

doi: 10.7541/2016.153

## 麦瑞加拉鲢幼鱼对12种原料表观消化率的比较研究

房进广 梁旭方 刘立维 王庆超 袁小琛 何珊

(华中农业大学水产学院, 农业部淡水生物繁育重点实验室, 湖北省淡水渔业协同创新中心, 武汉 430070)

**摘要:** 试验以麦瑞加拉鲢(*Cirrhinus mrigala*)幼鱼(3.88±0.06) g为试验对象, 研究其对国产鱼粉、白鱼粉、花生粕、白酒糟、鸡肉粉、米糠、棉粕、菜粕、豆粕、玉米蛋白粉、玉米酒糟和羽毛粉的干物质、粗蛋白、粗脂肪、总能、磷、钙、镁、锌、铜、铁和锰的表观消化率。结果表明: 12种试验原料的干物质、粗蛋白质、粗脂肪、总能、磷、钙、镁、锌、铜、铁和锰的表观消化率范围分别为24.93%—85.68%、50.02%—97.40%、51.89%—94.02%、39.18%—96.39%、9.72%—87.37%、3.47%—25.92%、26.11%—88.25%、12.63%—66.35%、41.33%—104.86%、10.69%—91.84%、4.42%—85.49%。其中包括干物质、粗蛋白和总能在内的主要营养物质的表观消化率以国产鱼粉和白鱼粉最高。除鱼粉外的其他原料中, 干物质以花生粕、豆粕和玉米蛋白粉最高; 粗蛋白以花生粕最高; 粗脂肪以米糠和花生粕最高; 总能以花生粕和鸡肉粉最高; 白酒糟的干物质、粗蛋白、粗脂肪、总能的消化率最低。在矿物质元素表观消化率中, 羽毛粉的磷、铜、铁和锰的表观消化率最高; 米糠的锌表观消化率最高; 钙的表观消化率以白鱼粉、豆粕和羽毛粉最高; 镁的表观消化率以豆粕、羽毛粉和玉米酒糟最高; 鸡肉粉的磷、钙、镁和铁表观消化率最低; 花生粕和棉粕中锌的表观消化率最低; 菜粕中铜的表观消化率最低; 白酒糟中锰的表观消化率最低。因此, 花生粕、豆粕和玉米蛋白粉是麦瑞加拉鲢幼鱼配合饲料中较优质的蛋白源, 可进一步开发用于适量替代饲料中的鱼粉; 米糠可作为较好的能量饲料; 羽毛粉可作为饲料中较好的矿物质元素来源; 白酒糟对麦瑞加拉鲢幼鱼而言营养价值最差。

**关键词:** 麦瑞加拉鲢; 试验原料; 表观消化率

**中图分类号:** S965.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-3207(2016)06-1178-09

随着世界水产养殖规模的持续增长, 水产饲料的需求量也不断增多。鱼粉作为水产饲料中最主要的蛋白源之一, 近些年价格不断上升, 因此寻找在饲料中可全部或部分替代鱼粉的蛋白源成为研究的热点<sup>[1]</sup>。虽然我国能作为饲料原料的品种繁多、价格低廉、来源广泛, 但由于其加工方式、运输和储存等因素使得各地区的差异很大, 从而导致饲料原料质量和营养价值参差不齐, 在水产和畜牧行业中优质蛋白源的饲料原料较为匮乏。

一种饲料原料的营养价值不仅取决于其营养成分的含量, 还决定于动物对这些营养物质的消化、吸收和利用率<sup>[2]</sup>。消化率是指动物消化道吸收

的能量或营养物质占摄入食物总量的百分比, 可以准确反映动物对饲料原料营养物质的消化、吸收情况, 因此研究鱼类对原料营养物质的消化率是营养生理学研究的基础重要内容之一。准确测定动物对原料营养物质的消化率, 不仅是评定其营养价值的重要指标<sup>[3]</sup>, 也是公司和企业配制经济、高效、环保饲料的重要理论依据和基础, 进而可以帮助企业有效控制饲料中原料的比例、降低养殖成本、提高饲料的营养价值并减少饲料养殖对水域的污染<sup>[4]</sup>。

麦瑞加拉鲢(*Cirrhinus mrigala*)属鲤科(Cyprinidae), 鲃亚科, 鲃属(*Cirrhinus*), 简称麦鲃(下同), 是20世纪

**收稿日期:** 2015-10-19; **修订日期:** 2016-03-02

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(31172420, 31272641); 国家科技支撑计划项目(2012BAD25B04); 中央高校基本科研业务费专项资助项目(2662015PY041, 2015BQ040)资助 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31272420, 31172641); the Key Projects in the National Science & Technology Pillar Program (2012BAD25B04); the Fundamental Research Funds for the Central Universities (2662015PY041, 2015BQ040)]

**作者简介:** 房进广(1990—), 男, 河南新乡人; 硕士研究生; 主要从事鱼类饲料与营养研究。E-mail: 1252778669@qq.com

**通信作者:** 梁旭方(1965—), 男, 博士, 教授; E-mail: xufang\_liang@hotmail.com

90年代从印度引进我国试养的新品种鱼, 目前已成为我国各地池塘混养的优良品种, 为华南地区重要的经济型鱼种, 同时是我国鳊鱼等肉食性鱼类养殖中最重要的饵料鱼之一, 此外由麦鲢加工成的豆豉鲢鱼罐头在我国也深受喜爱。有关麦鲢对饲料原料消化率的报道较少, 仅见20世纪90年代Jafri<sup>[5]</sup>测定了麦鲢对几种含碳水化合物较为丰富的原料的表观消化率, 而在国内对此尚未有较为系统的研究。本试验即以麦鲢为试验对象, 测定其对12种原料(国产鱼粉、白鱼粉、花生粕、白酒糟、鸡肉粉、米糠、棉粕、菜粕、豆粕、玉米蛋白粉、玉米酒糟和羽毛粉)干物质、粗蛋白、粗脂肪、总能以及矿物质的表观消化率, 以便于系统的了解其对饲料行业中这些常见的原料营养物质的表观消化率, 进一步完善和构建水产饲料原料消化率数据库, 以期配制高效、环保、经济的麦鲢饲料配方提供理论基础和依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验原料、基础日粮和试验日粮

分别以国产鱼粉、豆油和鱼油作为蛋白源和脂肪源, 配制一种能满足麦鲢幼鱼营养需要的基础日粮<sup>[6]</sup>; 采用Cho等<sup>[7]</sup>的方法(表1), 试验饲料由

70%基础日粮和30%试验原料组成, 添加0.1%的 $Y_2O_3$ 作为外源指示剂。原料均购于湖北东西湖海大饲料有限公司, 并对其营养成分进行分析(表2)。所有原料经研磨打碎均通过60目筛, 按照配比采用逐级扩大法搅拌均匀, 用F(II)-26双螺杆制粒机(华南理工大学, 中国广州)制粒(2.0 mm×1.5 mm), 45℃烘干后用自封袋密封保存于-20℃冰箱备用, 其营养成分组成见表3。

### 1.2 试验与养殖条件

养殖试验在华中农业大学水产实验基地中进行, 麦鲢(3000尾)购自湖北省武汉市四汇水产科技有限公司, 试验开始前将鱼放置于养殖缸中(169 L)暂养4周使其适应试验环境, 并以不含 $Y_2O_3$ 的基础日粮投喂。挑选体格健康、规格一致的麦鲢(3.88±0.06) g 1170尾平均分入39个养殖缸(169 L)内, 随机分为13组, 每组3个重复, 每个重复投放30尾试验鱼。

分别采用含 $Y_2O_3$ 的基础日粮和试验日粮投喂对照组和试验组鱼, 2周后开始收集粪便。整个试验过程均定时(8:00和16:00)定点饱食投喂, 投饵后1h采用虹吸法清除残饵料及排泄物, 经观察在投饵后5—6h为麦鲢鱼的排粪高峰期, 以虹吸法收集粪便于白盆(20 L)中, 用胶头滴管(5 mL)挑选新鲜成

表1 基础日粮和试验日粮的原料组成

Tab. 1 Ingredient compositions (g per kg) of reference and experimental diets

原料Ingredient	基础日粮Reference diet	试验日粮Test diet
国产鱼粉Domestic fish meal	580	406
玉米淀粉Corn starch	250	175
鱼油Fish oil	20	14
大豆油Soybean oil	50	35
蛋氨酸DL-Met (99%)	0.5	0.35
维生素混合物Vitamin premix <sup>1</sup>	2	1.4
矿物质混合物Mineral premix <sup>2</sup>	12	8.4
磷酸二氢钙Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	50	35
氯化胆碱Choline chloride (50%)	6	4.2
氧化钇Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1	0.7
微晶纤维素Microcrystalline cellulose	13.5	9.45
羧甲基纤维素Carboxymethyl cellulose	15	10.5
测试原料Test ingredient	0	300
总计Total	1 000	1 000

注: <sup>1</sup>维生素预混物(每千克日粮中): 维生素A, 2000 IU; 维生素B<sub>1</sub>, 5 mg; 维生素B<sub>2</sub>, 5 mg; 维生素B<sub>6</sub>, 5 mg; 维生素B<sub>12</sub>, 0.025 mg; 维生素D<sub>3</sub>, 1200 IU; 维生素E, 21 mg; 维生素K<sub>3</sub>, 2.5 mg; 叶酸, 1.3 mg; 生物素, 0.05 mg; 泛酸钙, 20 mg; 肌醇, 60 mg; 抗坏血酸(35%), 110 mg; 烟酰胺, 25 mg; <sup>2</sup>矿物质混合物(每千克日粮中): MnSO<sub>4</sub>, 10 mg; MgSO<sub>4</sub>, 10 mg; KCl, 95 mg; NaCl, 165 mg; ZnSO<sub>4</sub>, 20 mg; KI, 1 mg; CuSO<sub>4</sub>, 12.5 mg; FeSO<sub>4</sub>, 105 mg; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, 0.1 mg; Co, 1.5 mg

Note: <sup>1</sup>Vitamin premix (per kg of diet): vitamin A, 2000 IU; vitamin B<sub>1</sub> (thiamin), 5 mg; vitamin B<sub>2</sub> (riboflavin), 5 mg; vitamin B<sub>6</sub>, 5 mg; vitamin B<sub>12</sub>, 0.025 mg; vitamin D<sub>3</sub>, 1200 IU; vitamin E, 21 mg; vitamin K<sub>3</sub>, 2.5 mg; folic acid, 1.3 mg; biotin, 0.05 mg; pantothenic acid calcium, 20 mg; inositol, 60 mg; ascorbic acid (35%), 110 mg; nicotinamide, 25 mg; <sup>2</sup>Mineral premix (per kg of diet): MnSO<sub>4</sub>, 10 mg; MgSO<sub>4</sub>, 10 mg; KCl, 95 mg; NaCl, 165 mg; ZnSO<sub>4</sub>, 20 mg; KI, 1 mg; CuSO<sub>4</sub>, 12.5 mg; FeSO<sub>4</sub>, 105 mg; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, 0.1 mg; Co, 1.5 mg

表2 12种试验原料营养成分

Tab. 2 Nutrient composition of twelve test ingredients

试验原料 Test ingredient	干物质 DM (%)	粗蛋白CP (%)	粗脂肪 CL (%)	粗灰分 CA (%)	能量GE (kJ/g)	磷P (%)	钙Ca (%)	镁Mg (%)	锌Zn (μg/g)	铜Cu (μg/g)	铁Fe (μg/g)	锰Mn (μg/g)
国产鱼粉 DFM	90.99	60.44	11.70	21.57	16.54	2.67	3.86	0.36	132.72	18.96	76.01	34.38
白鱼粉 WFM	92.52	63.77	7.93	19.64	17.02	2.72	4.67	0.29	165.83	17.33	9.72	31.25
花生粕 PNM	91.85	58.87	4.44	5.56	17.38	0.74	0.37	0.52	100.15	18.36	21.91	52.09
白酒糟 DDGS	88.79	19.57	0.37	11.25	16.65	0.51	1.03	0.36	71.19	17.51	203.71	153.07
鸡肉粉CM	93.72	63.42	15.58	11.84	19.06	1.71	3.72	0.18	135.01	16.89	38.10	9.30
米糠RB	89.46	4.36	18.13	8.98	17.10	1.39	0.21	0.90	65.61	11.69	36.81	215.90
棉粕CSM	90.32	33.14	0.67	8.09	16.29	1.07	0.47	0.69	88.30	21.04	26.97	21.38
菜粕RSM	87.93	49.96	2.98	6.60	16.41	0.96	0.93	0.88	96.12	11.43	45.81	82.08
豆粕SBM	88.60	40.69	1.24	5.84	16.31	0.54	0.51	0.38	54.19	20.33	23.56	39.29
玉米蛋白粉 CGM	91.31	59.93	2.19	2.17	18.99	0.45	0.19	0.17	31.69	11.69	31.28	7.67
玉米酒糟 CDDGS	85.52	23.79	13.17	6.92	17.20	1.24	0.60	0.38	63.85	10.23	30.38	27.97
羽毛粉 FTM	90.24	79.79	1.07	13.07	16.15	0.06	0.60	0.06	—	14.86	121.08	24.31

注:表中数值为每个样品测定3个重复的平均值;“—”代表未检测出结果;干物质表示为试验原料风干基础下的含量,其余指标表示为干物质含量

Note: Values are the means of triplicate for each sample; “—” means the results could not be detected; DM is expressed on air-dry basis, other items are expressed on dry matter basis

表3 基础日粮和试验日粮的营养成分

Tab. 3 Nutrient composition of reference diet and test diets

饲料 Diet	干物质 DM (%)	粗蛋白CP (%)	粗脂肪 CL (%)	粗灰分 CA (%)	能量GE (kJ/g)	磷P (%)	钙Ca (%)	镁Mg (%)	锌Zn (mg/g)	铜Cu (μg/g)	铁Fe (mg/g)	锰Mn (μg/g)
基础日粮 Reference diet	87.42	47.27	12.96	15.95	16.70	2.37	4.75	0.30	0.41	19.11	1.00	72.37
国产鱼粉 DFM	87.59	55.98	11.33	17.02	16.59	2.49	4.61	0.36	0.34	18.74	0.94	52.06
白鱼粉 WFM	87.58	56.53	10.53	16.73	16.71	2.51	5.38	0.33	0.35	18.80	0.72	51.53
花生粕 PNM	87.56	55.17	10.01	12.07	16.91	1.87	3.44	0.30	0.32	21.56	0.71	66.55
白酒糟 DDGS	88.81	42.69	9.56	14.80	16.49	1.82	3.70	0.33	0.32	20.33	1.23	94.95
鸡肉粉CM	86.62	55.69	13.57	14.25	17.43	2.06	4.29	0.26	0.35	19.85	0.70	52.91
米糠RB	88.08	39.70	14.06	14.07	17.02	2.08	3.07	0.48	0.32	16.00	0.74	111.71
棉粕CSM	87.78	53.22	8.61	13.76	16.50	2.03	3.53	0.48	0.34	20.61	0.76	56.94
菜粕RSM	87.80	48.29	9.03	13.57	16.65	2.03	3.53	0.42	0.33	16.43	0.75	69.92
豆粕SBM	87.91	50.26	8.51	12.95	16.50	1.78	3.51	0.32	0.31	23.28	0.70	60.19
玉米蛋白粉 CGM	87.72	52.30	9.38	9.82	17.37	1.61	2.58	0.24	0.26	16.76	0.71	53.46
玉米酒糟 CDDGS	87.21	42.89	13.09	12.60	17.02	1.81	3.19	0.31	0.30	15.66	0.71	52.87
羽毛粉 FTM	88.63	57.92	10.12	15.26	16.39	1.77	3.60	0.26	—	17.37	1.20	64.21

注:表中数值为每个样品测定3个重复的平均值;“—”代表未检测出结果;干物质表示为日粮风干基础下的含量,其余指标表示为干物质含量

Note: Values are the means of triplicate for each sample; “—” means the results could not be detected; DM is expressed on air-dry basis, other items are expressed on dry matter basis

型、包膜完整的粪便于玻璃瓶中,置于60℃烘箱中烘干,密封于自封袋中并存于-20℃冰箱待测。试验采用循环水过滤系统,养殖水体不间断曝气增氧,水温为(26.0±2.0)℃,溶解氧(6.52±0.62) mg/L, pH 7.50±0.32, 氨氮低于0.05 mg/L,光照周期为自然光照周期。

### 1.3 指标测定与计算方法

日粮、试验原料和粪便样品中水分含量采用AOAC<sup>[8]</sup>的测定方法,即在105℃烘箱中烘干至恒重,测得干物质含量后进行生化分析;粗蛋白含量采用全自动凯氏定氮法(Kjeltec 2300 Analyzer, Foss Tecator, Sweden)测定样品中含氮量,之后乘以6.25得出粗蛋白含量;以索氏抽提法(乙醚作为溶剂)测定样品中粗脂肪的含量;总能采用氧弹仪(6200 Isoperibol Calorimeter, Illinois, USA)测定;粗灰分含量采用550℃灼烧法烧至恒重测定;样品中元素钇(Y),磷(P)、钙(Ca)、镁(Mg)、锌(Zn)、铜(Cu)、铁(Fe)、锰(Mn)的含量采用电感耦合等离子发射光谱仪(ICP-OES)(Optima8000DV, PerkinElmer, USA)测定。

基础日粮和试验日粮中营养物质的表观消化率计算公式如下:

日粮中干物质的表观消化率(%)=(1-日粮中 $Y_2O_3\%$ /粪便中 $Y_2O_3\%$ )×100;

日粮营养成分和能量的表观消化率(%)=[1-(日粮中 $Y_2O_3\%$ ×粪便营养成分%)/(粪便中 $Y_2O_3\%$ ×日粮营养成分%)]×100;

试验原料干物质、能量和营养成分的表观消

化率(%)=(试验日粮中某营养成分的表观消化率-0.7×基础日粮中某营养成分的表观消化率)/30×100。

### 1.4 数据统计与分析

所有实验结果以“平均值±标准误”表示,采用数据统计软件SPSS 20.0对实验所得数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA),当差异达到显著水平( $P<0.05$ )则进一步通过Duncan氏法进行多重比较分析。

## 2 结果

### 2.1 麦鲮对12种试验原料干物质、粗蛋白、粗脂肪和总能的表观消化率

麦鲮对12种试验原料干物质、粗蛋白、粗脂肪和总能的表观消化率测定结果见表4,试验原料主要营养成分和总能的表观消化率随原料种类的不同而表现出显著性差异( $P<0.05$ )。

麦鲮对12种试验原料干物质的消化率为24.93%—85.68%,其中白鱼粉、国产鱼粉、花生粕、豆粕和玉米蛋白粉干物质表观消化率显著高于其他试验原料( $P<0.05$ );鸡肉粉和米糠次之,且鸡肉粉显著高于米糠( $P<0.05$ );随后是菜粕、玉米酒糟和羽毛粉,且这三者无显著性差异( $P>0.05$ );棉粕和白酒糟的干物质表观消化率显著低于其他试验原料( $P<0.05$ ),且白酒糟的干物质表观消化率显著低于棉粕( $P<0.05$ ),仅为24.93%。

麦鲮对12种原料粗蛋白表观消化率为50.02%—97.40%。国产鱼粉、白鱼粉和花生粕的粗蛋白表观消化率显著高于其他试验原料( $P<0.05$ );菜粕、

表4 麦鲮对12种试验原料干物质、粗蛋白、粗脂肪和总能的表观消化率

Tab. 4 Apparent digestibility of dry matter, crude protein, crude lipid and gross energy of twelve ingredients for *Cirrhinus mrigala* (%)

试验原料Test ingredient	干物质DM	粗蛋白CP	粗脂肪CL	总能GE
国产鱼粉DFM	83.37±1.21 <sup>a</sup>	93.42±1.58 <sup>a</sup>	73.84±0.85 <sup>c</sup>	94.22±0.86 <sup>a</sup>
白鱼粉WFM	84.89±1.55 <sup>a</sup>	97.40±2.07 <sup>a</sup>	78.21±0.60 <sup>cd</sup>	96.39±0.77 <sup>a</sup>
花生粕PNM	85.68±1.81 <sup>a</sup>	94.57±1.65 <sup>a</sup>	90.96±1.00 <sup>a</sup>	88.68±1.12 <sup>b</sup>
白酒糟DDGS	24.93±0.31 <sup>f</sup>	50.02±1.70 <sup>c</sup>	60.53±1.65 <sup>f</sup>	39.18±0.25 <sup>g</sup>
鸡肉粉CM	74.91±1.99 <sup>b</sup>	81.04±1.76 <sup>b</sup>	80.53±0.59 <sup>bc</sup>	90.12±0.87 <sup>b</sup>
米糠RB	67.16±0.84 <sup>c</sup>	73.25±1.48 <sup>c</sup>	94.02±1.54 <sup>a</sup>	78.31±1.47 <sup>d</sup>
棉粕CSM	45.44±1.01 <sup>c</sup>	81.91±0.44 <sup>b</sup>	75.46±0.93 <sup>de</sup>	59.75±0.66 <sup>f</sup>
菜粕RSM	51.87±1.13 <sup>d</sup>	84.95±1.21 <sup>b</sup>	51.89±2.29 <sup>e</sup>	56.93±0.60 <sup>f</sup>
豆粕SBM	82.77±1.39 <sup>a</sup>	84.17±1.79 <sup>b</sup>	71.50±1.71 <sup>c</sup>	85.39±1.05 <sup>c</sup>
玉米蛋白粉CGM	82.78±1.82 <sup>a</sup>	75.09±1.76 <sup>c</sup>	61.16±0.87 <sup>f</sup>	84.11±0.74 <sup>c</sup>
玉米酒糟CDDGS	52.45±2.42 <sup>d</sup>	75.19±1.49 <sup>c</sup>	82.92±1.70 <sup>b</sup>	64.01±1.41 <sup>c</sup>
羽毛粉FTM	55.28±2.18 <sup>d</sup>	60.5±1.48 <sup>d</sup>	61.95±0.85 <sup>f</sup>	58.66±0.49 <sup>f</sup>

注:表中值为平均值±标准误( $n=3$ );同一列中标不同字母的平均值间差异显著( $P<0.05$ ),标相同字母的平均值间差异不显著( $P>0.05$ );下同

Note: values are means ± SE ( $n=3$ ); the different capital letters in the same column and small letters in the row stand for significant difference at 0.05; the same applies below

豆粕、棉粕和鸡肉粉次之, 四者差异不显著( $P>0.05$ ); 随后是玉米蛋白粉和玉米酒糟; 白酒糟的粗蛋白表观消化率最低仅为50.02%, 显著低于其余试验原料( $P<0.05$ )。

麦鲮对12种试验原料粗脂肪的表观消化率为51.89%—94.02%, 米糠和花生粕的粗脂肪消化率最高; 玉米酒糟和鸡肉粉次之; 随后的白鱼粉和棉粕粗脂肪消化率在75%以上, 国产鱼粉和豆粕的粗脂肪消化率在71%以上且与棉粕无显著差异( $P>0.05$ ), 但显著低于白鱼粉( $P<0.05$ ); 麦鲮对白酒糟、玉米蛋白粉、羽毛粉和菜粕的粗脂肪表观消化率较差, 仅在61.95%以下。

麦鲮对12种试验原料总能的表现消化率为39.18%—96.39%。白鱼粉和国产鱼粉的总能表现消化率显著高于其他试验原料( $P<0.05$ ), 两者之间无显著差异( $P>0.05$ ); 鸡肉粉、花生粕、豆粕和玉米蛋白粉的总能表现消化率也较高, 达到84%以上, 前两者显著高于后两者( $P<0.05$ ), 并且前两者与后两者之间都无显著性差异( $P>0.05$ ); 米糠、玉米酒糟、棉粕、菜粕和白酒糟中能量的利用率较差, 显著低于豆粕和玉米蛋白粉( $P<0.05$ ), 利用范围为39.18%—78.31%。

## 2.2 麦鲮对12种试验原料中矿物质元素的表现消化率

麦鲮对12种试验原料中7种矿物质元素的表现消化率测定结果见表5。

麦鲮对12种试验原料中总磷的表观消化率范围为9.72%—87.37%, 且各种原料之间差异显著( $P<0.05$ ), 羽毛粉显著高于其他试验原料( $P<0.05$ ),

其次为米糠; 最低为鸡肉粉(9.72%), 显著低于其余试验原料( $P<0.05$ )。钙元素的表现消化率范围为3.47%—25.92%, 总体较低, 以豆粕、白鱼粉和羽毛粉最高, 三者差异不显著( $P>0.05$ ); 以鸡肉粉最低。麦鲮对12种试验原料中镁的表观消化率范围为26.11%—88.25%, 其中羽毛粉、豆粕和玉米酒糟的镁的表观消化率显著高于其余试验原料( $P<0.05$ ); 以鸡肉粉最低, 差异显著( $P<0.05$ )。麦鲮对12种试验原料中锌的表观消化率范围为12.63%—66.35%, 最高的为米糠, 最低的为棉粕。铜在12种试验原料中的表观消化率范围为41.33%—104.86%, 羽毛粉显著高于其余试验原料中铜的表观消化率( $P<0.05$ ), 菜粕则显著低于其他试验原料( $P<0.05$ )。麦鲮对12种试验原料中铁的表观消化率在10.69%—91.84%, 羽毛粉显著高于其余试验原料( $P<0.05$ ), 达到91%以上; 其次为米糠和棉粕, 且米糠显著高于棉粕( $P>0.05$ ), 鸡肉粉则显著低于其余试验原料( $P<0.05$ )。麦鲮对锰的表观消化率的波动范围为4.42%—85.49%, 最高的为羽毛粉, 其次为米糠, 最低为白酒糟, 仅在34%以下。

## 3 讨论

### 3.1 麦鲮对12种试验原料中主要营养物质和能量的表观消化率

干物质和能量的消化率情况体现了鱼类对饲料原料总体的消化利用水平的高低, 是评判饲料原料可消化能量和物质的指标。高纤维素含量和高灰分含量的饲料会降低鱼类对其他营养物质和能量的表观消化率<sup>[9, 10]</sup>。本实验中12种试验原料的总

表5 麦鲮对12种试验原料中7种矿物质元素的表现消化率

Tab. 5 Apparent digestibility of seven minerals of twelve ingredients for *Cirrhinus mrigala* (%)

试验原料Test ingredient	磷P	钙Ca	镁Mg	锌Zn	铜Cu	铁Fe	锰Mn
国产鱼粉DFM	49.38±1.90 <sup>c</sup>	20.87±0.87 <sup>b</sup>	42.64±0.86 <sup>e</sup>	21.75±0.76 <sup>c</sup>	48.18±1.06 <sup>f</sup>	58.08±0.98 <sup>c</sup>	24.63±0.76 <sup>f</sup>
白鱼粉WFM	54.70±1.05 <sup>d</sup>	25.92±0.60 <sup>a</sup>	46.96±0.92 <sup>f</sup>	27.58±0.88 <sup>d</sup>	53.14±0.70 <sup>e</sup>	58.33±1.24 <sup>c</sup>	26.22±0.98 <sup>f</sup>
花生粕PNM	45.23±2.19 <sup>c</sup>	15.15±0.60 <sup>c</sup>	66.52±1.19 <sup>c</sup>	14.17±0.61 <sup>f</sup>	93.16±1.13 <sup>c</sup>	33.59±1.39 <sup>e</sup>	33.76±0.85 <sup>d</sup>
白酒糟DDGS	22.53±0.94 <sup>e</sup>	11.34±0.82 <sup>d</sup>	64.52±1.33 <sup>cd</sup>	19.61±0.47 <sup>c</sup>	—	—	4.42±1.04 <sup>j</sup>
鸡肉粉CM	9.72±1.25 <sup>i</sup>	3.47±0.53 <sup>e</sup>	26.11±0.43 <sup>i</sup>	25.97±0.71 <sup>d</sup>	47.98±1.43 <sup>f</sup>	10.69±0.38 <sup>b</sup>	20.61±0.89 <sup>e</sup>
米糠RB	71.50±0.55 <sup>b</sup>	4.74±0.79 <sup>fg</sup>	79.55±1.31 <sup>b</sup>	66.35±0.65 <sup>a</sup>	83.89±1.26 <sup>d</sup>	81.6±0.97 <sup>b</sup>	79.08±1.47 <sup>b</sup>
棉粕CSM	14.81±0.53 <sup>h</sup>	5.57±0.68 <sup>fg</sup>	65.57±4.63 <sup>cd</sup>	12.63±0.37 <sup>f</sup>	95.60±0.85 <sup>bc</sup>	60.57±0.46 <sup>c</sup>	16.78±1.22 <sup>h</sup>
菜粕RSM	23.58±1.18 <sup>e</sup>	9.32±0.08 <sup>dc</sup>	54.34±1.78 <sup>c</sup>	24.92±1.75 <sup>d</sup>	41.33±1.30 <sup>e</sup>	46.59±0.86 <sup>c</sup>	60.94±1.89 <sup>c</sup>
豆粕SBM	62.71±1.31 <sup>c</sup>	25.90±1.55 <sup>a</sup>	87.01±0.75 <sup>a</sup>	50.65±0.88 <sup>b</sup>	98.59±1.20 <sup>b</sup>	38.92±0.82 <sup>f</sup>	7.21±0.93 <sup>ij</sup>
玉米蛋白粉CGM	56.33±1.77 <sup>d</sup>	6.84±1.20 <sup>ef</sup>	62.17±0.89 <sup>d</sup>	18.61±1.33 <sup>c</sup>	92.39±1.82 <sup>c</sup>	46.93±0.70 <sup>c</sup>	8.29±0.80 <sup>i</sup>
玉米酒糟CDDGS	37.13±1.19 <sup>f</sup>	11.70±0.52 <sup>d</sup>	86.28±0.94 <sup>a</sup>	32.43±1.55 <sup>c</sup>	92.16±0.79 <sup>c</sup>	51.25±1.07 <sup>d</sup>	29.94±1.11 <sup>c</sup>
羽毛粉FTM	87.37±0.60 <sup>a</sup>	24.06±0.81 <sup>a</sup>	88.25±0.83 <sup>a</sup>	—	104.86±1.26 <sup>a</sup>	91.84±1.36 <sup>a</sup>	85.49±1.48 <sup>a</sup>

注: “—”代表未检测出结果

Note: “—” means the results could not be detected

能表观消化率与干物质的结果较为类似, 其中白鱼粉、国产鱼粉、花生粕、豆粕和玉米蛋白粉花生粕的干物质消化率最高, 动物性原料中的鸡肉粉的干物质消化率显著高于棉粕、菜粕、玉米酒糟、米糠和白酒糟这些植物性原料。花生粕、豆粕和玉米蛋白粉的干物质和总能的表现消化率都较高, 可能是由于这三种原料粗灰分和粗纤维含量都很低, 麦鲮能对其较好的吸收和利用。羽毛粉的蛋白含量很高, 达到80%以上, 但其干物质和能量的消化率均较低, 可能因其含有大量的二硫键而难以被水解利用, 适口性和氨基酸平衡性都很差<sup>[11]</sup>。部分植物性原料(米糠、棉粕、菜粕和两种酒糟原料)的干物质和总能表现消化率低于动物性原料(除羽毛粉外), 可能是因为这些原料中碳水化合物含量较高而脂肪含量较低, 其次是由于植物性原料中含有多种抗营养物质而影响饲料的适口性并降低鱼类对饲料中营养物质和能量的消化吸收, 再者可能因为其纤维素含量较高, 鱼体内又缺乏纤维素酶, 导致饲料在肠道内移动速率快而使得干物质和总能消化率明显降低<sup>[12]</sup>。

鱼类饲料配方制作过程中蛋白质的来源和质量对于鱼类的生长十分重要, 蛋白质的消化率也是饲料原料消化率测定中最重要的指标之一<sup>[13]</sup>。本试验测得白鱼粉、国产鱼粉和花生粕的粗蛋白表观消化率达到93%以上, 表明鱼粉是麦鲮饲料中很好的蛋白质来源, 与中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)<sup>[14]</sup>、石斑鱼(*Epinephelus coioides*)<sup>[15]</sup>、大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)<sup>[16]</sup>、大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)<sup>[17]</sup>、胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)<sup>[18]</sup>等结果类似, 但鱼粉价格逐年上涨并且产量下降, 寻找可替代的、廉价的饲料蛋白源已成为水产饲料开发的关键。花生粕粗蛋白的消化率也很高, 这可能是因为本试验所采用的为去壳处理后的花生粕, 其抗营养因子和纤维素含量明显下降<sup>[19]</sup>, 并含有较高的具有抗氧化、提高免疫力等作用黄酮类化合物<sup>[20]</sup>, 可作为麦鲮配合饲料中的主要蛋白质来源。玉米蛋白粉作为高蛋白、无抗营养因子并且纤维素、灰分含量较低的植物性原料, 在鲤(*Cyprinus carpio Linnaeus*)<sup>[21]</sup>、尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)<sup>[22]</sup>和暗纹东方鲀(*Takifugu obscurus*)<sup>[23]</sup>中粗蛋白消化率都较高(89%以上), 甚至高于鱼粉, 但是本试验中玉米蛋白粉的粗蛋白表观消化率较低, 只有75.09%, 显著低于鱼粉等原料, 这种差异可能由于鱼种类的不同、原料的来源以及制作方式和其质量优劣等因素引起。麦鲮对鸡肉粉、豆粕、棉粕和菜粕的粗蛋白表观消化率较为相似, 鸡肉粉含有高蛋白但显著低于鱼粉

的蛋白表观消化率, 可能是由于其高类脂肪含量而影响了蛋白质的消化吸收; 豆粕的粗蛋白消化率也显著低于鱼粉以及白鱼粉, 而与其在青鱼(*Mylopharyngodon piceus Richardson*)<sup>[24]</sup>、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)<sup>[25]</sup>、团头鲂(*Megalobrama amblycocephala Yih*)<sup>[26]</sup>等鱼类中结果相反, 这可能是本试验中购买的豆粕质量稍差而导致的; 棉粕和菜粕作为常用的饲料原料, 因其含有抗营养物质会降低营养物质的吸收<sup>[3]</sup>, 但随着鱼体的生长这种影响会逐渐降低<sup>[27]</sup>, 本试验结果表明麦鲮幼鱼阶段即对这两种常见原料的粗蛋白利用较好。玉米酒糟、白酒糟和米糠的粗蛋白利用率较差这可能是氨基酸品质较差和原料中纤维素含量较高而导致的。

在一般情况下, 鱼类可以高效利用脂肪<sup>[28]</sup>。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<sup>[29]</sup>。12种饲料原料中米糠和花生粕粗脂肪表观消化率最高, 与团头鲂<sup>[30]</sup>基本一致。本试验中米糠作为含高脂肪(18.13%)的能量饲料, 麦鲮对其粗脂肪表观消化率高达94.02%, 表明麦鲮可以高效利用米糠中脂肪作为能源供给自身生长, 米糠可作为其配合饲料中较好的脂肪来源。玉米酒糟和鸡肉粉粗脂肪消化率也较高, 达到80%以上。在四大粕类中, 花生粕粗脂肪消化率最高, 高于国产鱼粉和白鱼粉, 可能是花生粕中抗营养因子和脂肪含量都很低的结果, 而棉粕和豆粕则和国产鱼粉相差无几, 这表明鲮鱼对动物性原料和植物性原料中的脂肪都可以较好的利用, 与青鱼<sup>[31, 32]</sup>、团头鲂<sup>[30]</sup>、草鱼<sup>[33]</sup>等鲤科鱼类较为类似。玉米蛋白粉和羽毛粉粗脂肪表观消化率都很低, 这可能与适口性差及加工工艺等因素相关。

### 3.2 麦鲮对12种试验原料中7种矿物质元素的表观消化率

鱼类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<sup>[11]</sup>。为了避免饲料中可能会出现某些矿物质元素的缺乏, 鱼类饲料配方中通常会额外添加矿物质元素; 然而原料中含有的许多化合物会通过直接或间接的方式进一步降低添加到饲料中的矿物质元素的利用率<sup>[34]</sup>, 进而造成资源的浪费。因此, 了解原料本身矿物质元素的表观消化率, 对于优化饲料配方、减少水体污染和降低养殖成本具有重要意义。

磷作为鱼体成分的重要元素, 植物性原料在鱼类饲料配方中作为蛋白来源时, 对其消化率的研究非常重要。植物性原料中磷主要以植酸结合形式存在, 但鱼类缺乏可以分解植酸的植酸酶而导致磷

的利用率下降<sup>[11]</sup>,这反映在棉粕、菜粕、白酒糟和玉米酒糟这些原料磷的表现消化率均较低。而麦鲮对豆粕中磷的表现消化率则较高,可能是本实验中用到的豆粕在加工过程中经过高温处理破坏部分植酸使其有机植酸磷的消化率升高。羽毛粉中磷的消化率最高,可能与其本身磷含量较低有关。有研究指出鱼粉中磷的消化率与鱼粉的灰分含量成反比<sup>[35]</sup>,两种鱼粉中白鱼粉的磷表现消化率相对更高,本试验中白鱼粉灰分含量低于国产鱼粉,结果证实了以上说法。鱼粉和鸡肉粉中磷含量较高,均在1.71%以上,高于麦鲮对磷的需求量从而降低其利用率;另一方面,由于鱼粉和鸡肉粉中磷多以羟基磷石灰和磷酸钙的形式存在,麦鲮作为杂食性鱼类并无胃酸,难以分解利用其中的磷,因此对于鱼粉中磷的利用率比鲤<sup>[36]</sup>、青鱼<sup>[24]</sup>等无胃鱼高,而低于斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)<sup>[37]</sup>和虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)<sup>[36]</sup>等有胃鱼。

麦鲮对12种饲料原料中钙的表现消化率普遍较低,除鸡肉粉外,动物性原料要高于植物性原料,这一结果与虹鳟和罗非鱼<sup>[38]</sup>中相似。植物性饲料中钙的含量低于动物性原料却更难以被吸收利用,可能是受机体内源性损失<sup>[39]</sup>或是植物性原料中肌醇六磷酸、纤维素和其他的化合物存在的影响而降低其利用率<sup>[40]</sup>。

镁的利用率与磷和钙相似,饲料原料中灰分含量越高其利用率越低,并且在鸡<sup>[41]</sup>、猪<sup>[42]</sup>、人<sup>[43]</sup>中饮食中磷和钙含量的提高会降低镁的吸收和利用,本试验结果也与此结论相吻合。对于锌、铜、铁和锰这四种微量元素,麦鲮对12种饲料原料的利用能力均不同,其中铜的利用率普遍较高,植物性原料的铜和锰利用率普遍高于动物性原料,而铁则相反;羽毛粉的铜和铁的利用率都很高,可以作为较好的饲料中铁和铜的来源。

综上所述,麦鲮对国产鱼粉、白鱼粉、花生粕、豆粕和玉米蛋白粉中干物质、粗蛋白、粗脂肪和总能利用都较好,可以作为麦鲮配合饲料中较好的原料。鸡肉粉、菜粕和棉粕的蛋白含量较高、价格较低且粗蛋白利用率也较高,可在配合饲料中适量添加以降低饲料成本。米糠蛋白含量低但含高脂肪,总能和矿物质消化率较高,可作为配合饲料中较好的脂肪、能量和矿物质来源,白酒糟、玉米酒糟和羽毛粉不适宜作为麦鲮饲料原料的来源,但羽毛粉可能由于其特殊的加工方式以及本身的营养状态,大部分矿物质元素的消化率也较高,可作为饲料中额外补充矿物质元素的潜在原料。

## 参考文献:

- [1] Tacon A G J, Metian M. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects [J]. *Aquaculture*, 2008, **285**(1): 146—158
- [2] Han Q W, Liang M Q, Yao H B, *et al.* Effects of seven feed ingredients on growth performance, and liver and intestine histology of *Lateolabrax japonicus* [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2011, **32**(1): 32—39 [韩庆炜, 梁萌青, 姚宏波, 等. 鲈鱼对7种饲料原料的表现消化率及其对肝脏、肠道组织结构的影响. 渔业科学进展, 2011, **32**(1): 32—39]
- [3] Halver J E, Hardy R W. *Fish Nutrition* (3<sup>rd</sup> edition) [M]. Amsterdam: Academic Press. 2002, 88
- [4] Chang Q, Liang M Q, Wang J L, *et al.* Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, **29**(2): 175—171 [常青, 梁萌青, 王家林, 等. 花鲈对不同饲料原料的表现消化率. 水生生物学报, 2005, **29**(2): 175—171]
- [5] Jafri A K. Evaluation of digestibility coefficients of some carbohydrate-rich feedstuffs for Indian major carp fingerlings [J]. *Aquaculture Research*, 1998, **29**(7): 511—519
- [6] Ashraf M, Ayub M, Rauf A. Effect of different feed ingredients and low temperature on diet acceptability, growth and survival of mrigal, *Cirrhinus mrigala*, fingerlings [J]. *Pakistan Journal of Zoology*, 2008, **40**(2): 83
- [7] Cho C Y, Kaushik S J. Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *World Review of Nutrition and Dietetics*, 1990, **61**: 132—172
- [8] Williams S. Official methods of analysis of official analytical chemists [J]. *AOAC Publications, Virginia, USA*, 1984, **153**: 503
- [9] 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): 321—334
- [10] Kirchgessner M, Kürzinger H, Schwarz F J. Digestibility of crude nutrients in different feeds and estimation of their energy content for carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. *Aquaculture*, 1986, **58**(3): 185—194
- [11] Wang W J, Chi S H, 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现消化率的研究. 动物营养学报, 2012, **24**(12): 2402—2414]
- [12] National Research Council (US). Committee on Animal Nutrition. Nutrient Requirements of Fish [M]. Course Technology. 1993, 43—44

- [13] Fox J M, Lawrence A L, Li-Chan E. Dietary requirement for lysine by juvenile *Penaeus vannamei* using intact and free amino acid sources [J]. *Aquaculture*, 1995, **131**(3): 279—290
- [14] 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. 水产学报, 2007, **31**(B09): 116—121]
- [15] 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
- [16] Li H T, Mai K S, Ai Q H, et al. Apparent digestibility of selected protein ingredients for larger yellow croaker *Pseudosciaena crocea* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, **31**(3): 370—376 [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. 水生生物学报, 2007, **31**(3): 370—376]
- [17] Wang G J, Wu R Q, Xie J, et al. Research on apparent digestibility of several feed ingredients for largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Fishery Modernization*, 2008, **35**(6): 36—39 [王广军, 吴锐全, 谢骏, 等. 大口黑鲈对四种蛋白质饲料原料的表观消化率研究. 渔业现代化, 2008, **35**(6): 36—39]
- [18] Yuan Y, Gong S, Yang H, et al. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus* [J]. *Aquaculture*, 2010, **306**(1): 238—243
- [19] Liang D N, Jiang X J, Liu W B, et al. Nutrient apparent digestibility of seven kinds of feed ingredients for Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2010, **22**(6): 1592—1598 [梁丹妮, 姜雪姣, 刘文斌, 等. 建鲤对7种饲料原料中营养物质的表观消化率. 动物营养学报, 2010, **22**(6): 1592—1598]
- [20] Mei N, Zhou W M, Hu X Y, et al. Analysis on the nutrient composition of peanut meals [J]. *Journal of Northwestern Agricultural University*, 2007, **16**(3): 96—99 [梅娜, 周文明, 胡晓玉, 等. 花生粕营养成分分析. 西北农业学报, 2007, **16**(3): 96—99]
- [21] Pongmaneerat J, Watanabe T. Nutritive value of protein of feed ingredients for carp *Cyprinus carpio* [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1991, **57**(3): 503—510
- [22] Köprüçü K, Özdemir Y. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Aquaculture*, 2005, **250**(1): 308—316
- [23] Zhong G F, Han B, Hua X M, et al. Apparent digestibility coefficients (ADC) of selected protein feed ingredients and the effect of dietary multi-enzyme on ADC of *Takifugu obscurus* [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2012, **21**(2): 241—246 [钟国防, 韩斌, 华雪铭, 等. 暗纹东方鲀对几种蛋白质原料表观消化率及酶制剂对其消化能力的影响. 上海大学学报, 2012, **21**(2): 241—246]
- [24] Ming J H, Ye J Y, Zhang Y X, et al. Nutrient apparent digestibility in seven feed ingredients for two-year-old black carp (*Mylopharyngodon piceus* Richardson) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, **26**(1): 161—169 [明建华, 叶金云, 张易祥, 等. 2龄青鱼对7种饲料原料中营养物质的表观消化率. 动物营养学报, 2014, **26**(1): 161—169]
- [25] Law A T. Digestibility of low-cost ingredients in pelleted feed by grass carp (*Ctenopharyngodon idella* C. et V.) [J]. *Aquaculture*, 1986, **51**(2): 97—103
- [26] Wu J K, Yong W Y. Apparent digestibility and digestible energy of 12 feedstuffs for bluntnose black bream (*Megalobrama amblycephala* Yih) [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1995, **2**(3): 55—62 [吴建开, 雍文岳. 团头鲂 (*Megalobrama amblycephala* Yih) 对12种饲料原料消化率和可消化能的测定. 中国水产科学, 1995, **2**(3): 55—62]
- [27] Liu W, Wen H, Jiang M, et al. Apparent digestibility coefficients of adult *Oreochromis niloticus* to ingredients of eight common botanical feeds [J]. *Journal of Northwestern A&F University* (Nat. Sci. Ed.), 2015, **43**(4): 17—25 [刘伟, 文华, 蒋明, 等. 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. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2015, **43**(4): 17—25]
- [28] 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): 441—451
- [29] Wu J K, 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. 中国水产科学, 2000, **7**(2): 37—42]
- [30] Jiang X J, Liang D N, Liu W B, et al. Apparent digestibility of eight unconventional feed ingredients for *Megalobrama amblycephala* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, **123**(31): 420 [姜雪姣, 梁丹妮, 刘文斌, 等. 团头鲂对8种非常规饲料原料中营养物质的表观消化率. 水产学报, 2011, **123**(31): 420]
- [31] Liu Y L, Zhu Y Z, Chen H D. Digestibility of black carp to fourteen fish feeds [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 1990, **6**: 166—169 [刘玉良, 朱雅珠, 陈慧达. 青鱼对十四种饲料的消化率. 水产科技情报, 1990, **6**: 166—169]
- [32] You W Z, Yong W Y, Wu D H. Evaluation of nutritive value of 11 feed ingredients for black carp (*Mylopharyngodon piceus*) [J]. *Freshwater Fisheries*, 1993, **23**(1): 8—12 [游文章, 雍文岳, 吴达辉. 十一种青鱼饲料原料营养价值的评定. 淡水渔业, 1993, **23**(1): 8—12]
- [33] Jiang M, Wen H, Yong W Y, et al. Apparent digestibility of grass carp for 9 feed ingredients in two methods of fecal collection [J]. *Freshwater Fisheries*, 2006, **36**(3):



- 21—25 [蒋明, 文华, 雍文岳, 等. 用两种粪便收集方法测定草鱼对九种饲料原料的表观消化率. 淡水渔业, 2006, **36**(3): 21—25]
- [34] Hilton J W. The interaction of vitamins, minerals and diet composition in the diet of fish [J]. *Aquaculture*, 1989, **79**(1): 223—244
- [35] Yone Y, Toshima N. The utilization of phosphorus in fish meal by carp and black sea bream [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1979, **45**(6): 753—756
- [36] Ogino C, Takeuchi T, Takeda H, *et al.* Availability of dietary phosphorus in carp and rainbow trout [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1979, **12**: 1527—1532
- [37] Wilson R P, Robinson E H, Gatlin 3rd D M, *et al.* Dietary phosphorus requirement of channel catfish [J]. *The Journal of Nutrition*, 1982, **112**(6): 1197—1202
- [38] 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): 177—202
- [39] Brenton D P. Calcium, phosphate and magnesium metabolism, clinical physiology and diagnostic procedures [J]. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 1977, **70**(7): 511—512
- [40] Champagne E T. Low gastric hydrochloric acid secretion and mineral bioavailability [J]. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1989, **249**: 173
- [41] Nugara D, Edwards H M. Influence of dietary Ca and P levels on the Mg requirement of the chick [J]. *The Journal of Nutrition*, 1963, **80**(2): 181—184
- [42] O'Dell B L, Morris E R, Regan W O. Magnesium requirement of guinea pigs and rats effect of calcium and phosphorus and symptoms of magnesium deficiency [J]. *The Journal of Nutrition*, 1960, **70**(1): 103—111
- [43] Alcock N, MacIntyre I. Inter-relation of calcium and magnesium absorption [J]. *Clinical Science*, 1962, **22**: 185—193

## COMPARATIVE RESEARCH ON APPARENT DIGESTIBILITY OF TWELVE INGREDIENTS FOR JUVENILE *CIRRHINUS MRIGALA*

FANG Jin-Guang, LIANG Xu-Fang, LIU Li-Wei, WANG Qing-Chao, YUAN Xiao-Chen and HE Shan

(College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Key Lab of Freshwater Animal Breeding, Ministry of Agriculture, Freshwater Aquaculture Collaborative Innovation Center of Hubei Province, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** Apparent digestibility coefficients of dry matter (DM), crude protein (CP), crude lipid (CL), gross energy (GE), P, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe and Mn in domestic fish meal (DFM), white fish meal (WFM), peanut meal (PNM), DDGS, chicken meal (CM), rice bran (RB), cottonseed meal (CSM), rapeseed meal (RSM), soybean meal (SBM), corn gluten meal (CGM), corn DDGS (CDDGS) and feather meal (FTM) were determined for juvenile *Cirrhinus mrigala* (3.88±0.06) g. The results showed that apparent digestibility of dry matter, crude protein, crude lipid, gross energy, P, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe and Mn of twelve ingredients were among 24.93%—85.68%, 50.02%—97.40%, 51.89%—94.02%, 39.18%—96.39%, 9.72%—87.37%, 3.47%—25.92%, 26.11%—88.25%, 12.63%—66.35%, 41.33%—104.86%, 10.69%—91.84%, and 4.42%—85.49%, respectively. DFM and WFM had the highest apparent digestibility of dry matter, crude protein and gross energy. In other ingredients except for fish meal, PNM, SBM and CGM had the highest apparent digestibility of dry matter. PNM had the highest apparent digestibility of crude protein. RB and PNM showed the highest apparent digestibility of crude lipid. PNM and CM had the highest apparent digestibility of gross energy. DDGS showed the lowest apparent digestibility of dry matter, crude protein, crude lipid, and gross energy. As for apparent digestibility coefficients of minerals, FTM had the highest apparent digestibility of P, Cu, Fe and Mn. RB had the highest apparent digestibility of Zn. WFM, SBM and FTM had the highest apparent digestibility of Ca. SBM, FTM and CDDGS had the highest apparent digestibility of Mg. CM had the lowest apparent digestibility of P, Ca, Mg and Fe. PNM and CSM had the lowest apparent digestibility of Zn. RSM showed the lowest apparent digestibility of Cu and DDGS had the lowest apparent digestibility of Mn. These results indicate that PNM, SBM and CGM are good protein sources for juvenile *C. mrigala* to replace fish meal, and that RB could be used as superior energy source, and that FTM could be considered as the potential source of minerals, and that DDGS showed the lowest nutritional value for juvenile *C. mrigala* among all the selected ingredients.

**Key words:** *Cirrhinus mrigala*; Test ingredients; Apparent digestibility