

青鱼对 8 种饲料原料中营养物质的表观消化率

明建华¹ 叶金云^{1*} 张易祥¹ 吴成龙¹ 杨霞¹ 刘黎²

(1. 湖州师范学院生命科学学院, 湖州 313000; 2. 大连海洋大学水产与生命学院, 大连 116023)

摘要: 本试验旨在研究青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*) 对国产鱼粉、蝇蛆粉、玉米蛋白粉、大豆粕、花生粕、棉籽粕、菜籽粕和米糠 8 种饲料原料干物质、粗蛋白质、氨基酸、粗脂肪、总磷和总能的表观消化率。试验饲料由 70% 基础饲料和 30% 待测饲料原料组成, 并以 0.1% 的三氧化二钇 (Y_2O_3) 为外源指示剂。选取平均体重为 (60.17 ± 1.28) g 的青鱼 270 尾, 随机分成 9 组, 每组 3 个重复, 每个重复 10 尾鱼。对照组试验鱼饲喂基础饲料, 试验组试验鱼分别饲喂 1 种试验饲料。饲喂 1 周后采用自排法收集粪便待测。结果表明: 8 种饲料原料的干物质、粗蛋白质、粗脂肪、总磷、总能以及总氨基酸的表观消化率的范围分别是 62.17% ~ 86.47%、83.34% ~ 95.84%、78.93% ~ 100.06%、37.33% ~ 81.99%、66.75% ~ 89.86%、86.33% ~ 96.58%。在 8 种饲料原料中, 玉米蛋白粉的干物质、总磷和总能的表观消化率最高, 而大豆粕的粗蛋白质、粗脂肪和总氨基酸的表观消化率最高; 棉籽粕的干物质和总能的表观消化率最低, 米糠的粗脂肪和总磷的表观消化率最低。各饲料原料中总氨基酸表观消化率与粗蛋白质表观消化率的变化趋势一致, 其中以蝇蛆粉最低。由此可见, 大豆粕和玉米蛋白粉是青鱼的优质植物蛋白质源, 可适量替代鱼粉; 蝇蛆粉中粗蛋白质和氨基酸的消化率都较低, 在青鱼饲料中的添加量不宜过高; 花生粕、棉籽粕和菜籽粕也是较好的植物性蛋白质源, 在青鱼饲料中适量添加既有利于饲料的营养平衡, 还可降低饲料成本; 米糠作为青鱼的能量原料必须保持新鲜, 并控制其在饲料中的用量。

关键词: 青鱼; 饲料原料; 营养物质; 表观消化率

中图分类号: S963

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2012)10-2050-09

随着水产养殖规模的不断扩大, 对水产饲料的需求也逐步提高。在我国可作为饲料原料的品种繁多, 来源广泛, 但质量参差不齐, 因此测定鱼类对饲料原料中营养物质的表观消化率是评定饲料原料营养价值的重要途径, 也是编制营养全面、成本合理的鱼用配合饲料配方必不可少的重要步骤^[1-2]。这对于提高水产饲料的消化利用率、减少饲料物质对养殖水域环境的污染具有关键性的作用。青鱼 (*Mylopharyngodon piceus* Richardson) 是我国传统淡水养殖的“四大家鱼”之一, 据《2011 中国渔业统计年鉴》^[3], 我国养殖青鱼年产量为 42.4

万 t, 因此对青鱼配合饲料的需求旺盛。目前, 有关青鱼对饲料原料中营养物质表观消化率的报道还很少。20 世纪 90 年代初, 刘玉良等^[4]研究了青鱼幼鱼 (25 g) 对 14 种饲料原料中营养物质的表观消化率, 并测算了总能及可消化能; 游文章等^[5]报道了青鱼鱼苗 (5 g) 对 11 种饲料原料中营养物质的表观消化率, 并根据测定结果评价了这些饲料原料的营养价值。但迄今为止, 关于青鱼对饲料原料中氨基酸表观消化率的研究仍属空白。另外, 经过近 20 年的发展, 由于加工工艺以及原料来源的变化, 饲料原料的特性发生了一定的变化。

收稿日期: 2012-04-01

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金资助 (CARS-46-21); 浙江省重大科技专项 (2010C02001); 湖州市科技支撑计划资助项目 (KY23030A)

作者简介: 明建华 (1973—) 男, 湖北黄石人, 讲师, 博士, 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: mingjianhua686@yahoo.com.cn

* 通讯作者: 叶金云, 研究员, 硕士生导师, E-mail: ziff2006@163.com

因此,本试验以青鱼为研究对象,测定其对 8 种饲料原料中干物质、粗蛋白质、氨基酸、粗脂肪、总磷和总能的表观消化率,以期为配制高效环保型青鱼配合饲料提供基础数据。

1 材料与方 法

1.1 饲料原料与饲料配制

试验用 8 种饲料原料分别为国产鱼粉(domestic fish meal,DFM)、蝇蛆粉(maggot meal,MGM)、玉米蛋白粉(corn gluten meal,CGM)、大豆粕(soybean meal,SBM)、花生粕(peanut meal,PNM)、棉籽粕(cottonseed meal,CSM)、菜籽粕(rapeseed meal,RSM)和米糠(rice bran, RB)。其中,国产鱼粉为浙江舟山鱼粉,采用湿法工艺生产;蝇蛆粉购自浙江德清绿态农业科技有限公司,为烘干纯蝇蛆粉碎而成;玉米蛋白粉为江苏沭阳县华丰饲料发展有限公司产品;大豆粕购自东海粮油工业(张家港)有限公司;花生粕购自山东鲁花集团有限公司;棉籽粕和菜籽粕购于湖州德清县新市油厂;米糠由湖州市本地米厂购买。

为测定青鱼对以上 8 种饲料原料中干物质、粗蛋白质、氨基酸、粗脂肪、总磷和总能的表观消化率,根据 Cho 等^[2]的方法,采用 70% 基础饲料(表 1)和 30% 待测饲料原料(表 2)组成试验饲料。饲料原料粉碎过 60 目筛,同时添加 0.1% 三氧化二钇(Y_2O_3)作为外源指示剂,采用逐级扩大法进行配制,使各组分充分混匀后,用小型饲料造粒机制成粒径 2 mm 的颗粒饲料,40 °C 烘干后于 4 °C 冰柜中保存备用。

1.2 试验动物与饲养管理

试验用青鱼购自湖州中湖生态农业发展有限公司,试验前用商品饲料在室内水族缸中驯养 2 周。然后选取体格健康、规格一致、初始体重为(60.17 ± 1.28) g 的青鱼 270 尾,随机分成 9 组,每组 3 个重复,每个重复 10 尾鱼,以重复为单位饲养于室内循环水养殖系统的水族缸(水容积 150 L)中。

各组试验鱼先用添加了 0.1% Y_2O_3 的基础饲料饲养 1 周,然后随机选取 1 组作为对照组,继续饲喂基础饲料,另外 8 组为试验组,分别饲喂相应的试验饲料,7 d 以后开始收集粪便。试验期间日投饵量为 3% ~ 4%,每日投饵 2 次(07:30 和

15:00)。投饵后 1 h 清除残饵,在投饵后的 6 ~ 7 h 为青鱼排便高峰期,用鱼捞直接捞取成形的粪便,挑选新鲜、包膜完整的粪便样品于 65 °C 烘干,-20 °C 冰箱保存待测。试验期间每缸收集干粪便 6 ~ 7 g。

整个养殖过程采用循环水过滤系统,不间断充气增氧,饲养期间水温为 26 ~ 28 °C,pH 为 6.8 ~ 7.6,溶解氧 > 5 mg/L,氨态氮(NH_4^+-N) < 0.05 mg/L,硝态氮(NO_2-N) < 0.01 mg/L。

表 1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
国产鱼粉 Domestic fish meal	15.00
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	3.00
大豆粕 Soybean meal	21.00
菜籽粕 Rapeseed meal	19.00
米糠 Rice bran	2.00
面粉 Wheat flour	35.00
鱼油 Fish oil	2.00
氯化胆碱 Choline chloride (50%)	0.20
维生素预混物 Vitamin premix ¹⁾	0.20
矿物质预混物 Mineral premix ²⁾	0.50
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	1.80
食盐 NaCl	0.30
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels ³⁾	
干物质 DM	92.91
粗蛋白质 CP	35.08
粗脂肪 EE	4.62
灰分 Ash	7.50
总磷 TP	1.16
总能 GE/(MJ/kg)	18.67

¹⁾ 每千克维生素预混料中含有 Provided the following per kg of vitamin premix: VA 6 000 000 IU, VD₃ 1 000 000 IU, VE 40 g, VC 80 g, VK₃ 6 g, VB₁ 3 g, VB₂ 8 g, VB₆ 10 g, VB₁₂ 0.01 g, 烟酸 niacin 60 g, 泛酸钙 calcium pantothenate 25 g, 叶酸 folic acid 2.5 g, 生物素 biotin 0.5 g, 肌醇 inositol 200 g。

²⁾ 每千克矿物质预混料中含有 Provided the following per kg of mineral premix: $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 25 g, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 22 g, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 40 g, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 2.0 g, $MnSO_4 \cdot H_2O$ 4.0 g, Na_2SeO_3 0.08 g, KI 0.02 g, $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ 0.1 g。

³⁾ 实测值 Measured values。

表2 待测饲料原料的营养水平及氨基酸组成(风干基础)
Table 2 Nutrient levels and amino acid composition of test feed ingredients (air-dry basis) %

项目 Items	国产鱼粉 DFM	蝇蛆粉 MGM	玉米蛋白粉 CGM	大豆粕 SBM	花生粕 PNM	棉籽粕 CSM	菜籽粕 RSM	米糠 RB
营养水平 Nutrient levels								
干物质 DM	89.96	93.27	91.75	89.18	89.92	90.35	89.93	88.49
粗蛋白质 CP	66.19	57.31	66.95	49.30	55.76	47.65	42.98	15.86
粗脂肪 EE	11.78	24.02	1.85	1.57	1.11	1.44	1.89	14.74
灰分 Ash	21.61	6.38	2.63	6.63	6.79	7.41	8.56	6.76
总磷 TP	2.05	1.05	0.46	0.65	0.82	1.17	1.17	1.31
总能 GE/(MJ/kg)	19.74	24.70	21.66	18.91	18.12	18.16	18.43	18.52
氨基酸组成 Amino acid composition								
天冬氨酸 Asp	6.15	5.77	4.09	5.72	6.24	4.28	2.95	1.39
苏氨酸 Thr	2.66	2.39	2.26	1.95	1.40	1.44	1.77	0.57
丝氨酸 Ser	2.33	2.29	3.42	2.44	2.50	1.90	1.67	0.69
谷氨酸 Glu	8.86	7.55	12.82	8.95	10.32	8.99	7.54	2.15
甘氨酸 Gly	4.32	2.35	1.69	2.11	3.09	1.85	2.11	0.76
丙氨酸 Ala	3.98	3.22	5.79	2.14	2.11	1.82	1.90	0.88
缬氨酸 Val	2.96	2.78	2.96	2.34	2.14	1.96	2.24	0.81
蛋氨酸 Met	1.82	1.55	1.67	0.76	0.63	0.71	0.93	0.32
胱氨酸 Cys	0.68	0.52	1.18	0.78	0.71	0.75	1.02	0.31
异亮氨酸 Ile	2.66	2.15	2.72	2.29	1.81	1.44	1.72	0.56
亮氨酸 Leu	4.55	3.58	9.90	3.70	3.40	2.62	2.90	1.10
酪氨酸 Tyr	2.04	4.24	2.08	1.58	1.92	1.37	1.18	0.57
苯丙氨酸 Phe	2.73	5.09	4.17	2.44	2.66	2.42	1.62	0.72
赖氨酸 Lys	4.75	4.08	1.07	3.15	1.75	1.90	2.05	0.68
组氨酸 His	1.31	1.73	1.41	1.33	1.28	1.32	1.21	0.42
精氨酸 Arg	3.78	3.01	2.06	3.63	6.22	5.57	2.55	1.20
脯氨酸 Pro	2.65	2.29	5.97	2.32	2.25	1.68	2.70	0.78

色氨酸由于在水解过程中被破坏,因此未被检出。

Tryptophan was destroyed in the hydrolysis process, therefore not detected.

1.3 指标测定与计算公式

本试验中,水分含量采用 105 °C 常压干燥法(GB 6435—1986)测定;粗蛋白质含量采用微量凯氏定氮法(GB/T 6432—1994)测定;粗脂肪含量采用索氏抽提法(GB/T 6433—1994)测定;灰分含量采用 550 °C 灼烧法(GB/T 6438—1992)测定;总磷含量采用钼黄分光光度法(GB/T 6437—2002)测定;总能利用氧弹测热仪测定;Y₂O₃含量采用高频电感耦合等离子体发射光谱法测定;氨基酸含量采用全自动氨基酸分析仪(日立 L-8900)测定。

饲料干物质的表观消化率(%) =

$$(1 - S_y / F_y) \times 100;$$

饲料中各营养成分的表观消化率(%) =

$$[1 - (F_i / S_i) \times (S_y / F_y)] \times 100。$$

式中: S_y 为饲料中 Y₂O₃ 的含量(%); F_y 为粪便中 Y₂O₃ 的含量(%); S_i 为饲料中某营养成分的含量(%); F_i 为粪便中某营养成分的含量(%)。

待测原料中干物质、粗蛋白质、粗脂肪、氨基酸、总磷及总能的表观消化率计算公式:

$$D_i = (D_T - rD_R) / (1 - r);$$

$$r = (W_R X_R) / (W_T X_T)。$$

式中: D_i 为待测原料中某营养成分的表观消化率(%); D_T 为试验饲料中某营养成分的表观消化率(%); D_R 为基础饲料中某营养成分的表观消化率(%); W_R 为摄取试验饲料中基础饲料的重量(g); W_T 为摄取试验饲料的重量(g); X_R 为基础饲料中某营养成分的含量(%); X_T 为试验饲料中某

营养成分的含量(%)。

1.4 数据处理与分析

试验数据采用 SPSS 16.0 统计软件中的单因素方差分析(one-way ANOVA)和 Duncan 氏法多重比较进行分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。试验结果以平均值 \pm 标准误表示。

2 结果

2.1 青鱼对 8 种饲料原料中干物质、粗蛋白质、粗脂肪、总磷和总能的表现消化率

青鱼对 8 种饲料原料中干物质、粗蛋白质、粗脂肪、总磷和总能的表现消化率见表 3。

青鱼对 8 种饲料原料中干物质的表观消化率为 62.17% ~ 86.47%, 其中玉米蛋白粉的干物质表观消化率最高, 大豆粕次之, 二者均达到 80% 以上, 显著高于其他几种饲料原料($P < 0.05$); 鱼粉、蝇蛆粉和花生粕的干物质表观消化率也较高, 达到 70% 以上, 且鱼粉与蝇蛆粉之间差异不显著($P > 0.05$); 棉籽粕、菜籽粕和米糠的干物质表观消化率则较低, 为 62.17% ~ 64.63%, 显著低于其他几种饲料原料($P < 0.05$), 但这三者之间差异不显著($P > 0.05$)。

青鱼对 8 种饲料原料中的粗蛋白质均具有较好的利用效果, 粗蛋白质表观消化率达到 83.34% ~ 95.84%, 其中大豆粕的粗蛋白质表观消化率最高, 其次是玉米蛋白粉、花生粕和鱼粉, 均达到 90% 以上, 显著高于其他几种饲料原料

($P < 0.05$); 蝇蛆粉的粗蛋白质表观消化率最低, 显著低于其他几种饲料原料($P < 0.05$)。各种饲料原料的粗蛋白质表观消化率由高至低依次为大豆粕、玉米蛋白粉、花生粕、鱼粉、菜籽粕、米糠、棉籽粕和蝇蛆粉。

青鱼对 8 种饲料原料中粗脂肪的表现消化率普遍较高, 尤其是大豆粕, 达到了 100% 以上; 其次为花生粕、菜籽粕、蝇蛆粉、棉籽粕和鱼粉, 其表观消化率也在 92% 以上; 而玉米蛋白粉和米糠的粗脂肪表观消化率较低, 分别为 79.44% 和 78.93%, 显著低于其他几种饲料原料($P < 0.05$), 但二者之间差异不显著($P > 0.05$)。

青鱼对 8 种饲料原料中总磷的表现消化率存在较大差异, 其中玉米蛋白粉的总磷表观消化率显著高于其他几种饲料原料($P < 0.05$), 达到了 81.99%; 其次为花生粕、大豆粕和菜籽粕, 达到了 61% 以上, 而国产鱼粉、棉籽粕和米糠中总磷的表观消化率较低, 其中米糠的最低, 仅为 37.33%。

青鱼对 8 种饲料原料中总能的表现消化率为 66.75% ~ 89.86%, 其中玉米蛋白粉的最高, 大豆粕和鱼粉次之, 均达到了 86% 以上, 且大豆粕与鱼粉之间差异不显著($P > 0.05$); 蝇蛆粉与花生粕的总能表观消化率也较高, 均在 76% 以上, 二者之间差异也不显著($P > 0.05$); 棉籽粕、菜籽粕和米糠中总能的表现消化率均较低, 为 66.75% ~ 68.11%, 显著低于其他几种饲料原料($P < 0.05$), 但这三者之间差异不显著($P > 0.05$)。

表 3 青鱼对 8 种饲料原料中干物质、粗蛋白质、粗脂肪、总磷和总能的表现消化率

Table 3 Apparent digestibility of DM, CP, EE, TP and GE in eight feed ingredients for black carp %

项目 Items	国产鱼粉 DFM	蝇蛆粉 MGM	玉米蛋白粉 CGM	大豆粕 SBM	花生粕 PNM	棉籽粕 CSM	菜籽粕 RSM	米糠 RB
干物质	75.73	73.28	86.47	80.62	70.53	62.17	64.63	62.41
DM	$\pm 0.51^c$	$\pm 0.52^{cd}$	$\pm 1.09^a$	$\pm 1.38^b$	$\pm 0.66^d$	$\pm 0.79^e$	$\pm 1.32^e$	$\pm 0.71^e$
粗蛋白质	90.24	83.34	93.90	95.84	91.77	85.14	87.76	86.96
CP	$\pm 0.31^c$	$\pm 0.43^f$	$\pm 0.28^b$	$\pm 0.48^a$	$\pm 0.55^e$	$\pm 0.59^e$	$\pm 0.42^d$	$\pm 0.95^d$
粗脂肪	92.84	94.68	79.44	100.06	97.98	93.65	95.48	78.93
EE	$\pm 0.21^e$	$\pm 0.09^{cd}$	$\pm 0.37^f$	$\pm 0.60^a$	$\pm 0.51^b$	$\pm 0.74^{de}$	$\pm 0.54^c$	$\pm 0.64^f$
总磷	44.95	49.58	81.99	67.19	72.18	43.84	61.23	37.33
TP	$\pm 0.78^f$	$\pm 0.47^e$	$\pm 1.47^a$	$\pm 0.64^c$	$\pm 0.83^b$	$\pm 1.08^f$	$\pm 0.50^d$	$\pm 0.64^g$
总能	86.23	77.19	89.86	87.14	76.92	66.75	68.11	66.93
GE	$\pm 0.59^b$	$\pm 0.69^c$	$\pm 0.49^a$	$\pm 0.91^b$	$\pm 0.44^c$	$\pm 0.49^d$	$\pm 1.11^d$	$\pm 0.80^d$

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$), 相同小写字母表示差异不显著($P > 0.05$)。下同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant differences ($P < 0.05$), while with the same small letter superscripts mean no significant differences ($P > 0.05$). The same as below.

2.2 青鱼对 8 种饲料原料中氨基酸的表观消化率

由表 4 可知,同种饲料原料中不同氨基酸的表观消化率不同,不同饲料原料间同种氨基酸的表观消化率差异也很大,但各饲料原料氨基酸的表观消化率与其粗蛋白质的表观消化率呈相同的变化趋势。以总氨基酸和必需氨基酸的表观消化率来评价各饲料原料的氨基酸消化率可看出,大豆粕的总氨基酸和必需氨基酸的表观消化率在 8 种饲料原料中均是最高,分别达到了 96.58%、96.73% 和 95.61%;其次是玉米蛋白粉、花生粕和

鱼粉,其总氨基酸和必需氨基酸的表观消化率分别为 91.60%~94.52% 和 91.91%~94.71%;菜籽粕中总氨基酸和必需氨基酸的表观消化率也较高,均在 89% 以上;蝇蛆粉的总氨基酸和必需氨基酸的表观消化率则显著低于除棉籽粕外的其他 6 种饲料原料 ($P < 0.05$),分别为 86.33% 和 83.23%。青鱼对饲料原料中含硫氨基酸(蛋氨酸+胱氨酸)、赖氨酸和精氨酸的表观消化率普遍较高,其中大豆粕中这 3 种氨基酸的表观消化率分别为 96.26%、97.27% 和 97.63%,而在蝇蛆粉中也分别高达 86.45%、91.19% 和 91.33%。

表 4 青鱼对 8 种饲料原料中氨基酸的表观消化率

Table 4 Apparent digestibility of amino acids in eight feed ingredients for black carp

%

项目 Items	国产鱼粉 DFM	蝇蛆粉 MGM	玉米蛋白粉 CGM	大豆粕 SBM	花生粕 PNM	棉籽粕 CSM	菜籽饼 RSM	米糠 RB
苏氨酸 Thr	91.49 ±0.49 ^c	86.97 ±0.26 ^e	93.02 ±0.31 ^b	95.38 ±0.46 ^a	88.48 ±0.30 ^d	81.06 ±0.18 ^g	86.58 ±0.49 ^c	82.95 ±0.17 ^f
缬氨酸 Val	91.63 ±0.34 ^c	87.66 ±0.28 ^e	94.68 ±0.37 ^a	95.62 ±0.59 ^a	92.78 ±0.39 ^b	84.11 ±0.29 ^g	89.80 ±0.37 ^d	85.91 ±0.27 ^f
蛋氨酸+胱氨酸 Met + Cys	91.42 ±0.25 ^b	86.45 ±0.37 ^d	95.40 ±0.39 ^a	96.26 ±0.60 ^a	91.38 ±0.27 ^b	85.63 ±0.64 ^d	90.00 ±0.23 ^c	90.54 ±0.26 ^{bc}
异亮氨酸 Ile	91.89 ±0.43 ^c	86.72 ±0.44 ^e	94.54 ±0.48 ^b	97.16 ±0.82 ^a	93.24 ±0.33 ^{bc}	82.51 ±0.46 ^f	89.29 ±0.48 ^d	88.52 ±0.56 ^d
亮氨酸 Leu	92.77 ±0.36 ^b	88.74 ±0.39 ^d	95.55 ±0.31 ^a	96.52 ±0.44 ^a	93.62 ±0.38 ^b	84.50 ±0.45 ^f	90.58 ±0.51 ^c	86.39 ±0.67 ^e
苯丙氨酸 Phe	84.19 ±0.59 ^d	57.45 ±0.66 ^f	94.11 ±0.33 ^b	96.88 ±0.56 ^a	94.92 ±0.42 ^{ab}	88.45 ±0.64 ^c	88.06 ±0.82 ^c	76.02 ±1.04 ^e
赖氨酸 Lys	94.85 ±0.36 ^b	91.19 ±0.35 ^{cd}	92.56 ±0.53 ^c	97.27 ±0.76 ^a	91.80 ±0.38 ^{cd}	82.17 ±0.96 ^f	89.28 ±0.43 ^c	90.67 ±0.38 ^{de}
组氨酸 His	91.47 ±0.52 ^{bc}	87.86 ±0.30 ^d	92.83 ±0.40 ^b	95.57 ±0.58 ^a	91.48 ±0.41 ^{bc}	87.57 ±0.69 ^d	90.84 ±0.42 ^c	88.61 ±0.34 ^d
精氨酸 Arg	92.59 ±0.41 ^c	91.33 ±0.28 ^{cd}	94.52 ±0.54 ^b	97.63 ±0.57 ^a	97.11 ±0.25 ^a	92.47 ±0.75 ^c	92.47 ±0.46 ^c	90.00 ±0.26 ^d
必需氨基酸 EAA	91.91 ±0.46 ^c	83.23 ±0.67 ^f	94.71 ±0.29 ^b	96.73 ±0.56 ^a	94.00 ±0.29 ^b	86.48 ±0.60 ^c	89.87 ±0.43 ^d	87.01 ±0.43 ^e
非必需氨基酸 NEAA	90.82 ±0.34 ^c	89.06 ±0.20 ^d	95.40 ±0.54 ^a	95.61 ±0.49 ^a	93.09 ±0.33 ^b	87.69 ±0.50 ^e	89.44 ±0.35 ^d	88.68 ±0.32 ^{de}
总氨基酸 TAA	91.60 ±0.40 ^c	86.33 ±0.56 ^f	94.52 ±0.41 ^b	96.58 ±0.52 ^a	93.82 ±0.27 ^b	86.52 ±0.63 ^f	89.90 ±0.33 ^d	88.19 ±0.31 ^e

3 讨论

3.1 外源指示剂和表观消化率计算方法的选择

常用于表观消化率测定的外源惰性指示剂有三氧化二铬 (Cr_2O_3) 和 Y_2O_3 等, Ringø^[6] 认为

Cr_2O_3 作为指示剂会影响肠道菌群和排泄物的脂肪酸组成; Austreng 等^[7] 分别用包括 Cr_2O_3 和 Y_2O_3 在内的多种 3 价金属惰性指示剂测定了大西洋鲑 (*Salmo salar*) 和虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 的表观消化率,证实了 Y_2O_3 在表观消化率测定中

的适用性。因此,本试验采用 Y_2O_3 作为青鱼对饲料原料中营养物质表观消化率测定的外源指示剂。本试验采用 Cho 等^[2]提出的套算法,即用“70% 基础饲料 + 30% 待测原料”配成的试验饲料进行青鱼对饲料原料中营养物质表观消化率的测定,并采用游文章等^[8]改进后的公式计算(具体公式见 1.3)。这样既保证了营养物质的均衡,使所测得的结果更接近试验鱼的营养消化生理需求,又进一步减少了基准饲料和试验饲料因被测营养成分含量不同对被测饲料原料营养成分消化率的影响,提高了测定结果的准确度。

3.2 青鱼对 8 种饲料原料中营养物质的表观消化率

干物质的消化率反映了鱼类对饲料原料总体的消化利用水平,其高低与饲料中粗纤维和灰分含量以及蛋白质、脂肪等营养物质的消化吸收程度有关。本试验测得青鱼对 8 种饲料原料中干物质的表观消化率差异较大(62.17% ~ 86.47%),其中以玉米蛋白粉的干物质消化率最高,其次是大豆粕和鱼粉,而蝇蛆粉的干物质消化率也普遍高于其他植物性原料;8 种饲料原料的总能表观消化率有类似于干物质表观消化率的变化趋势。Reigh 等^[9]研究认为饲料中粗纤维和灰分含量过高会降低水产动物对饲料干物质的消化率,本试验所用国产鱼粉的灰分含量(21.61%)较高,而玉米蛋白粉和大豆粕的粗纤维与灰分含量均较低,这可能是造成鱼粉的干物质和总能表观消化率低于后两者的原因。蝇蛆粉虽然为动物性蛋白质原料,但其脂肪含量(24.02%)较高,容易氧化而使其营养价值降低,造成其干物质和总能的表观消化率较低。花生粕的干物质表观消化率(70.53%)也较高,远高于游文章等^[5]测得的带壳花生粕的干物质表观消化率(46.04%),这主要是因为本试验所用花生粕经过去壳处理后纤维素含量已显著降低。对于其他植物性原料,如棉籽粕、菜籽粕和米糠,由于其纤维素含量较高,而高含量的纤维素可能会加快食糜在肠道内的移动速度,降低鱼类对饲料中干物质和能量的消化率^[10];同时水生动物体内缺乏相应的纤维素酶,影响了对纤维素的消化吸收,从而降低了鱼类对植物性饲料原料中干物质和能量的消化率^[11]。

蛋白质作为水产动物的重要营养素,其表观消化率对饲料配方的编制尤为重要。本试验测得

青鱼对大豆粕、玉米蛋白粉、花生粕和鱼粉的粗蛋白质表观消化率均较高,达到 90% 以上。其中大豆粕的粗蛋白质表观消化率为 95.84%,与游文章等^[5]测得的结果(96.76%)相近,高于鱼粉的 90.24%,这与其他一些研究结果相似,相关报道指出草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)^[12]、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)^[13]、建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian)^[14]和虹鳟(*Salmo gairdneri*)^[2]等对大豆粕和鱼粉的粗蛋白质表观消化率分别为 96% 和 90%、95.7% 和 89.8%、88.75% 和 82.33% 以及 96% 和 92%。玉米蛋白粉是玉米籽粒经医药工业生产淀粉或酿酒工业提醇后的副产品,其蛋白质营养成分丰富,与饲料工业常用的鱼粉、豆饼比较,资源优势明显,饲用价值高,可直接用作蛋白质原料。研究发现,多数鱼类对玉米蛋白粉的表观消化率较高,如许氏平鲈(*Sebastes schlegeli*)^[15]、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[16]、罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[17]以及团头鲂^[18]对玉米蛋白粉中蛋白质的表观消化率分别为 92%、94.42%、89% 和 92.75%,本试验测得青鱼对玉米蛋白粉的粗蛋白质表观消化率也高达 93.90%,与上述研究结果相近。本试验测得花生粕的粗蛋白质表观消化率(91.77%)也较高,这与所用花生粕为去壳花生粕,含有高蛋白质低纤维素有关^[14]。本试验中青鱼对棉籽粕、菜籽粕和米糠的粗蛋白质表观消化率与游文章等^[5]报道的结果接近,而高于刘玉良等^[4]的测定结果。蝇蛆粉营养丰富,含有动物机体所必需的多种氨基酸、维生素和微量元素,是一种优质的蛋白质源,但本试验中青鱼对其粗蛋白质和氨基酸的表观消化率均最低,其原因还有待于进一步研究。

从本试验结果可知,青鱼对同种饲料原料中不同氨基酸的表观消化率不同,不同饲料原料间同种氨基酸的表观消化率也存在很大差异,但总的来说,饲料中氨基酸表观消化率的变化趋势与粗蛋白质表观消化率的变化趋势相一致。这与叶元士等^[19]在草鱼上得出的结论吻合。本试验中,大豆粕的总氨基酸及必需氨基酸的表观消化率均是最高的,平衡性也较好,因此其对应粗蛋白质的表观消化率最高;相反,蝇蛆粉的总氨基酸及必需氨基酸的表观消化率较低,其粗蛋白质的表观消化率也就比较低。在本试验测定的 8 种饲料原料中,棉籽粕的赖氨酸表观消化率(82.17%)最低,

Wilson 等^[20]指出棉籽粕在加工过程中,赖氨酸可能与游离棉酚结合生成生物学上不能利用的化合物,从而降低了其中赖氨酸的利用率。在 8 种饲料原料中,含硫氨基酸的表观消化率都比较高,可能是试验饲料中含硫氨基酸(尤其是蛋氨酸)的含量较低,不能满足试验鱼的需要,因而具有较高的利用率,这与董晓慧等^[21]在吉富罗非鱼上的研究结果相一致。

鱼类可高效利用脂肪^[16,21]。本试验中,除玉米蛋白粉和米糠的粗脂肪表观消化率较低外,其他饲料原料的脂肪表观消化率均在 92% 以上。大豆粕的脂肪能全部被消化利用,其余植物饼粕类原料的粗脂肪表观消化率与鱼粉、蝇蛆粉相近,甚至更高些,这也与刘玉良等^[4]和游文章等^[5]报道的结果较接近;玉米蛋白粉的粗脂肪表观消化率为 79.44%,而姜雪皎等^[18]报道团头鲂对玉米蛋白粉的粗脂肪表观消化率为 103.4%,这可能与不同种类对脂肪源的利用特性有关;米糠的粗脂肪表观消化率也只有 78.93%,其原因还有待于进一步的研究。

磷是鱼体中一种非常重要的矿物质元素,对其消化率的研究显得尤为必要。本试验中,青鱼对 8 种饲料原料中总磷的表观消化率有较大差异,其中玉米蛋白粉中总磷的表观消化率最高,达到 81.99%,这与其加工过程中进行发酵有关,微生物发酵使植酸含量下降,有效磷含量增多^[22],进而提高了总磷的表观消化率。青鱼对于国产鱼粉和蝇蛆粉这 2 种动物性饲料原料总磷的表观消化率较低,分别为 44.95% 和 49.58%,其中对鱼粉中总磷的表观消化率远高于游文章等^[5]报道的 12.62%,也高于同属无胃鱼的建鲤(24.55%)^[14]和团头鲂(16.49%)^[22],但低于有胃鱼斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*) (60%)^[20]和大黄鱼(*Larimichthys crocea*) (53%)^[23]。在动物性饲料原料中,磷多以羟基磷石灰和磷酸钙的形式存在^[11],而青鱼为无胃鱼,无胃酸分泌^[24],很难分解利用其中的磷,因此对这 2 种动物性饲料原料中总磷的表观消化率较低。本试验中,大豆粕、花生粕和菜籽粕中总磷的表观消化率为 61.23% ~ 72.18%,是除了玉米蛋白粉之外总磷表观消化率较高的饲料原料,可能是其在加工过程中部分植酸被破坏,从而促进了植酸磷的分解。

4 结 论

① 大豆粕和玉米蛋白粉是青鱼的优质植物性蛋白质源,在实际生产中可适量替代鱼粉。

② 青鱼对蝇蛆粉中粗蛋白质、总氨基酸和必需氨基酸的表观消化率较低,因此其在饲料中的添加量不宜过高。

③ 花生粕、棉籽粕和菜籽粕是较好的植物性蛋白质源,在青鱼饲料中适当应用既有利于营养平衡,还可降低饲料成本。

④ 米糠作为青鱼的能量原料必须保持新鲜,但用量不宜过高。

参考文献:

- [1] DE SILVA S S, ANDERSON T A. Fish nutrition in aquaculture [M]. London: Chapman & Hall, 1995: 103 - 142.
- [2] CHO C Y, KAUSHIK S J. Nutritional energetic in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. World Review of Nutrition and Dietetics, 1990, 61: 132 - 172.
- [3] 中华人民共和国农业部渔业局. 2011 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 31.
- [4] 刘玉良, 朱雅珠, 陈慧达. 青鱼对十四种饲料的消化率 [J]. 水产科技情报, 1990(6): 166 - 169.
- [5] 游文章, 雍文岳, 吴达辉, 等. 十一种青鱼饲料原料营养价值的评定 [J]. 淡水渔业, 1993, 23(1): 8 - 12.
- [6] RINGØ E. Does chromic oxide (Cr_2O_3) affect faecal lipid and intestinal bacterial flora in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.)? [J]. Aquaculture and Fisheries Management, 1993, 24(6): 767 - 776.
- [7] AUSTRENG E, STOREBAKKEN T, THOMASSEN M S, et al. Evaluation of selected trivalent metal oxides as inert markers used to estimate apparent digestibility in salmonids [J]. Aquaculture, 2000, 188(1/2): 65 - 78.
- [8] 游文章, 雍文岳, 廖朝兴, 等. 测定鱼类饲料原料营养成分消化率的计算方法 [J]. 水产学报, 1993, 17(2): 167 - 171.
- [9] REIGH R C, BRADEN S L, CRAIG R J. Apparent digestibility coefficients for common feedstuffs in formulated diets for red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* [J]. Aquaculture, 1990, 84(3/4): 321 - 334.
- [10] ANDERSON J, JACKSON A J, MATTY A J, et al. Effects of dietary carbohydrate and fibre on the tilapia

- Oreochromis niloticus* (Linn.) [J]. *Aquaculture*, 1984, 37(4): 303–314.
- [11] NRC. Nutrient requirements of fish [S]. Washington, D. C.: National Academy Press, 1993: 114.
- [12] 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.
- [13] 吴建开, 雍文岳, 游文章, 等. 团头鲂 (*Megalobrama amblyocephala* Yih) 对 12 种饲料原料消化率和可消化能的测定 [J]. *中国水产科学*, 1995, 2(3): 55–62.
- [14] 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 [J]. *动物营养学报*, 2010, 22(6): 1592–1598.
- [15] LEE S M. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegelii*) [J]. *Aquaculture*, 2002, 207(1/2): 79–95.
- [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): 441–451.
- [17] KÖPRÜCÜ K, ÖZDEMİR Y. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Aquaculture*, 2005, 250(1/2): 308–316.
- [18] 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 [J]. *水产学报*, 2011, 35(6): 932–939.
- [19] 叶元士, 林仕海, 罗莉. 草鱼对 27 种饲料原料中氨基酸的表观消化率 [J]. *中国水产科学*, 2003, 10(1): 60–64.
- [20] WILSON R P, ROBINSON E H, GATLIN D M, et al. Dietary phosphorus requirement of channel catfish [J]. *The Journal of Nutrition*, 1982, 112(6): 1197–1202.
- [21] 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.
- [22] 姜雪姣, 梁丹妮, 刘文斌, 等. 团头鲂对 7 种饲料的蛋白质、氨基酸及磷的表观消化率 [J]. *中国水产科学*, 2011, 18(1): 119–126.
- [23] 李会涛, 麦康森, 艾庆辉, 等. 大黄鱼对几种饲料蛋白原料消化率的研究 [J]. *水生生物学报*, 2007, 31(3): 370–375.
- [24] 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: 753–756.

Nutrient Apparent Digestibility of Eight Feed Ingredients for Black Carp (*Mylopharyngodon piceus* Richardson)

MING Jianhua¹ YE Jinyun^{1*} ZHANG Yixiang¹ WU Chenglong¹ YANG Xia¹ LIU Li²

(1. College of Life Sciences, Huzhou Teachers College, Huzhou 313000, China; 2. College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

Abstract: The apparent digestibility of dry matter (DM), crude protein (CP), amino acids (AA), ether extract (EE), total phosphorus (TP) and gross energy (GE) of domestic fish meal, maggot meal, corn gluten meal, soybean meal, peanut meal, cottonseed meal, rapeseed meal and rice bran were determined for black carp (*Mylopharyngodon piceus* Richardson). The test diets consisted of 70% basal diet and 30% test feed ingredients, and added 0.1% Y_2O_3 as an indicator. Two hundred and seventy black carp with an average body weight of (60.17 ± 1.28) g were randomly divided into 9 groups with 3 replicates in each group and 10 fish in each replicate. The fish in control group were fed a basal diet, and those in experiment groups were randomly fed one of 8 experimental diets. The fecal samples were collected by abdominal pressure method after one week. The results showed that apparent digestibility of DM, CP, EE, TP, GE and total AA of eight feed ingredients were 62.17% to 86.47%, 83.34% to 95.84%, 78.93% to 100.06%, 37.33% to 81.99%, 66.75% to 89.86% and 86.33% to 96.58%, respectively. In the eight feed ingredients, the highest apparent digestibility of DM, TP and GE was found in corn gluten meal, while soybean meal had the highest apparent digestibility of CP, EE and total AA. The lowest apparent digestibility of DM and GE was found in cottonseed meal, and rice bran had the lowest apparent digestibility of EE and TP. The apparent digestibility of CP was consistent with the apparent digestibility of total AA in the eight feed ingredients, and the lowest apparent digestibility of CP and total AA was found in maggot meal. In conclusion, soybean meal and corn gluten meal can be used as high-quality plant protein sources to serve as alternative fish meal in feed of black carp. The apparent digestibility of CP and AA is lower in maggot meal, so the amount of maggot meal in feed should not be too high. Peanut meal, cottonseed meal and rapeseed meal are also good plant protein sources in feed and conducive to the nutritional balance and reduce feed costs. Rice bran as an energy material of black carp must be kept fresh, and its dosage should be properly controlled in feed. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(10): 2050-2058]

Key words: black carp (*Mylopharyngodon piceus* Richardson); feed ingredient; nutrient; apparent digestibility

* Corresponding author, professor, E-mail: ziff2006@163.com

(编辑 菅景颖)