

## 海水养殖花鲈对几种饲料蛋白原料的表观消化率

纪文秀<sup>1</sup>, 王岩<sup>2\*</sup>, 唐金玉<sup>2</sup>

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;

2. 浙江大学动物科学学院, 浙江 杭州 310029)

**摘要:**测定了在室内海水流水系统中养殖的花鲈对7种常用饲料原料, 宠物级鸡肉粉(P-PBM)、饲料级鸡肉粉(F-PBM)、血粉(BM)、羽毛粉(FEM)、蚕蛹粉(SWP)、豆粕(SBM)和菜粕(RSM)以及1种混合动物蛋白粉(MM = 50% P-PBM + 20% F-PBM + 20% BM + 10% FEM)的干物质、蛋白质和能量表观消化率(ADC)。实验饲料由70%基础饲料(蛋白质含量为42.0%, 能量含量为18.9 MJ/kg)和30%的待测原料组成。基础饲料和实验饲料中均添加1%(质量分数)的Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>作为外源标记物。饲养实验共进行4周。实验期间每天投饵两次, 采用虹吸方法收集粪便。实验结果显示:花鲈对P-PBM、F-PBM、BM、FEM、MM、SWP、SBM和RSM干物质ADC分别为61%~87%, 蛋白质ADC为80%~96%, 能量ADC为75%~93%。其中,花鲈对SBM的蛋白质ADC最高,对MM的蛋白质ADC最低,对BM的干物质和能量ADC最高,对RSM的干物质和能量ADC最低。

**关键词:**花鲈;表观消化率;饲料原料;配合饲料

**中图分类号:**S 963

**文献标识码:**A

鱼类只能利用饲料中可消化吸收的营养成分。确定饲料原料的表观消化率(ADC)对于配制高营养、低污染鱼类配合饲料具有指导作用<sup>[1]</sup>。随着水产养殖规模的扩大,作为饲料蛋白源的鱼粉供应日益紧张,利用廉价蛋白原料替代饲料中的鱼粉受到广泛重视<sup>[2]</sup>。ADC是初步评价廉价蛋白原料营养价值的重要指标。

花鲈(*Lateolabrax japonicus*)俗名七星鲈,属鲈形目、鲈科、花鲈属,在我国沿海水域广泛分布,具有生长快,肉质鲜美,对温度、盐度适应能力强等优点,是我国重要的水产养殖鱼类品种。有关花鲈的营养需求已有报道<sup>[3-5]</sup>,花鲈对鱼粉、肉骨粉、豆粕、菜籽粕、花生粕和棉籽粕的ADC也有报道<sup>[6]</sup>。鸡肉粉(PBM)、羽毛粉(FEM)、血粉(BM)、豆粕(SBM)和菜粕(RSM)是鱼类饲料中常用的蛋白原料,蚕蛹粉(SWP)经常被少量添加在鱼类饲料中<sup>[7]</sup>。研究表明,将PBM、肉骨粉、FEM和BM适当混合后使用可从整体上提高上

述原料替代鱼粉的效果<sup>[8]</sup>,但上述原料混合后ADC是否发生变化尚不清楚。本文报道了花鲈对宠物级鸡肉粉(P-PBM)、饲料级鸡肉粉(F-PBM)、BM、FEM、SWP、SBM和RSM以及1种混合动物蛋白粉(MM)的干物质、蛋白质和能量ADC,目的是为配制高营养、低污染、廉价花鲈饲料提供科学依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验原料和实验饲料

所测定ADC的饲料原料中,P-PBM、F-PBM、BM和FEM由美国动物蛋白及油脂提炼协会(NRA)香港办事处提供,鱼粉、SBM和RSM购自浙江省杭州市海皇饲料开发有限公司,SWP购自浙江省嘉善县天成饲料商行。MM由50% P-PBM、20% F-PBM、20% BM和10% FEM组成。根据花鲈的营养需求<sup>[3-5]</sup>配制基础饲料(RD)。实验饲料由70%基础饲料和30%待测原料(质量

比)组成<sup>[9]</sup>,共配制8种实验饲料(宠物级鸡肉粉饲料 P-PBMD、饲料级鸡肉粉饲料 F-PBMD、血粉饲料 BMD、羽毛粉饲料 FEMD、混合蛋白饲料 MMD、蚕蛹粉饲料 SWPD、豆粕饲料 SBMD 和菜粕饲料 RSMD)。基础饲料和实验饲料中均添加 1% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(质量分数)作为外源指示物。饲料原

料经粉碎后过 40 目筛,按配方配合,加水混匀(30 L 混合机)后用 SLP-45 型膨化饲料机(中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所,上海)制粒,室温下风干并密封,使用前在 -20 ℃ 下保存。饲料原料营养组成见表 1,基础饲料和实验饲料配方及营养组成见表 2。

表 1 待测原料的营养组成和能量含量

Tab.1 Proximate composition and energy content of the tested ingredients

| 原料<br>ingredient | 干物质(%)<br>dry matter | 粗蛋白(%)<br>crude protein | 粗脂肪(%)<br>crude lipid | 灰分(%)<br>ash | 总能(MJ/kg)<br>gross energy |
|------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|--------------|---------------------------|
| 鱼粉 fish meal     | 92.0                 | 69.7                    | 13.0                  | 15.1         | 22.3                      |
| 宠物级鸡肉粉 P-PBM     | 95.9                 | 67.9                    | 14.3                  | 13.9         | 22.0                      |
| 饲料级鸡肉粉 F-PBM     | 97.0                 | 56.2                    | 15.4                  | 21.5         | 20.1                      |
| 血粉 BM            | 94.0                 | 94.4                    | 0.6                   | 2.1          | 24.3                      |
| 羽毛粉 FEM          | 96.8                 | 78.5                    | 15.5                  | 3.3          | 25.2                      |
| 豆粕 SBM           | 89.0                 | 46.5                    | 1.6                   | 6.7          | 19.3                      |
| 菜粕 RSM           | 89.6                 | 44.1                    | 1.1                   | 7.8          | 19.5                      |
| 蚕蛹粉 SWP          | 93.9                 | 52.7                    | 30.9                  | 5.6          | 26.9                      |
| 混合物 MM           | 95.8                 | 71.9                    | 11.9                  | 12.0         | 22.4                      |

注:粗蛋白、粗脂肪、灰分和总能表示为单位干物质含量

Notes: Crude protein, crude lipid, ash and gross energy are expressed on dry matter basis

## 1.2 实验鱼和实验方法

实验在浙江省海洋水产研究所西轩岛试验场进行。所用花鲈初始体重为(56.5 ± 1.6) g,养在聚乙烯塑料流水水槽(高 70 cm,直径 60 cm,容积为 200 L)中,每个水槽内放养 13 尾鱼。实验前暂养鱼 2 周,暂养期间投喂基础饲料。

实验分两个阶段。第一个阶段测定 P-PBM、F-PBM、BM 和 FEM 的 ADC(投喂饲料 P-PBMD、F-PBMD、BMD、FEMD 和 RD),第二阶段测定 MM、SWP、SBM 和 RSM 的 ADC(投喂饲料 MMD、SWPD、SBMD、RSMD 和 RD)。每个阶段时间为 2 周。第一个阶段结束后将实验鱼用 RD 饲养 2 d,然后进行第二个阶段的实验。每种饲料设 3 个重复,共用 15 个实验水槽。实验期间每天分两次(8:30 和 15:30)投喂实验鱼,每次投喂少量多遍,尽量减少残饵量,记录投喂量。每天测量水温(水温第一阶段为 19 ~ 21 ℃,第二阶段为 15 ~ 19 ℃),每周测量溶氧(实验期间为 6.1 ~ 8.2 mg/L)。养殖用水为经过沙滤的海水,盐度为 26 ~ 28,流速约为 2.5 L/min。

每个阶段实验开始后先连续投喂 2 d 实验饲料,从第 3 天开始,每次投喂后每 2 小时用虹吸方法收集完整的粪便用于分析。将同一水槽收集的鱼粪集中在 1 个铝盒内,70 ℃ 烘干,在 -20 ℃ 下

保存。

## 1.3 样品分析

饲料原料、饲料和鱼粪样品烘干后用高速粉碎机粉碎并过 80 目筛。按 AOAC 方法<sup>[9]</sup>分析样品水分、粗蛋白(新嘉 KDN-04AA 凯氏定氮仪,上海)、粗脂肪(新嘉 SZF-06A 索氏抽提仪,上海)和灰分(马弗炉在 550 ℃ 下灰化 6 h)含量。用弹式热量计(Parr 1281, USA)测定总能。采用 Furukawa 等<sup>[10]</sup>方法测定饲料和鱼粪中的 Cr 含量。

## 1.4 数据计算和统计分析

饲料干物质 ADC(ADC<sub>D</sub>)、蛋白质或能量 ADC(ADC<sub>N</sub>)按下列公式<sup>[11]</sup>计算:

$$ADC_D(\%) = 100 - 100 \times (C_D/C_F)$$

$$ADC_N(\%) = 100 - 100 \times (C_D/C_F) \times (N_F/N_D)$$

式中, C<sub>F</sub> 和 C<sub>D</sub> 分别为粪便和饲料的 Cr 含量(%), N<sub>D</sub> 为饲料蛋白质(%)或能量含量(MJ/kg), N<sub>F</sub> 为粪便蛋白质(%)或能量含量(MJ/kg)。

待测原料干物质、蛋白质或能量 ADC(ADC<sub>T</sub>)按下列公式<sup>[12]</sup>计算:

$$ADC_T(\%) = ADC_T + 0.7 \times N_R / (0.3 \times N_I) \times (ADC_T - ADC_R)$$

表 2 基础饲料和实验饲料配方(%)、营养组成(%)和能量(MJ/kg)含量  
 Tab.2 Formulation(%), proximate composition(%) and energy content(MJ/kg)  
 of the reference diet and test diets

| 原料<br>ingredient                   | 基础饲料<br>RD | 宠物级鸡<br>肉粉饲料<br>P-PBMD | 饲料级鸡<br>肉粉饲料<br>F-PBMD | 血粉饲料<br>BMD | 羽毛粉<br>饲料<br>FEMD | 混合蛋白<br>饲料<br>MMD | 蚕蛹粉<br>饲料<br>SWPD | 豆粕饲料<br>SBMD | 菜粕饲料<br>RSMD |
|------------------------------------|------------|------------------------|------------------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|
| 饲料配方(%)                            |            |                        |                        |             |                   |                   |                   |              |              |
| 鱼粉 fish meal                       | 31.7       |                        |                        |             |                   |                   |                   |              |              |
| 豆粕 SBM                             | 27.7       |                        |                        |             |                   |                   |                   | 29.7         |              |
| 面粉 wheat flour                     | 15.0       |                        |                        |             |                   |                   |                   |              |              |
| 菜粕 RSM                             | 7.9        |                        |                        |             |                   |                   |                   |              | 29.7         |
| 鱼油 fish oil                        | 7.4        |                        |                        |             |                   |                   |                   |              |              |
| 血粉 BM                              | 5.8        |                        |                        | 29.7        |                   |                   |                   |              |              |
| CaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>   | 1.0        |                        |                        |             |                   |                   |                   |              |              |
| 维生素预混料 <sup>1</sup> vitamin premix | 1.0        |                        |                        |             |                   |                   |                   |              |              |
| 矿物质预混料 <sup>2</sup> mineral premix | 1.0        |                        |                        |             |                   |                   |                   |              |              |
| 蛋氨酸 Met                            | 0.5        |                        |                        |             |                   |                   |                   |              |              |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 1.0        | 0.3                    | 0.3                    | 0.3         | 0.3               | 0.3               | 0.3               | 0.3          | 0.3          |
| 基础饲料 RD                            | 70.0       | 70.0                   | 70.0                   | 70.0        | 70.0              | 70.0              | 70.0              | 70.0         |              |
| 宠物级鸡肉粉 P-PBM                       | 29.7       |                        |                        |             |                   |                   |                   |              |              |
| 饲料级鸡肉粉 F-PBM                       |            | 29.7                   |                        |             |                   |                   |                   |              |              |
| 羽毛粉 FEM                            |            |                        |                        | 29.7        |                   |                   |                   |              |              |
| 蚕蛹粉 SWP                            |            |                        |                        |             |                   | 29.7              |                   |              |              |
| 混合动物蛋白粉 MM                         |            |                        |                        |             | 29.7              |                   |                   |              |              |
| 营养组成(%)                            |            |                        |                        |             |                   |                   |                   |              |              |
| 干物质 dry matter                     | 90.1       | 90.5                   | 90.8                   | 90.2        | 90.8              | 91.1              | 91.7              | 90.3         | 90.6         |
| 粗蛋白 crude protein                  | 46.9       | 53.2                   | 50.9                   | 54.8        | 57.4              | 55.9              | 48.9              | 48.1         | 46.0         |
| 粗脂肪 crude lipid                    | 12.6       | 13.6                   | 14.0                   | 13.2        | 14.1              | 12.4              | 17.2              | 9.2          | 9.4          |
| 灰分 ash                             | 9.5        | 11.6                   | 13.8                   | 11.9        | 8.7               | 10.6              | 9.2               | 9.5          | 9.8          |
| 总能(mg/kg) gross energy             | 21.0       | 21.3                   | 20.9                   | 21.3        | 22.3              | 21.7              | 22.6              | 20.7         | 20.6         |

注:1. 维生素预混料配方(mg/kg 饲料):维生素 A,16 000 IU;维生素 D<sub>3</sub>,3 000 IU;维生素 E, 200 mg;维生素 K<sub>3</sub>,20 mg;维生素 B<sub>1</sub>,13.4 mg;维生素 B<sub>2</sub>,20 mg;维生素 B<sub>6</sub>(比哆醇),30 mg;维生素 B<sub>12</sub>,27 mg;D-泛酸钙,80 mg;烟碱酸,130 mg;生物素 1 000 mg;叶酸,6.6 mg;维生素 C,200 mg;氯化胆碱,1 200 mg

2. 矿物质预混料配方(g/kg 预混料):一水磷酸二氢钙,400;乳酸钙,1000;柠檬酸铁,100;七水硫酸镁,400;磷酸氢二钾,700;一水磷酸二氢钠,250;六水氯化铝,20;氯化锌,60;五水硫酸铜,30;四水硫酸锰,20;碘化钾,20

3. 粗蛋白、粗脂肪、灰分和总能表示为单位干物质含量

Notes:1. Vitamin mixture provided (mg/kg diet): vitamin A, 16 000 IU; vitamin D<sub>3</sub>, 3 000 IU; vitamin E, 200 mg; vitamin K<sub>3</sub>, 20 mg; vitamin B<sub>1</sub>, 13.4 mg; vitamin B<sub>2</sub>, 20 mg; vitamin B<sub>6</sub>, 30 mg; vitamin B<sub>12</sub>, 27 mg; pantothenate, 80 mg; niacinamide, 130 mg; folic acid, 6.6 mg; biotin, 1 000 mg; vitamin C, 200 mg; choline chloride, 1 200 mg

2. Mineral premix contained (g/kg premix): Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O, 400; calcium lactate, 1 000; ferric citrate, 100; MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 400; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 700; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O, 250; AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O, 20; ZnCl<sub>2</sub>, 60; CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O, 30; MnSO<sub>4</sub> · 4H<sub>2</sub>O, 20; KI, 20

3. Crude protein, crude lipid, ash and gross energy are expressed on dry matter basis

式中,ADC<sub>T</sub>为实验饲料干物质、蛋白质或能量 ADC(%),ADC<sub>R</sub>为基础饲料干物质、蛋白质或能量 ADC(%),N<sub>R</sub>为基础饲料干物质(%),蛋白质(%)或能量含量(MJ/kg),N<sub>T</sub>为待测原料干物质(%),蛋白质(%)或能量含量(MJ/kg)。

混合原料干物质、蛋白质或能量 ADC(ADC<sub>M</sub>)可按下列公式计算:

$$ADC_M = ADC_X \times P_X + ADC_Y \times P_Y + ADC_Z \times P_Z$$

式中,ADC<sub>M</sub>为混合原料 M(M = X × P<sub>X</sub> + Y × P<sub>Y</sub> + Z × P<sub>Z</sub>)的干物质、蛋白质或能量 ADC(%),ADC<sub>X</sub>、ADC<sub>Y</sub>和 ADC<sub>Z</sub>分别为原料 X、Y、Z 的干物质、蛋白质或能量 ADC(%),P<sub>X</sub>、P<sub>Y</sub>、P<sub>Z</sub>分别为

原料 X、Y、Z 在混合物内的比例(%)。

采用单因素方差分析方法检验不同饲料、不同待测原料 ADC 间的差异以及同一阶段实验鱼对不同饲料摄食量的差异,如差异显著用 Duncan 氏方法进一步比较饲料或原料之间的差异。方差分析前先将 ADC 数据进行反正弦变换。采用 t 检验方法分析不同阶段实验鱼对 RD 摄食量和 ADC 的差异。取 P < 0.05 为差异显著性水平。

## 2 结果

从表 3 可见,第一个阶段 P-PBMD 和 F-PBMD 投饲量最高, RD 和 BMD 投饲量略低,

FEMD 投饲量最低 ( $P < 0.05$ )。第二个阶段 SBMD 和 MMD 投饲量最高, RD 和 SWPD 投饲量略低, RSMD 投饲量最低 ( $P < 0.05$ )。第一阶

段 RD 的投饲量高于第二阶段该饲料的投饲量 ( $P < 0.05$ )。

表 3 不同阶段实验鱼的投饲量

Tab. 3 Feed weight of the fish at different stages of the experiment  $n = 3, \bar{X} \pm SE, g/d$

| 第一阶段<br>the first stage |                          | 第二阶段<br>the second stage |                          |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 饲料<br>diet              | 投饲量<br>feed weight       | 饲料<br>diet               | 投饲量<br>feed weight       |
| 基础饲料 RD                 | 15.3 ± 0.4 <sup>ba</sup> | 基础饲料 RD                  | 11.3 ± 0.6 <sup>bb</sup> |
| 宠物级鸡肉粉饲料 P-PBMD         | 17.7 ± 0.2 <sup>c</sup>  | 混合物饲料 MMD                | 13.3 ± 0.9 <sup>c</sup>  |
| 饲料级鸡肉粉饲料 F-PBMD         | 16.8 ± 0.5 <sup>c</sup>  | 蚕蛹粉饲料 SWPD               | 11.0 ± 0.5 <sup>b</sup>  |
| 血粉饲料 BMD                | 14.6 ± 0.2 <sup>b</sup>  | 豆粕饲料 SBMD                | 13.9 ± 0.2 <sup>c</sup>  |
| 羽毛粉饲料 FEMD              | 11.8 ± 0.4 <sup>a</sup>  | 菜粕饲料 RSMD                | 9.2 ± 0.3 <sup>a</sup>   |

注:同一栏中数据上标字母不同者表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

Notes: Data in same column with different superscripts are significant in difference ( $P < 0.05$ )

实验鱼在第一阶段对 RD 干物质、蛋白质和能量 ADC 分别为  $71.73 \pm 0.41$ 、 $88.72 \pm 0.09$  和  $80.71 \pm 0.21$ , 在第二阶段对 RD 干物质、蛋白质和能量 ADC 分别为  $69.71 \pm 0.94$ 、 $88.37 \pm 0.21$  和  $79.59 \pm 0.63$ 。不同阶段实验鱼对 RD 干物质、蛋白质和能量 ADC 无显著差异 ( $P > 0.05$ )。实验鱼对 RD 及实验饲料干物质、蛋白质和能量 ADC 分别为 67% ~ 76%、85% ~ 91% 和 78% ~ 85%。按从高到低的顺序排列, 干物质 ADC 依次为 (BMD、FEMD 和 P-PBMD) > (F-PBMD、RD、SBMD、SWPD 和 MMD) > RSMD ( $P < 0.05$ )。蛋白质 ADC 依次为 (SBMD、P-PBMD 和 BMD) > (RD、F-PBMD 和 RSMD) > (FEMD 和 SWPD) > MMD ( $P < 0.05$ )。能量 ADC 依次为 BMD > (P-PBMD 和 F-PBMD) >

(FEMD 和 SBMD) > (RSMD、SWPD 和 MMD) ( $P < 0.05$ )。

从表 4 可见, 8 种待测原料干物质 ADC 为 61% ~ 87%, 蛋白质 ADC 为 80% ~ 96%, 能量 ADC 为 75% ~ 93%。按从高到低的顺序排列, 干物质 ADC 为 BM > (P-PBM 和 SBM) > (F-PBM 和 SWP) > RSM ( $P < 0.05$ )。蛋白质 ADC 为 (BM 和 SBM) > (P-PBM、F-PBM 和 RSM) > (SWP 和 FEM) > MM ( $P < 0.05$ )。能量 ADC 为对 BM > (P-PBM 和 F-PBM) > (FEM 和 SBM) > (SWP 和 MM) > RSM ( $P < 0.05$ )。测定的 MM 干物质、蛋白质和能量 ADC 低于根据各种原料 ADC 计算出的干物质 (78.40%)、蛋白质 (91.04%) 和能量 (87.35%) ADC。

表 4 待测原料干物质、蛋白质和能量表观消化率  
Tab. 4 Apparent digestibility coefficients of dry matter, protein and energy of the tested ingredients

| 原料<br>ingredient | 干物质<br>dry matter          | 蛋白质<br>protein             | 能量<br>energy               |
|------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 宠物级鸡肉粉 P-PBM     | 76.85 ± 2.46 <sup>c</sup>  | 91.28 ± 0.71 <sup>cd</sup> | 86.39 ± 0.56 <sup>d</sup>  |
| 饲料级鸡肉粉 F-PBM     | 72.03 ± 2.00 <sup>b</sup>  | 90.13 ± 0.39 <sup>c</sup>  | 86.24 ± 0.80 <sup>d</sup>  |
| 血粉 BM            | 86.59 ± 0.78 <sup>e</sup>  | 93.83 ± 0.42 <sup>de</sup> | 93.35 ± 0.33 <sup>e</sup>  |
| 羽毛粉 FEM          | 82.54 ± 0.53 <sup>d</sup>  | 86.09 ± 0.36 <sup>b</sup>  | 82.39 ± 0.52 <sup>c</sup>  |
| 混合物 MM           | 74.76 ± 0.39 <sup>bc</sup> | 80.27 ± 1.24 <sup>a</sup>  | 79.07 ± 0.44 <sup>b</sup>  |
| 蚕蛹粉 SWP          | 72.47 ± 0.97 <sup>b</sup>  | 85.04 ± 1.72 <sup>b</sup>  | 77.30 ± 1.66 <sup>ab</sup> |
| 豆粕 SBM           | 74.64 ± 0.95 <sup>bc</sup> | 95.85 ± 0.76 <sup>e</sup>  | 82.80 ± 0.69 <sup>c</sup>  |
| 菜粕 RSM           | 61.22 ± 1.37 <sup>a</sup>  | 88.03 ± 1.91 <sup>bc</sup> | 74.92 ± 1.51 <sup>va</sup> |

注:同一栏中数据上标字母不同者表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

Notes: Data in same column with different superscripts are significant in difference ( $P < 0.05$ )

### 3 讨论

已知多种因素,如使用的指示剂种类、收集粪便的方法、水温和盐度等,可影响 ADC 测量结果。本实验中所用的指示剂和收集粪便的方法均为 ADC 测量中所常用,其可靠性已被证实。本实验中,水温变化幅度为 6 ℃,第一阶段基础饲料的投饲量明显高于第二阶段,但第一阶段基础饲料 ADC 并未明显高于第二阶段,表明两个阶段测定同一饲料的 ADC 结果一致。部分研究表明在一定范围内水温变化对鲷和虹鳟饲料蛋白质和能量的 ADC 影响不显著<sup>[12-13]</sup>。

饲料原料蛋白质 ADC 在一定程度上反映了该饲料原料蛋白质的可利用程度。本实验中,花鲈对 SBM、RSM 和 SWP 蛋白质 ADC 超过 85%,对 P-PBM、F-PBM、BM、FEM 和 MM 的蛋白质 ADC 均超过 80%,表明花鲈可较好地消化吸收上述几种原料中的蛋白质。花鲈对 MM 的蛋白质 ADC 低于根据组成该混合物的单种原料蛋白质 ADC 计算出的混合物蛋白质 ADC,表明将几种原料混合后降低了其蛋白质 ADC。鱼粉替代实验<sup>[8]</sup>结果表明将几种动物蛋白原料混合后替代鱼粉的水平高于单独使用的任一动物蛋白原料,体外消化实验<sup>[14]</sup>发现菜粕和豌豆粕混合物的消化率高于根据单种原料消化率计算出的消化率。本实验结果与上述研究结果<sup>[8, 14]</sup>不一致。一般而言,肉食性鱼类对动物性蛋白原料的消化吸收要优于植物性蛋白原料,但本实验中 SBM 的蛋白质 ADC 最高。早期研究发现花鲈对 SBM 的蛋白质 ADC 高于肉骨粉<sup>[6]</sup>,军曹鱼对 SBM 的蛋白质 ADC 高于 PBM 和肉骨粉<sup>[15]</sup>。本实验中,花鲈对 P-PBM 和 F-PBM 蛋白质 ADC 接近,表明这两种原料蛋白质均可被花鲈较好地消化吸收。花鲈对 SWP 蛋白质 ADC 明显低于 P-PBM、F-PBM、BM 和 FEM,表明该鱼对 SWP 蛋白质的消化利用低于 P-PBM、F-PBM、BM 和 FEM。与已发表的资料相比,花鲈对 P-PBM 蛋白质 ADC 与军曹鱼(90.9%)<sup>[15]</sup>接近,高于虹鳟(84.8%)<sup>[17]</sup>;对 F-PBM 蛋白质 ADC 高于大西洋鳕(80.2%)<sup>[16]</sup>和虹鳟(83.1%)<sup>[17]</sup>;对 BM 蛋白质 ADC 略高于银锯鲷(90.2%)<sup>[18]</sup>,略低于翘嘴红鲌(95.1%)<sup>[19]</sup>;对 FEM 蛋白质 ADC 明显高于大西洋鳕(62.4%)<sup>[16]</sup>;对 SBM 蛋白质 ADC 与

银锯鲷(95.7%)<sup>[18]</sup>接近,略高于花鲈(90.6%)<sup>[6]</sup>、大西洋鳕(92.3%)<sup>[16]</sup>、翘嘴红鲌(91.2%)<sup>[19]</sup>和尼罗罗非鱼(92.4%)<sup>[20]</sup>;对 RSM 蛋白质 ADC 与军曹鱼(89%)<sup>[15]</sup>接近,略高于花鲈(81.3%)<sup>[6]</sup>和矛尾复鰕虎鱼(83.5%)<sup>[21]</sup>;对 SWP 蛋白质 ADC 与翘嘴红鲌(84.9%)<sup>[19]</sup>接近。

本实验中,花鲈对 P-PBM、F-PBM、BM、FEM 和 MM 的能量 ADC 高于 RSM 和 SWP,对 SBM 的能量 ADC 高于 MM。肉食性鱼类对动物性蛋白原料的能量 ADC 一般高于植物性蛋白原料,这可能与两类原料中碳水化合物组成和含量不同有关<sup>[18]</sup>。SWP 的能量 ADC 较低,表明尽管该种原料的能量含量较高,却较难被花鲈消化吸收。与已发表的研究结果相比,花鲈对 P-PBM 能量 ADC 高于虹鳟(83.4%)<sup>[17]</sup>;对 F-PBM 能量 ADC 高于大西洋鳕(71.0%)<sup>[16]</sup>和虹鳟(81.9%)<sup>[17]</sup>;对 BM 能量 ADC 高于许氏平鲈(84%)<sup>[22]</sup>和胡子鲇(67%)<sup>[23]</sup>;对 FEM 能量 ADC 略低于许氏平鲈(85%)<sup>[22]</sup>,高于尼罗罗非鱼(78.5%)<sup>[20]</sup>和大西洋鳕(58.9%)<sup>[16]</sup>;对 SBM 能量 ADC 与银锯鲷(84.1%)<sup>[18]</sup>和胡子鲇(85%)<sup>[23]</sup>接近,高于花鲈(73.1%)<sup>[6]</sup>;对 RSM 能量 ADC 低于军曹鱼(83.1%)<sup>[15]</sup>,高于花鲈(68.0%)<sup>[6]</sup>和矛尾复鰕虎鱼(52.1%)<sup>[21]</sup>。

本实验结果表明花鲈能够较好地消化吸收 SBM、P-PBM、F-PBM 和 BM 中的蛋白质和能量,因此用 SBM、P-PBM、F-PBM 和 BM 作为花鲈饲料蛋白原料不会对饲料蛋白质和能量消化吸收产生明显的负面影响。花鲈对 RSM 蛋白质 ADC 较高,但能量 ADC 较低,结合花鲈对含 RSM 的实验饲料适口性较差(投饲量明显下降)的现象,可以肯定 RSM 不是花鲈理想的饲料蛋白源。花鲈对 SWP 蛋白质 ADC 和能量 ADC 均较低,表明尽管 SWP 能量含量较高,但其可消化能含量较低。用 P-PBM、F-PBM、BM 和 FEM 组成混合蛋白原料后蛋白质和能量 ADC 降低,这是否是由于不同原料的蛋白质和能量物质之间存在干涉作用,有待今后进一步实验研究。

### 参考文献:

- [1] De Silva S S, Anderson T A. Fish nutrition in aquaculture [M]. London: Chapman & Hall, 1995: 103-142.

- [2] Arndt R E, Hardy R W, Sugiura S H, *et al.* 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.
- [3] 林利民, 胡家财, 洪惠馨. 鲈鱼人工配合饲料中蛋白质最适含量的研究[J]. 厦门水产学院学报, 1994, 1: 6-10.
- [4] 胡家财, 陈学豪, 洪惠馨. 鲈鱼人工配合饲料中豆饼替代部分鱼粉的适宜含量[J]. 台湾海峡, 1995, 14(4): 418-421.
- [5] Ai Q, Mai K, Li H, *et al.* Effects of dietary protein to energy ratios on growth and body composition of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* [J]. *Aquaculture*, 2004, 230: 507-516.
- [6] 常青, 梁萌青, 王家林, 等. 花鲈对不同饲料原料的表观消化率[J]. 水生生物学报, 2005, 29(2): 172-176.
- [7] Hertrampf J W, Piedad-Pascual F. Handbook on ingredients for aquaculture feeds [M]. Kluwer academic publishers, Dordrecht, Netherlands, 2000: 482-483.
- [8] Guo J, Wang Y, Bureau D P. Inclusion of rendered protein ingredients to substitute fish meal in diets for cuneate drum, *Nibea miichthioides* [J]. *Aquacult Nutr*, 2007, 13(2): 81-87.
- [9] AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists [M]. 16th ed. Horwitz W. (Editor). Washington, DC, 1995.
- [10] Furukawa A, Tsukahara H. On the acid digestion for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed [J]. *Bull Jap Soc Sci Fish*, 1966, 32: 502-506.
- [11] Bureau D P, Kaushik A J, Cho C Y. Bioenergetics 3th edn [M]//Halver H E, Hardy R W. Editor. Nutrition, Academic Press, San Diego, 2002:14.
- [12] Kim J D, Breque J, Kaushik S J. Apparent digestibility of feed components from fish meal or plant protein based diets in common carp as affected by water temperature [J]. *Aquatic Living Resources*, 1998, 11(4): 269-272.
- [13] Yamamoto T, Shima T, Furuita H, *et al.* Effect of feeding time, water temperature, feeding frequency and diertary composition on apparent nutrient digestibility in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and common carp *Cyprinus carpio* [J]. *Fish Sci*, 2007, 73: 161-170.
- [14] Danielle B, Laurent S. *In vitro* digesi-tibility and amino acid in protein mixtures [J]. *J Sci Food Agri*, 1988, 43(4): 361-372.
- [15] Zhou Q, Tan B, Mai K, *et al.* Apparent digestibility of selected feed ingredients for juvenile cobia *Rachycentron canadum* [J]. *Aquaculture*, 2004, 241: 441-451.
- [16] Tibbetts S M, Milley J E, Lall S P. Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantic cod, *Gadus morhua* (Linnaeus758) [J]. *Aquaculture*, 2006, 261: 1314-1327.
- [17] Cheng Z, Hardy R W. Apparent digestibility coefficients of nutrients and nutritional value of poultry by-product meals for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* measured *in vivo* using settlement [J]. *J World Aquacult Soc*, 2002, 33(4): 458-465.
- [18] Allan G L, Parkinson S, Booth M A, *et al.* Replacement of fish meal in diets for Australian sliver perch, *Bidyanus bidyanus*: I Digestibility of alternative ingredients [J]. *Aquaculture*, 2000, 186: 293-310.
- [19] 陈建明, 叶金云, 潘茜, 等. 翘嘴红鲌鱼种对八种蛋白质饲料原料的消化率[J]. 淡水渔业, 2005, 35(1):20-22.
- [20] 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]. *Aquacult Nutr*, 2008, 14: 396-404.
- [21] Luo Z, Li X, Gong S, *et al.* Apparent digestibility coefficients of four feed ingredients for *Synechogobius hasta* [J]. *Aquacult Res*, 2009, 40(5): 558-565.
- [22] Lee S M. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*) [J]. *Aquaculture*, 2002, 207: 79-95.
- [23] Fagbenro O A. Apparent digestibility of crude protein and gross energy in some plant and animal-based feedstuffs by *Clarias isheriensis* (Siluriformes: Clariidae) (Sydenham 1980) [J]. *J Appl Ichthpol*, 1996, 12: 67-68.

## Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) reared in sea water

JI Wen-xiu<sup>1</sup>, WANG Yan<sup>2\*</sup>, TANG Jin-yu<sup>2</sup>

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. College of Animal Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

**Abstract:** Apparent digestibility coefficients (ADC) of seven selected feed ingredients, pet-food poultry by-product meal (P-BMB), feed-grade poultry by-product meal (F-PBM), blood meal (BM), feather meal (FEM), soybean meal (SBM), rapeseed meal (RSM), silkworm pupa (SWP) and a blend (MM) of P-PBM, F-PBM, BM and FEM, for Japanese sea bass, *Lateolabrax japonicus*, were measured. A reference diet was formulated to contain 42.0 % crude protein and 18.9 MJ/kg gross energy, and eight test diets were formulated by combining the reference diet and each of the tested ingredients at a ratio of 70:30. Chromic oxide was added at 1% in the reference diet and test diets as inert marker. During the experiment, the fish were fed the reference diet and test diets twice daily, and fecal sample was collected by siphon two hours after each feeding. Results of the experiment showed dry matter ADC of the tested ingredients ranged within 61% –87%, and protein ADC within 80% –96%, and energy ADC within 75% –93%. ADC of protein of SBM was the highest, and ADC of dry matter and energy of BM was the highest, among the tested ingredients. ADC of protein of MM was the lowest, while ADC of dry matter and energy of RSM was the lowest among the tested ingredients.

**Key words:** Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*); apparent digestibility coefficient; feed ingredients; formulated diet

**Corresponding author:** WANG Yan. E-mail: ywang@zju.edu.cn