.5%以下,棉籽粕的最低仅为9.3%。除豆粕和花生粕之间差异不显著之外,

其他原料间磷的表观消化率差异显著( $p < 0.05$ )。

### 3 讨论

消化率的测定是水产动物消化生理研究的一个重要内容。鱼类对饲料原料的消化率不仅取决于原料的组成及原料的可消化利用情况,而且取决于鱼类本身对饲料原料的利用能力(如对同一种原料,不同鱼类对其消化利用的能力也不同)。由于粪便中的营养成分和无机物质在收集时容易在水中溶失,因此,测定鱼类对饲料原料的消化率比陆生动物更为困难。所以,粪便的收集方法与消化率测定结果的准确性密切相关<sup>[15]</sup>。目前国际上常用的收集粪便的方法主要有以下几种:(1)挤压法<sup>[16-18]</sup>:将试验鱼用麻醉剂麻醉后,轻轻挤压其腹侧,尽可能地排除其尿液和生殖产物,然后在肛门前三 cm 处挤压其两侧,收集粪便;(2)解剖法<sup>[17-19]</sup>:将实验鱼于头部击昏后,剖开,取出其末端肠道管(1—1.5 cm)中的粪便;(3)肛吸法:将实验鱼麻醉后,从肛门中插入玻璃管,轻轻吸收其后端肠道中的粪便。以上三种方法,可以避免营养成分在水中丢失,但这些方法需频繁捕捉实验鱼,会造成鱼类的应激反应,采集的粪样也不能完全代表自然状况下排出的粪便;(4)立即吸移法<sup>[18-21]</sup>:实验鱼养殖在水槽中,实验鱼一排出粪便,立即用玻璃管从水中吸出;(5)连续过滤法;(6)倾析法等。这几种方法各有优缺点,挤压法简单方便,实验鱼在经过恢复适应之后可以重复获取粪便,但存在肠道黏液及肠内未消化物质的问题,所得消化率值偏低于实际值。解剖法需要杀死鱼来获取粪便,但粪便中的成分不仅来自未被消化的饲料,还混有消化过程中体内分泌的消化液、黏液、消化道脱落的上皮细胞及肠内微生物等成分,使得消化率也偏低;立即吸移法、连续过滤法和倾析法等都是将实验鱼排出的粪便从水体中收集出,营养物质在水体中有一定程度的溶失,使测定的消化率值高于实际值。Lee 比较了三种方法并认为挤压法和立即吸移法是较可靠的粪便收集的方法,立即吸移法在幼鱼和仔鱼的研究中更合适<sup>[22]</sup>。由于本实验在浮式海水网箱中进行,无法采用立即吸移法、连续过滤法和倾析法。同时,肛吸法和解剖法操作复杂,因此本实验采用挤压法来收集实验鱼粪便。

本实验中,原料之间干物质表观消化率从 43.6% 到 70.0% 之间,白鱼粉与豆粕,红鱼粉与花生粕之间的差异并不显著,但另外两种植物蛋白菜籽粕(50.6%)和棉籽粕(43.6%)的消化率却明显降

低。同时,白鱼粉和红鱼粉的能量消化率显著高于豆粕、花生粕、菜籽粕和棉籽粕四种植物性蛋白原料,也高于肉骨粉的能量消化率。研究表明,饲料营养成分的消化率因原料的组成不同而有较大的差异,一般地,肉食性鱼类对动物性蛋白的干物质和能量的利用好于植物性蛋白<sup>[15,23,24]</sup>,这可能与植物性蛋白碳水化合物的含量和化学组成有关<sup>[11]</sup>。植物性蛋白中碳水化合物的含量在 40% 左右,其中纤维素所占比例较高,而水生动物缺乏消化纤维素的酶系统,饲料中的纤维素不易被鱼类消化吸收<sup>[9]</sup>,高含量的纤维素(> 8%)可能降低鱼类对饲料干物质和能量的消化率<sup>[25-30]</sup>。

实验中肉骨粉的干物质消化率(52.4%)和能量消化率(70.2%)明显低于在美国红鱼<sup>[12]</sup>(分别为 86% 和 86%)和 Lee 在岩鱼中的研究<sup>[11]</sup>结果(分别为 95% 和 93%),同时,也低于豆粕和花生粕两种植物蛋白,这与很多已有的研究结果不同。有研究报告,肉骨粉的质量在不同的批次间差异很大,相互之间可比较性差,如表 2 所示,肉骨粉灰分含量达到 38.7%,表明肉骨粉中含有较多的骨粉,质量较差,这可能是肉骨粉营养物质消化率较差的主要原因。

原料的蛋白质质量是影响鱼类营养的首要因子,而鱼类对其蛋白质的消化率是判断原料可利用性的重要指标<sup>[11]</sup>。在本实验中,各原料的蛋白质消化率都较高,其中白鱼粉和红鱼粉分别达到了 92.4% 和 89.3%,明显高于豆粕、花生粕、菜籽粕和棉籽粕几种植物性蛋白原料。这主要有两方面原因,一是饲料蛋白源的蛋白质量取决于原料的氨基酸组成和可利用性,与动物蛋白相比,植物蛋白存在必需氨基酸的不平衡性<sup>[31]</sup>导致鱼类对植物蛋白的利用率较低;二是植物蛋白都含有一种或几种抗营养因子<sup>[32,33]</sup>,它们也会影响鱼类的消化吸收。另一方面,本实验中,所有植物性原料的粗蛋白消化率都在 70.7% 以上,表明能够较好地被大黄鱼消化吸收。Sullivan 认为饲料的植物蛋白原料虽然不具有动物蛋白原料那样高的蛋白质含量,但是许多植物蛋白原料能够像动物蛋白一样被肉食性鱼类和杂食性鱼类有效的消化<sup>[24,34]</sup>,因此,植物蛋白如豆粕、花生粕、菜籽粕和棉籽粕都可以作为大黄鱼人工配合饲料的蛋白源。

脂肪是饲料中重要的能量来源。在本实验中白鱼粉和红鱼粉脂肪的消化率分别为 90.5% 和 88.3%,说明大黄鱼能够较好地利用鱼粉中的脂肪进行生长或作为能量来源,这与其他肉食性鱼类的研究结果相类似<sup>[15,35]</sup>。豆粕的脂肪消化率也达到

90.0%,说明大豆脂肪也是大黄鱼的一种很好的能量来源物质。肉骨粉的脂肪消化率为74%,接近于McGoogan和Gaylord对美国红鱼<sup>[10,12]</sup>(分别为74%和79%)的研究结果。菜籽粕的脂肪消化率(76.3%)稍低于林仕梅等<sup>[8]</sup>在草鱼上所得的结果(81%)。棉籽粕的脂肪消化率为61.3%,低于NRC对斑点叉尾鲷<sup>[9]</sup>的研究结果(88%)。研究结果表明,鱼类对脂肪的表观消化率在85%到95%之间<sup>[9]</sup>,而在本实验中大黄鱼对植物性原料和肉骨粉的消化率皆低于这一数值范围。鱼油和大豆油已经在人工配合饲料的生产中成为饲料的主要脂肪来源,对于花生油、菜籽油等一些植物油的利用还需进一步的研究,才能确定能否在鱼类的人工配合饲料中大量应用。

大黄鱼对白鱼粉和红鱼粉中磷的消化率与Wilson<sup>[36]</sup>研究斑点叉尾鲷对鱼粉中磷消化率(60%)的结果相近。大黄鱼对豆粕磷的消化率为35.9%,与其他学者对虹鳟<sup>[37]</sup>(31%)和斑点叉尾鲷<sup>[9]</sup>(35%)的研究结果相似,但明显低于草鱼对豆粕的消化率(66.7%)<sup>[38]</sup>,这可能是因为草鱼为植物食性鱼类,因而对植物性饲料利用较好。而大黄鱼对棉籽粕中磷的消化率(9.3%)大大地低于Gaylord在美国红鱼<sup>[12]</sup>(40%)上的研究。本实验中大黄鱼对白鱼粉和红鱼粉磷的消化率显著高于肉骨粉及几种植物性饲料原料,主要原因是本次实验所用的肉骨粉含有较多的骨粉而骨骼中含有很高的磷,这种磷大部分以相对不溶的羟基磷石灰和磷酸钙的形式存在<sup>[39]</sup>,不宜被鱼类消化吸收。而植物性饲料原料中的磷主要以植酸及其盐的形式存在<sup>[40]</sup>,鱼类缺乏内源性植酸酶,不能利用植酸磷<sup>[37]</sup>,因而影响大黄鱼对植物性饲料原料中磷的消化率。目前,很多学者研究在饲料中添加适量的外源性植酸酶,利用它降解饲料中的植酸盐,生成无机磷和肌醇以及与植酸结合的蛋白质、氨基酸、微量元素等<sup>[41]</sup>,从而提高植物性蛋白原料中磷的消化率,在水产动物上的研究还处于试验阶段,植酸酶的热不稳定性以及其价格等因素在很大程度上影响其在水产饲料生产中的应用,因此对于植酸酶在实际生产的利用还需要进一步研究。

总之,大黄鱼对不同原料的表观消化率存在较大的差异。在本实验中,各种原料的蛋白质消化率都较高,说明这些饲料原料均可作为大黄鱼饲料中的蛋白来源。同时,各原料磷的消化率差异较大,因此在饲料配方设计和原料选择时应该特别注意可消化磷的问题。

## 参考文献:

- [1] Yang S X, et al. The methods of evaluation of feed nutrition [M]. Lanzhou: Gansu People's Publishing House. 1980, 1—53 [杨诗兴, 等. 饲料营养价值的评定方法. 兰州: 甘肃人民出版社. 1980, 1—53]
- [2] Halyer J E. Fish nutrition (2nd) [M]. San Diego: Academic press. 1989, 332—421
- [3] De Silva S S, Anderson T A. Fish nutrition in Aquaculture [M]. London: Chapman & Hall. 1995, 103—142
- [4] Arndt R E, Hardy R W, Sugiura S H, Dong F M. Effects of heat treatment and substitution level on palatability and nutritional value of soy defatted flour in feeds for coho salmon, *Oncorhynchus Kisutch* [J]. *Aquaculture*, 1999, **180**:129—145
- [5] Gomes E F, Rema P, Kaushik S J. Replacement of fish meal by plant proteins in diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1995, **113**:339—353
- [6] Millamena O M. Replacement of fish meal by animal by-product meals in a practical diet for grow-out culture of grouper (*Epinephelus coioides*) [J]. *Aquaculture*, 2002, **204**:75—84
- [7] Webster C D, Thompson K R, Morgan A M, Grisby E J, Gannam A L. Use of hempseed meal, poultry by-product meal, and canola meal in practical diets without fish meal for sunshine bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) [J]. *Aquaculture*, 2000, **188**:299—309
- [8] Lin S M, Luo L, Ye Y T. Apparent digestibility of crude protein and crude fats in 17 feed ingredients in grass carp [J]. *Journal of Fishery Science of China*, 2001, **8**:59—64 [林仕梅, 罗莉, 叶元土. 草鱼对 17 种饲料原料粗蛋白和粗脂肪的表观消化率. 中国水产科学, 2001, **8**:59—64]
- [9] NRC (National Research Council). Nutrient Requirements of Fish [M]. Washington DC: National Academy Press. 1993
- [10] McGoogan B B, Reigh R C. Apparent digestibility of selected ingredients in reddrum (*Sciaenops ocellatus*) diets [J]. *Aquaculture*, 1996, **141**:233—244
- [11] Lee S M. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegelii*) [J]. *Aquaculture*, 2002, **207**:79—95
- [12] Gaylord T G, Gatlin III D M. Determination of digestibility coefficients of various feedstuffs for red drum (*Sciaenops ocellatus*) [J]. *Aquaculture*, 1996, **139**:303—314
- [13] Duan Q, Mai K, Zhong H, Si L, Wang X. Studies on the nutrition of the large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R. I: growth response to graded levels of dietary protein and lipid [J]. *Aquacult. Res*, 2001, **32** (Suppl. 1):46—52
- [14] AOAC. Official methods of Analysis of AOAC International. Vol. I. Agriculture Chemical; Contaminants, Drug. 16th edn. AOAC International, Arlington, VA, 1995
- [15] Cho C Y, Slinger S J, Bayley H S. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity [J]. *Comp. Biochem. Physiol.*, 1982, **73B**:25—41
- [16] Nose T. On the digestion of food proteins by gold-fish (*Carassius auratus* L.) and rainbow trout (*Salmo irideus* G.) [J]. *Tokyo. Bull.*

- Freshwater Fish Res. Lab.*, 1960, **10**:11—22
- [17] Austreng E. Digestibility determination in fish using chromic oxide marking and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract [J]. *Aquaculture*, 1978, **13**:265—272
- [18] Hajen W E, Beames R M, Higgs D A, *et al.* Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in sea water: 1. Validation of technique [J]. *Aquaculture*, 1993, **112**:321—332
- [19] Windell J T, Foltz J W, Sarkon J A. Methods of fecal collection and nutrient leaching in digestibility studies [J]. *Prog. Fish-Cult.*, 1978, **40**:51—55
- [20] Cho C Y, Slinger S J. Apparent digestibility measurement in feedstuff for rainbow trout [A]. In: Halver J E, Tiews K (Eds.), *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*[C], vol. II, Heeneman, Berlin, 1979, 239—248
- [21] Choubert G, de la Noie J, Luquet P. Continuous quantitative automatic collector for fish feces [J]. *Prog. Fish-Cult.*, 1979, **41**:64—67
- [22] Lee S M. Evaluation of the nutrient digestibilities by different fecal collection methods in juvenile and adult Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*) [J]. *J. Korean Fish. Soc.*, 1997a, **30**:62—71, in Korean with English abstract
- [23] Bergot F, Breque J. Digestibility of starch by rainbow trout: effects of the physical state of starch and of intake level [J]. *Aquaculture*, 1983, **34**:203—212
- [24] Sullivan J A, Reigh R C. Apparent digestibility of selected feedstuffs in diets for hybrid striped bass (*Morone saxatilis* ♀ × *Morone chrysops* ♂) [J]. *Aquaculture*, 1995, **138**:313—322
- [25] Falge R, Schpanof L, Jurs K. Amylase, esterase and protease activity in the intestine content of rainbow trout *Salmo gairdneri* Rieh. after feeding with feed containing different amounts of starch and protein [J]. *J. Ichthyol.*, 1978, **18**:283—287
- [26] Spannhof L, Plantikow H. Studies on carbohydrate digestion in rainbow trout [J]. *Aquaculture*, 1983, **30**: 95—108
- [27] Hilton J W, Atkinson J I, Slinger S J. Effect of increased dietary fiber on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1983, **40**:81—85
- [28] Steffens W. Principles of Fish Nutrition [M]. Ellis Harwood, Chichester, UK, 1989, 384
- [29] Anderson J S, Jackson A J, Matty A J, Capper B S. Effects of dietary carbohydrate and fiber on the tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn.) [J]. *Aquaculture*, 1984, **37**:303—314
- [30] Walker A R P. Effect of high crude fiber intake on transit time and absorption of nutrients in South African negro schoolchildren [J]. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1975, **28**: 1161—1169
- [31] Hasan M R, Macintosh D J, Jauncey K. Evaluation of some plant ingredients as dietary protein sources for common carp (*Cyprinus carpio* L) fry [J]. *Aquaculture*, 1997, **151**: 55—70
- [32] Francis G, Harinder P S M, Klaus B. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish [J]. *Aquaculture*, 2001, **199**: 197—227
- [33] Krogdahl A. Alternative protein sources from plants contain antinutrients affecting digestion in salmonids [A]. In: Takeda M, Watanabe T (Eds.), Proc. Of the 3<sup>rd</sup> Intl. Symp. On Feeding and Nutrition in Fish, Laboratory of Fish Nutrition, Tokyo University of Fisheries, Tokyo, Japan. 1989, 253—261
- [34] Cho C Y, Cowey C B. Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [A]. In: Wilson R P (Editor), *Handbook of Nutrient Requirements of Finfish* [M]. CRC Press, Boca Raton, FL, 1991, 131—143
- [35] Lee S M. Effects of dietary lipid source and water temperature on nutrient digestibilities in juvenile and adult Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*) [J]. *Korean J. Anim. Nutr. Feed*, 1997b, **21**:381—390, in Korean with English abstract
- [36] Wilson R P, Robinson E H, Gatlin D M III, Poe W E. Dietary phosphorus requirement of channel catfish [J]. *J. Nutr.*, 1982, **112**: 1197—1202
- [37] Riche M, Brown P B. Availability of phosphorus from feedstuffs fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1996, **142**: 269—282
- [38] Huang Y T, Liu Y J. Availabilities of Ca and P in nutritive salts and of Ca, P, Mg, Fe in feeds for grass carp *ctenopharyngodon idellus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1990, **14**(2): 145—152 [黄耀桐, 刘永坚. 草鱼对营养盐钙磷及饲料钙磷镁铁的利用率. 水生生物学报, 1990, **14**(2): 145—152]
- [39] Lall S P. Digestibility, metabolism and excretion of dietary phosphorus in fish [A]. In: Cowey C. B., Cho C. Y. (Eds.), Proc. 1st Int. Symposium on Nutritional Strategies and Management of Aquaculture Waste [M]. Univ. of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, 1991, 21—36
- [40] Leslie A J. The ever-increasing role of biotechnology in the poultry industry, lessons from past and thought for the future [A]. Alltech's 10<sup>th</sup> Annual Asia-Pacific Lecture Tour [C]. Nicholasville, KY: Alltech Technical Publication., 1996, 65—84
- [41] Liu M, Wang L Y, Shi T. Research development of phytase [J]. *Liaoning Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine.*, 2003, **2**:35—37 [刘梅, 王林云, 史挺. 植酸酶的研究进展. 辽宁畜牧兽医, 2003, **2**:35—37]

## APPARENT DIGESTIBILITY OF SELECTED PROTEIN INGREDIENTS FOR LARGER YELLOW CROAKER *PSEUDOSCIAENA CROCEA*

LI Hui-Tao, MAI Kang-Sen, AI Qing-Hui, ZHANG Lu, ZHANG Chun-Xiao, ZHANG Wen-Bing and LIUFU Zhi-Guo

(Key Laboratory of Mariculture (Ministry of Education), Ocean University of China, Qingdao 266003)

**Abstract:** Apparent digestibility coefficients of dry matter, crude protein, crude lipid, energy and phosphorous in white fish

meal, brown fish meal, meat and bone meal, soybean meal, peanut meal, rapeseed meal and cottonseed meal were determined respectively for large yellow croaker. Apparent digestibility coefficients were determined by using a reference diet with 0.1% chromic oxide indicator and test diets that contained 70% reference diet, by weight, and 30% of the test feed ingredient being evaluated. The fish averaging  $15.0 \pm 1.6$ g were reared in floating sea cages. Feces samples were manually stripped from anesthetized fish to prevent contacting with water. Apparent digestibility coefficients of dry matter ranging from 43.6% to 70.0%, and the values for rapeseed and cottonseed meal were lower (50.6% and 43.6%) than those for other tested feedstuffs. Apparent digestibility coefficients of energy reflected the differences in dry matter digestibility, the higher digestibility coefficients were observed for white fish meal and brown fish meal of 82.6% and 80.5%, and lower digestibility coefficients were found in rapeseed meal (66.4%) and cottonseed meal (42.9%). Apparent digestibility coefficients of crude protein ranged from 70.9% to 92.4% indicated that these feedstuffs could be efficiently utilized by large yellow croaker. Apparent digestibility coefficients of crude lipid were higher than 74.2% except for cottonseed meal (61.3%). Apparent digestibility coefficients of phosphorous were low (from 9.3% for cottonseed meal to 62.3% for white fish meal) and showed significant differences among the feed ingredients. These data provide more precise informations concerning nutrient and energy utilization of large yellow croaker for these protein ingredients and will allow ingredient substitutions in practical feed based on the levels of fish nutrients.

**Key words:** Large yellow croaker; *Pseudosciaena crocea*; Digestibility; Feed ingredients