

团头鲂对8种非常规饲料原料中营养物质的表观消化率

姜雪姣¹, 梁丹妮¹, 刘文斌^{1*}, 夏薇¹, 鲁康乐²

(1. 南京农业大学动物科技学院, 江苏省水产动物营养重点实验室, 江苏 南京 210095;

2. 南京农业大学资源环境与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

摘要:以0.5%的三氧化二铬(Cr_2O_3)为指示剂,由70%基础日粮和30%试验原料组成试验日粮研究了团头鲂对膨化羽毛粉、酶解羽毛粉、血粉、蚕蛹粉、玉米蛋白粉、玉米、碎米和大麦8种饲料原料的干物质、粗蛋白、粗脂肪、氨基酸、总磷及总能的表观消化率。试验鱼[平均体质量(250.83 ± 2.12)g]养殖于室内水族箱中($3.0\text{ m} \times 0.8\text{ m} \times 0.8\text{ m}$),分别投喂相应的试验饲料1周后采用自排法收粪。结果表明:8种饲料原料的干物质、粗蛋白、粗脂肪、总氨基酸、总磷及总能的表观消化率的范围分别是68.07%~92.69%、81.54%~92.75%、84.82%~103.44%、63.07%~95.56%、41.48%~97.55%、68.91%~97.81%。其中各项营养物质的表观消化率均以玉米蛋白粉最高;4种动物蛋白原料中以蚕蛹粉中营养物质表观消化率最高,血粉次之;除粗脂肪外,酶解羽毛粉的消化率均高于膨化羽毛粉;3种能量饲料中,以大麦的蛋白及氨基酸表观消化率最高,但干物质、粗脂肪及能量的表观消化率均显著低于玉米和碎米。由此可见,玉米蛋白粉和蚕蛹粉分别可作为团头鲂优质的植物蛋白源和动物蛋白源,血粉、羽毛粉可搭配其他饲料少量使用。玉米和碎米能值较高,可作为团头鲂的主要能量饲料,大麦由于氨基酸组成较好,也可适量使用。

关键词:团头鲂;非常规饲料原料;营养物质;表观消化率

中图分类号:S 963.16⁺²

文献标志码:A

自20世纪80年代以来,随着我国养殖业连续20多年以年均增长率9%以上的高速度增长,饲料资源短缺问题也将越来越严重。常规的饲料资源已经不能满足生产的需要,在这种形势下,开发非常规饲料,对于缓解饲料资源不足、降低畜禽饲养成本具有重要的意义。但由于非常规饲料经过加工后营养成分变异较大,受到产地来源、加工处理等多方面因素的影响,迄今为止对其营养价值的评定还没有较为可靠的饲料数据库,增加了日粮配方设计的难度。团头鲂是我国重要的草食性淡水养殖鱼类,目前对其常用饲料原料消化率的研究主要集中在幼鱼阶段^[1-2],且在非常规饲料原料消化率方面尚缺乏系统性的研究。本试验在前期常规原料消化率的研究基础上,选取几种水产中相对较为常用的非常规饲料原料,测定团头

鲂成鱼对原料中营养物质的表观消化率,为配置科学合理的饲料配方提供理论依据,对于节约短缺的常规饲料资源也具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 试验鱼与养殖条件

试验鱼购自中国水产科学研究院淡水养殖中心宜兴养殖试验基地,平均体质量(250.83 ± 2.12)g,试验采用室内水族箱(规格为 $3.0\text{ m} \times 0.8\text{ m} \times 0.8\text{ m}$)养殖,水深0.30~0.35 m,每箱放养试验鱼10尾,试验开始前,投喂商品料7 d,待鱼适应试验环境,能正常采食后进入试验期。试验期间,保证溶解氧在 $5.0\text{ mg O}_2/\text{L}$ 以上,水温(27 ± 1.4) $^{\circ}\text{C}$,pH为6.8~7.8, $\text{NH}_4^+-\text{N} < 0.5\text{ mg/L}$, $\text{NO}_2-\text{N} < 0.05\text{ mg/L}$ 。

收稿日期:2011-03-10 修回日期:2011-04-25

资助项目:现代农业产业技术体系建设专项——国家大宗淡水鱼类产业技术体系资金资助(nycytx-49-21);农业公益性行业科研专项——水产养殖动物营养需求与高效配合饲料开发(201003020)

通讯作者:刘文斌,E-mail:wbliu@njau.edu.cn

1.2 试验饲料与配制

为测定团头鲂对膨化羽毛粉(expanded feather meal)、酶解羽毛粉(enzyme feather meal)、血粉(blood meal)、蚕蛹粉(silkworm pupa)、玉米蛋白粉(corn gluten meal)、碎米(broken rice)、玉米(corn)、大麦(barley grain)8种饲料原料中粗

蛋白、粗脂肪、氨基酸、总磷及总能的表现消化率,由 70%的基础饲料(表 1)和 30%的待测原料(表 2)组成试验饲料,饲料原料粉碎过 60 目,同时添加 0.5%的 Cr₂O₃作为外源指示剂,均匀混合后制成颗粒饲料,置于 4℃冰箱中保存备用。

表 1 基础饲料配方及营养成分(干重)
Tab.1 Formulation and nutrient composition of basal diet(DM) %

原料 ingredients	基础日粮 basal diet	原料 ingredients	基础日粮 basal diet
鱼粉 fish meal	5.00	三氧化二铬 Cr ₂ O ₃	0.50
豆粕 soybean meal	43.61	营养组成 nutrient composition **	
次粉 wheat middling	25.00	干物质 dry matter	89.84
面粉 wheat flour	15.00	粗蛋白 crude protein	32.44
米糠 rice bran	6.79	粗脂肪 ether extract	5.18
植物油 plant oil	1.27	粗灰分 ash	8.99
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	2.03	总磷 total phosphorus	1.34
预混料 premix *	1.00	总能(MJ/kg) gross energy	18.89
食盐(饲料级) NaCl	0.30		

注: * 每千克预混料中含矿物质:硫酸铜,2.0 g; 硫酸铁,25 g; 硫酸锌,22 g; 硫酸镁,7 g; 亚硒酸钠,0.04 g; 碘化钾,0.026 g; 氯化钴,0.1 g; 每千克预混料中含维生素:维生素 A,900 000 IU; 维生素 D,200 000 IU; 维生素 E,4 500 mg; 维生素 K₃,220 mg; 维生素 B₁,320 mg; 维生素 B₂,1 090 mg; 维生素 B₅,2 000 mg; 维生素 B₆,500 mg; 维生素 B₁₂,1.6 mg; 维生素 C,5 000 mg; 泛酸,1 000 mg; 叶酸,165 mg; 胆碱,60 000 mg; ** 实测值。

Notes: * Premix supplied the following minerals(g/kg of diet): CuSO₄ · 5H₂O,2.0 g; FeSO₄ · 7H₂O,25 g; ZnSO₄ · 7H₂O,22 g; MnSO₄ · 4H₂O,7 g; Na₂SeO₃,0.04 g; KI,0.026 g; CoCl₂ · 6H₂O,0.1 g; Premix supplied the following vitamins(IU or mg/kg of diet): VA,900 000 IU; VD,200 000 IU; VE,4 500 mg; VK₃,220 mg; VB₁,320 mg; VB₂,1 090 mg; VB₅,2 000 mg; VB₆,500 mg; VB₁₂,1.6 mg; VC,5 000 mg; Pantothenate,1 000 mg; Folic acid,165 mg; Choline,60 000 mg; ** Measured values.

表 2 饲料原料营养成分及氨基酸含量(干重)
Tab.2 Nutrient composition and amino acids of test ingredients(DM) %

营养成分 nutrient composition	膨化羽毛粉 expanded feather meal	酶解羽毛粉 enzyme feather meal	血粉 blood meal	蚕蛹粉 silkworm pupa	玉米蛋白粉 corn gluten meal	碎米 broken rice	玉米 corn	大麦 barley grain
干物质 DM	90.75	90.98	89.62	94.51	91.02	86.46	88.45	88.09
粗蛋白 CP	93.55	82.60	90.02	53.48	57.58	8.23	8.75	14.76
粗脂肪 EE	2.44	5.13	1.74	33.97	5.92	2.45	4.98	3.41
粗灰分 Ash	2.38	10.46	7.57	4.20	1.71	0.68	1.31	3.09
总磷 P	0.14	0.20	0.26	0.73	0.22	0.10	0.21	0.31
总能/(MJ/kg) GE	23.35	21.54	22.76	26.92	22.30	17.79	18.52	18.48
氨基酸 amino acid								
天冬酰胺 Asp	5.90	4.61	11.77	4.22	3.08	0.74	0.61	0.83
苏氨酸 Thr	3.46	3.05	3.61	1.74	1.58	0.31	0.32	0.42
丝氨酸 Ser	7.67	7.92	4.58	1.78	2.41	0.38	0.39	0.51
谷氨酰胺 Glu	8.02	7.09	10.01	4.36	10.60	1.31	1.51	3.22
甘氨酸 Gly	6.76	5.66	4.72	1.95	1.28	0.35	0.33	0.50
丙氨酸 Ala	3.73	3.56	8.44	2.20	4.38	0.46	0.65	0.56
半胱氨酸 Cys	1.77	2.39	0.94	0.36	0.48	0.11	0.14	0.18
缬氨酸 Val	5.18	4.90	8.22	2.07	2.29	0.46	0.43	0.64
蛋氨酸 Met	0.28	0.17	0.87	0.66	0.61	0.04	0.04	0.06
异亮氨酸 Ile	3.22	3.07	1.11	1.40	1.88	0.31	0.28	0.46
亮氨酸 Leu	5.91	5.16	13.20	2.31	7.52	0.62	0.94	0.86
酪氨酸 Tyr	3.79	1.53	2.79	2.06	2.07	0.28	0.31	0.36
苯丙氨酸 Phe	3.33	3.10	6.67	1.84	2.86	0.45	0.47	0.73
赖氨酸 Lys	1.39	0.95	8.03	1.99	0.76	0.26	0.23	0.37
组氨酸 His	0.61	0.42	6.89	0.94	0.96	0.19	0.29	0.31
精氨酸 Arg	4.60	4.40	4.69	1.94	1.47	0.48	0.34	0.64
脯氨酸 Pro	10.73	9.78	4.17	2.24	6.01	0.57	1.03	1.90

注:色氨酸由于在水解过程中被破坏,因此未被检出。

Notes: Tryptophan was destroyed during the hydrolysis process, so it had not been detected.

1.3 饲养管理与样品采集

试验鱼先于水族缸中暂养,暂养期间投喂商品料。驯化7 d后,选取体格健康、大小均一、无畸形的团头鲂270尾,随机分成9组,每组3个重复,每个重复10尾鱼,投喂含有0.5% Cr₂O₃的基础饲料,每天按照2%体重投饵2次,为期7 d。进入正式试验期后,随机选取一组作为对照组,继续饲喂基础日粮,另外8组为试验组,分别饲喂相应的试验日粮。投饵后1 h清除残饵,观察记录摄食情况,7 d后,开始收集粪便,在投饵后的6~7 h为团头鲂的排粪高峰期,用小型密网捞从水体中直接捞取成形的粪便,收集的粪便于65℃烘干,-20℃冰箱保存备用。根据测定需要,试验期间每组分别收集粪便5~7 g。

1.4 分析测定与计算方法

本试验中,干物质、粗灰分根据文献[3]的方法测得;粗蛋白采用凯氏定氮法;粗脂肪采用索氏提取法;总能利用氧弹测热仪直接测定;试验饲料及粪便中的磷采用钼黄分光光度比色法;三氧化二铬的含量采用高频感应耦合等离子体发光光谱法(ICP)测定;氨基酸的含量通过日立L-8900氨基酸分析仪直接测定。

消化率的计算公式:

$$\text{饲料干物质的表观消化率}(\%) = (1 - S_{cr}/F_{cr}) \times 100$$

$$\text{饲料中各营养成分的表观消化率}(\%) = [1 - (F_i/S_i) \times (S_{cr}/F_{cr})] \times 100$$

待测原料中干物质、粗蛋白、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, S_{cr} 为饲料中Cr₂O₃含量(%); F_{cr} 为粪便中Cr₂O₃含量(%); S_i 为饲料中某营养成分含量(%); F_i 为粪便中营养成分含量(%); D_i 为待测饲料原料中某营养成分表观消化率%; 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 为摄取的试验饲料中基础饲料的重量g; W_T 为摄取的试验饲料的重量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%。

1.5 数据分析与处理

试验数据采用SPSS 16.0软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),若差异显著($P <$

0.05),则进行Duncan氏多重比较,结果用平均值±标准误(Means ± SE)表示。

2 结果与分析

试验对8种原料中干物质、粗蛋白、粗脂肪、总磷及总能的表观消化率进行了测定。由表3可见,团头鲂对饲料原料中干物质的表观消化率为68.07%~92.69%。其中,玉米蛋白粉、玉米及碎米的干物质的表观消化率均达到91%以上,显著高于其他几种原料($P < 0.05$),但三者之间差异不显著($P > 0.05$);团头鲂对血粉、蚕蛹粉及大麦中干物质的表观消化率为73.00%~79.33%。其中,血粉与大麦之间无显著性差异($P > 0.05$);膨化羽毛粉和酶解羽毛粉的干物质表观消化率之间差异不显著($P > 0.05$)。

团头鲂对8种试验原料的粗蛋白具有较好的利用效果,表观消化率均达到81%以上。其中,以玉米蛋白粉的蛋白表观消化率最高,达到92.69%,显著高于其他试验原料($P < 0.05$);其次是蚕蛹粉、大麦、碎米、玉米,其蛋白质的表观消化率均达到87%以上,但四者之间差异不显著($P > 0.05$);血粉、酶解羽毛粉的蛋白表观消化率也比较高,在84%以上,二者之间无显著性差异($P > 0.05$);8种原料中膨化羽毛粉的蛋白质的表观消化率最低,为81.54%,显著的低于其他各组试验原料($P < 0.05$)。

团头鲂对8种饲料原料粗脂肪的表观消化率普遍较高,且变化差异不大。尤其是玉米蛋白粉,达到了100%以上;其次是碎米、蚕蛹粉、玉米,其消化率也达到了98%,且三者之间无显著性差异($P > 0.05$);团头鲂对血粉、膨化羽毛粉中脂肪的利用效果也很好,表观消化率均达到了94%以上,而对酶解羽毛粉中脂肪的利用效果则稍差一些,其表观消化率仅为84.82%,显著低于膨化羽毛粉($P < 0.05$),但与大麦相比,二者之间无显著性的差异($P > 0.05$)。

试验测得团头鲂对各种试验原料的磷的表观消化率均较高,这可能与本试验中各待测原料中磷的含量均较低有关。但试验数据显示,各原料间差异较大。其中玉米蛋白粉的磷的表观消化率显著高于其他试验原料($P < 0.05$),达到了97%;其次是玉米,为88.96%,显著高于除玉米蛋白粉外的其他各组原料($P < 0.05$);血粉、蚕蛹粉以及

大麦中磷的表观消化率也普遍较高,均到达 56% 以上,其中蚕蛹粉、与大麦之间差异不显著 ($P > 0.05$);碎米中磷的表观消化率为 41.48%,显著低于其他各组饲料原料 ($P < 0.05$)。

团头鲂对 8 种饲料原料中能量的表观消化率

以玉米蛋白粉最高,为 97.81%,显著高于除玉米之外的其他饲料原料 ($P < 0.05$),但玉米与碎米之间无显著性差异 ($P > 0.05$);酶解羽毛粉、血粉以及大麦能量的表观消化率差异不显著 ($P > 0.05$),在 76.36 ~ 79.40 之间。

表 3 团头鲂对 8 种饲料原料的营养成分的表观消化率

Tab. 3 Apparent digestibility of nutrients in test ingredients for bluntnose black bream $n = 3$; means \pm SE; %

养分消化率 apparent digestibility	膨化羽毛粉 expanded feather meal	酶解羽毛粉 enzyme feather meal	血粉 blood meal	蚕蛹粉 silkworm pupa	玉米蛋白粉 corn gluten meal	碎米 broken rice	玉米 corn	大麦 barley grain
干物质 DM	68.07 \pm 0.88 ^d	71.11 \pm 1.20 ^{cd}	73.00 \pm 0.13 ^c	79.33 \pm 0.98 ^b	92.69 \pm 1.00 ^a	91.79 \pm 0.92 ^a	92.65 \pm 0.73 ^a	74.87 \pm 0.05 ^c
粗蛋白 CP	81.54 \pm 1.08 ^c	84.48 \pm 0.34 ^d	84.93 \pm 0.74 ^d	89.07 \pm 0.42 ^b	92.75 \pm 0.66 ^a	88.0 \pm 0.14 ^{bc}	87.9 \pm 0.63 ^{bc}	88.29 \pm 0.80 ^{bc}
粗脂肪 EE	95.7 \pm 1.76 ^c	84.82 \pm 1.08 ^d	94.69 \pm 0.56 ^c	98.79 \pm 0.85 ^b	103.40 \pm 0.99 ^a	99.5 \pm 1.03 ^{ab}	98.39 \pm 0.13 ^b	86.47 \pm 0.28 ^d
磷 P	46.52 \pm 1.68 ^c	-	67.24 \pm 0.93 ^c	56.48 \pm 1.20 ^d	97.55 \pm 0.89 ^a	41.48 \pm 0.58 ^f	88.96 \pm 0.41 ^b	57.69 \pm 1.10 ^d
总能 GE	68.91 \pm 0.24 ^c	77.27 \pm 0.67 ^d	76.36 \pm 1.03 ^d	86.01 \pm 1.09 ^c	97.81 \pm 0.39 ^a	90.5 \pm 0.84 ^{bc}	93.6 \pm 1.01 ^{ab}	79.40 \pm 0.49 ^d

注:同行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 ($P > 0.05$)。

Notes: In the same row, values with different small superscripts mean significant differences ($P < 0.05$), with the same small superscripts mean no significant differences ($P > 0.05$).

试验测定了团头鲂对原料中各种氨基酸的表观消化率。其中,色氨酸在酸水解的过程中遭到破坏,无法检出;含硫氨基酸部分被氧化,准确度欠佳。但从总氨基酸的水平来评价各原料的氨基酸消化率可看出,玉米的总氨基酸以及必需氨基酸的表观消化率均显著低于其他 7 种饲料原料 ($P < 0.05$);而玉米蛋白粉的总氨基酸、必需氨基酸以及非必需氨基酸的表观消化率在 8 种饲料原料中均是最高的,分别达到了 95.56%、95.18% 和 95.53%;其次是蚕蛹粉,其总氨基酸和必需氨

基酸的表观消化率也均达到了 90% 以上;酶解羽毛粉、血粉以及大麦的总氨基酸和必需氨基酸的表观消化率分别为 87.32% ~ 89.42% 和 87.44% ~ 89.35%,且三者之间差异不显著 ($P > 0.05$);膨化羽毛粉的总氨基酸、必需氨基酸和非必需氨基酸的表观消化率均显著的低于酶解羽毛粉 ($P < 0.05$);而碎米的总氨基酸和必需氨基酸的表观消化率仅优于玉米,显著低于其他 6 种饲料原料 ($P < 0.05$)。

表 4 团头鲂对 8 种饲料原料氨基酸的表观消化率

Tab. 4 Apparent digestibility of amino acids in test ingredients for bluntnose black bream $n = 3$; means \pm SE; %

氨基酸 amino acids	膨化羽毛粉 expanded feather meal	酶解羽毛粉 enzyme feather meal	血粉 blood meal	蚕蛹粉 silkworm pupa	玉米蛋白粉 corn gluten meal	碎米 broken rice	玉米 corn	大麦 barley grain
Thr	75.76 \pm 0.54	83.25 \pm 0.60	89.52 \pm 0.78	90.14 \pm 0.61	90.59 \pm 0.76	67.13 \pm 1.04	52.57 \pm 2.09	80.83 \pm 0.79
Val	79.33 \pm 0.31	87.86 \pm 1.03	88.82 \pm 0.16	89.97 \pm 1.14	92.90 \pm 0.12	70.81 \pm 0.22	62.80 \pm 2.88	84.93 \pm 0.72
Met	85.18 \pm 0.68	80.97 \pm 1.13	91.26 \pm 1.02	98.34 \pm 0.61	98.29 \pm 0.25	93.03 \pm 0.88	73.79 \pm 0.36	97.97 \pm 0.29
Ile	79.22 \pm 0.35	87.78 \pm 1.08	77.43 \pm 0.61	92.14 \pm 1.04	94.58 \pm 0.17	80.57 \pm 0.51	32.81 \pm 2.40	86.56 \pm 1.08
Leu	80.65 \pm 0.32	89.11 \pm 0.84	89.36 \pm 0.28	91.14 \pm 1.14	96.97 \pm 0.21	80.50 \pm 0.20	74.23 \pm 1.66	86.85 \pm 0.95
Phe	81.39 \pm 0.58	89.20 \pm 1.02	89.59 \pm 0.13	88.14 \pm 1.10	95.20 \pm 0.29	78.92 \pm .94	65.09 \pm 1.71	86.12 \pm 0.25
Lys	65.01 \pm 0.91	66.27 \pm 1.04	90.67 \pm 0.06	91.31 \pm 1.52	86.78 \pm 0.94	91.25 \pm 0.75	30.84 \pm 3.45	89.11 \pm 0.21
His	73.78 \pm 0.87	75.24 \pm 1.15	90.64 \pm 0.34	88.96 \pm 1.39	94.35 \pm 0.52	93.83 \pm 0.50	79.71 \pm 1.01	84.52 \pm 0.37
Arg	83.66 \pm 0.66	91.02 \pm 0.45	87.60 \pm 0.25	92.97 \pm 1.61	94.01 \pm 0.67	77.72 \pm 1.56	88.98 \pm 0.68	89.71 \pm 0.84
TAA	79.91 \pm 0.34 ^c	89.15 \pm 0.98 ^b	89.42 \pm 0.01 ^b	90.89 \pm 1.75 ^{ab}	95.56 \pm 0.18 ^a	69.43 \pm 0.25 ^d	63.07 \pm 2.60 ^e	87.32 \pm 0.29 ^b
EAA	79.48 \pm 0.46 ^c	87.44 \pm 1.38 ^b	89.35 \pm 0.05 ^b	91.67 \pm 1.52 ^{ab}	95.18 \pm 0.20 ^a	72.51 \pm 0.70 ^d	61.49 \pm 2.61 ^e	87.59 \pm 0.26 ^b
NEAA	82.80 \pm 0.22 ^e	89.68 \pm 0.94 ^{cd}	90.59 \pm 0.02 ^{bc}	90.41 \pm 1.56 ^{bc}	95.53 \pm 0.15 ^a	87.04 \pm 0.05 ^d	86.96 \pm 1.17 ^d	90.59 \pm 0.77 ^{bc}

注:同行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 ($P > 0.05$)。

Notes: In the same row, values with different small superscripts mean significant differences ($P < 0.05$), with the same small superscripts mean no significant differences ($P > 0.05$).

3 讨论

3.1 消化率计算方法的选择

试验原料的消化率采用 CHO 等^[4]提出的套算法测定,通过游文章等^[5]改进后的公式计算,既保证了营养物质的均衡,使所测得结果更接近试验鱼的营养消化生理要求,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,使测定结果更可靠。

3.2 团头鲂对 8 种饲料原料的表观消化率

羽毛粉被认为是一种极有开发价值的动物蛋白源,其粗蛋白含量在 80% 以上,但羽毛蛋白中主要以角蛋白为主,在一般条件下不易溶解,也不能被动物消化吸收。因此羽毛粉在使用前需进行相应的加工处理,破坏其中的角蛋白结构,使羽毛蛋白降解为易被动物消化吸收的氨基酸,从而提高蛋白质的消化率。但由于加工工艺不同,羽毛粉的消化率也会有所不同。何武顺等^[6]认为在各种加工方法中,以膨化羽毛粉的表观消化率最高,不仅因为挤压膨化过程可显著提高羽毛粉的可消化性,而且膨化过程对氨基酸的破坏性最小,胱氨酸的含量远高于酶解羽毛粉,有利于蛋白消化率的提高。但本试验结果发现,酶解羽毛粉中的胱氨酸含量(2.39%)远高于膨化羽毛粉(1.77%),且除粗脂肪的表观消化率外,酶解羽毛粉的消化率均高于膨化羽毛粉。各项氨基酸的表观消化率也以酶解羽毛粉居高,而这两种羽毛粉中除胱氨酸外,其他的氨基酸含量相当,这说明本试验所用的酶解羽毛粉在加工过程中的水解酶水平比较适宜,对营养物质尤其是氨基酸的破坏性较小,而酶解羽毛粉的消化率较高,说明羽毛粉经过酶解处理以后能够更好地被团头鲂利用。但是羽毛粉中氨基酸的组成不平衡,试验测得团头鲂对两种羽毛粉中赖氨酸的表观消化率仅为 65.01% 和 66.27%;对精氨酸的表观消化率则较高,分别为 83.66% 和 91.02%,说明团头鲂可以很好地利用羽毛粉中的精氨酸,这对于水产动物特别是甲壳动物而言具有重要的意义。

血粉作为一种非常规动物源性饲料,因其具有较高的细菌含量,国内的血粉原料未经杀菌加工不可直接用于饲料的加工和混合。目前,有关血粉营养物质的消化率的研究已有不少报道,虹

鳟对血粉中蛋白的消化率为 91%^[7],对喷雾干燥血粉中蛋白消化率达到了 97%^[8];黑鲷(*Sparus macrocephalus*)对血粉中的干物质和蛋白质均具有较高的消化率,分别达到 85% 和 95%^[9],与在青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、花鲢^[10]以及花鲈(*Lateolabrax japonicus*)^[11]上得到的结果非常接近。本试验中团头鲂对血粉中粗蛋白和能量的表观消化率则略低于上述结果,分别为 84.93% 和 74.36%。这可能与试验所用血粉中灰分含量较高(7.91%)有关。有研究表明,牛蛙(*Rana catesbeiana*)对血粉中蛋白和能量的表观消化率比较低,仅为 64% 和 53%^[12];石斑鱼对血粉中蛋白的消化率也仅为 55%^[13]。由此可见,血粉的来源、加工方式的不同严重地影响了营养物质的利用率,且鱼种不同,测定消化率的结果也会有所不同。此外,血粉中的氨基酸组成也极为不平衡,其中的赖氨酸含量居天然饲料之首,但异亮氨酸、胱氨酸和蛋氨酸较为缺乏。试验测得团头鲂对血粉中异亮氨酸和精氨酸的表观消化率较低,分别为 77.43% 和 87.60%,但赖氨酸和组氨酸的表观消化率较高,均达到了 90% 以上。因此,血粉在使用时应尽可能与异亮氨酸含量高的饲料配伍,也可与赖氨酸含量低的饲料搭配使用,如羽毛粉,可以补充其中赖氨酸含量的不足。

缣丝后的副产物蚕蛹是一种饲用价值较高的蛋白源,氨基酸种类齐全,配比均衡,且必需氨基酸含量丰富,特别是赖氨酸的含量高于其他动物蛋白。但蚕蛹中脂肪含量特别高,达到 34% 左右,极易氧化变质,且其中含有 4%~6% 不易消化的甲壳素杂质,因而在使用前必须进行加工处理。有报道称,用发酵蚕蛹、没有处理过的蚕蛹与鱼粉做对照来饲喂鲤(*Cyprinus carpio*),结果以发酵蚕蛹的效果最好^[14]。刘丹丹等^[15]比较黄鳝(*Monopterus albus*)对蚕蛹和鱼粉的表观消化率发现,黄鳝对蚕蛹中粗蛋白质的消化率极显著高于鱼粉。其他已有的研究也表明,翘嘴红鲌对蚕蛹粉中干物质和粗蛋白表观消化率分别为 76.36% 和 84.92%^[16];花鲢为 74.45% 和 92.96%^[10]。本试验测得团头鲂对蚕蛹粉中干物质、粗蛋白的表观消化率分别为 79.33% 和 89.07%,与上述研究结果相接近。蚕蛹粉的各项氨基酸的表观消化率也较高,总氨基酸、必需氨基酸和非必需氨基酸的表观消化率均达到了 90%

以上,且团头鲂对蚕蛹中脂肪和能量的消化率高达 98.79% 和 86.01%,说明蚕蛹粉中的脂肪和能量可以很好地被团头鲂利用。

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、豆饼相比,资源优势明显,饲用价值高,不含有毒有害物质,抗营养因子少,可直接用作蛋白原料。研究发现,多数鱼类对玉米蛋白粉的表观消化率较高。有报道许氏平鲈 (*Sebastes schlegeli*)^[17]、大西洋鳕 (*Gadus morhua*)^[18]、罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*)^[19] 以及军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)^[20] 对玉米蛋白粉中蛋白质的表观消化率分别为 92%、86.3%、89% 和 94.42%, 试验测得团头鲂对玉米蛋白粉中粗蛋白的表观消化率也高达 92.75%, 与上述研究结果相接近。玉米蛋白粉中氨基酸组成较为平衡,亮氨酸含量丰富。除赖氨酸外,各项氨基酸的表观消化率均较高。试验测得团头鲂对玉米蛋白粉的干物质及能量的表观消化率分别达到了 91% 和 90% 以上,与 SUGIURA 等^[21] 对银鲑 (*O. kiutch*) 和虹鳟的研究结果一致,这可能是由于玉米蛋白粉中的粗纤维和粗灰分含量均较低缘故,而且与其他植物性蛋白原料相比,玉米蛋白粉中抗营养因子少,有利于消化率的提高。另外,试验测得团头鲂对玉米蛋白粉中粗脂肪的表观消化率超出了 100%,这在以往的少数消化率测定试验中也出现过^[22],这可能是由于计算方法^[4] 或样品的分析方法所引起的,但至少可以说明团头鲂对其中的脂肪具有较高的利用效率,玉米蛋白粉对团头鲂而言是一种优质的蛋白饲料资源。

除玉米蛋白粉外,团头鲂对玉米和碎米中干物质、粗脂肪和能量的表观消化率也较高,均达到了 90% 以上。有报道称,相比于肉食性鱼类,草食性和杂食性鱼类如草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 和鲤鱼^[23] 利用碳水化合物的能力相对较强,而玉米和碎米中碳水化合物含量在 70% 以上,其中以可易消化的淀粉为主。因此,玉米和碎米中的脂肪和能量可以较好地被团头鲂利用。但二者的氨基酸平衡性较差,团头鲂对玉米中各项氨基酸的表观消化率较低,尤其是赖氨酸,作为玉米中的第一限制性氨基酸,其消化率仅为 30.84%;而碎米中赖氨酸的表观消化率则较高,达

到 91.25%,其干物质、粗蛋白、粗脂肪以及总能的表现消化率也与玉米较为接近,表明团头鲂可以很好地利用其中的营养物质。大麦作为另外一种重要的能量饲料资源,其各项氨基酸的表观消化率在 3 种能量饲料中均属最高,但其干物质、粗脂肪及能量的表观消化率均低于二者。一方面可能是由于本试验所用大麦没有经过去壳处理,其纤维素和灰分含量较高;另一方面这可能是与大麦中碳水化合物的组成有关,其碳水化合物中非淀粉多糖 (NSP) 的含量较高,达 10% 以上,其中主要由 β -葡聚糖和阿拉伯木聚糖组成,而水产动物体内不含有消化非淀粉多糖的酶,因而不能消化这些成分,导致大麦整体营养物质消化率的降低。

综上所述,团头鲂对 8 种原料中干物质、粗蛋白、粗脂肪、总磷、总能及总氨基酸和必需氨基酸的表观消化率均以玉米蛋白粉最高,说明对于团头鲂而言,玉米蛋白粉是一种优质的蛋白饲料原料。在几种动物蛋白原料中,团头鲂对蚕蛹粉中各营养物质的表观消化率最高,对血粉和羽毛粉中的营养物质也具有较好的利用效果,但由于受到原料品质和加工工艺的影响,其营养成分变异幅度较大,因此在使用时应考虑到实际营养价值的变化。3 种能量饲料中,虽然碎米和玉米的氨基酸组成不平衡,但其有效能值均高于大麦,因此,对于团头鲂而言,碎米和玉米是较好的能量饲料,大麦由于氨基酸消化率较高,在团头鲂的配合饲料中也可少量使用。

参考文献:

- [1] 吴建开,雍文岳,游文章,等. 团头鲂 (*Megalobrama amblycephala* 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.
- [2] ZHOU Z, REN Z, ZENG H, et al. Apparent digestibility of various feedstuffs for bluntnose black bream *Megalobrama amblycephala* Yih [J]. Aquaculture Nutrition, 2008, 14: 153-165.
- [3] AOAC. Official methods of analysis of official analytical chemists international [M]. 16th ed. Arlington VA: Association of Official Analytical Chemists, 1995.
- [4] 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.

- [5] 游文章,雍文岳,廖朝兴.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.
- [6] 何武顺.饲用羽毛粉的加工方法[J].粮食与饲料工业,2001,2:22-24.
- [7] GAYLORD T G, BARROWS F T, STEVEN D R. Apparent digestibility of gross nutrients from feedstuffs in extruded feeds for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2008, 39(6):827-834.
- [8] BUREAU D P, HARRIS A M, CHO C Y. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 1999, 180(3-4):345-358.
- [9] 陈建明,王友慧,叶金云.黑鲟对10种饵料原料的表观消化率[J].饲料博览,2004,11:44-45.
- [10] 陈建明,叶金云,沈斌乾.花鲢种对11种蛋白质饲料原料的消化率[J].水生生态学杂志,2009,2(3):65-68.
- [11] 纪文秀,王岩,唐金玉.海水养殖花鲈对几种饲料蛋白原料的表观消化率[J].水产学报,2010,34(1):101-107.
- [12] SECCO E M, DE STEFANI M V, VIDOTTI R M. Apparent digestibility of different ingredients in diets for bullfrog *Rana catesbeiana* Tadpoles [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2005, 36(1):135-140.
- [13] LAINING A, RACHMANSYAH T, WILLIAMS K. Apparent digestibility of selected feed ingredients for humpback grouper, *Cromileptes altivelis* [J]. Aquaculture, 2003, 218:529-538.
- [14] RANGACHARYULU P V, GIRL S S, PAUL B N, et al. Utilization of fermented silkworm pupae silage in feed for carps [J]. Bioresource Technology, 2003 (86):29-32.
- [15] 刘丹丹.蚕蛹在黄鳝饲料中替代鱼粉的应用研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2009:6.
- [16] 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.
- [17] LEE S M. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*) [J]. Aquaculture, 2002, 207:79-95.
- [18] 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* (Linnaeus, 1758) [J]. Aquaculture, 2006, 261:1314-1327.
- [19] KOPRUCU K, OZDEMIR Y. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Aquaculture, 2005, 250:308-316.
- [20] 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, 241:441-451.
- [21] 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, 159:177-202.
- [22] MCGOOGAN B B, REIGH R C. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets [J]. Aquaculture, 1996, 141(3-4):233-244.
- [23] LAW A T. Digestibility of low-cost ingredients in pelleted feed by grass carp (*Ctenopharyngodon idella* C. et V) [J]. Aquaculture, 1986, 51:97-103.

Apparent digestibility of eight unconventional feed ingredients for *Megalobrama amblycephala*

JIANG Xue-jiao¹, LIANG Dan-ni¹, LIU Wen-bin^{1*}, XIA Wei¹, LU Kang-le²

(1. Key Laboratory of Aquatic Nutrition of Jiangsu Province, College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The apparent digestibility (AD) for dry matter, protein, crude fat, amino acids, phosphorus and energy of eight feed ingredients for bluntnose black bream *Megalobrama amblycephala* Yih were determined. The feed ingredients included expanded feather meal, enzyme feather meal, blood meal, silkworm pupa, corn gluten meal, broken rice, corn, and barley grain. Test diets consisted of 70% reference diet and 30% test feed ingredients, and added 0.5% Cr₂O₃ as an indicator. The fish averaging (250.83 ± 2.12) g were reared in indoor aquarium tank (3.0 m × 0.8 m × 0.8 m), and fecal samples were collected by abdominal pressure method after one week. The results showed that apparent digestibility for dry matter, protein, crude fat, amino acids, phosphorus and energy of nine feed ingredients were 68.07%–92.69%, 81.54%–92.75%, 84.82%–103.44%, 63.07%–95.56%, 41.48%–97.55% and 68.91%–97.81%, respectively. Corn gluten meal showed the best apparent digestibility for all nutrients. Silkworm pupa had the highest apparent digestibility of four animal protein feedstuffs, and the next was blood meal. Apparent digestibility of enzyme feather meal was better than expanded feather meal in addition to crude fat. Barley grain had the highest protein and amino acid digestibility, but the apparent digestibility for dry matter, crude fat and energy were significantly lower than that of corn and broken rice. In conclusion, corn gluten meal and silkworm pupa can be used as high quality plant protein and animal protein sources, respectively. Blood meal, and feather meal can be used as a small amount with other feedstuffs. Corn and broken rice can be used as the main energy feed ingredients because of the higher energy values, and barley grain also can be used suitably for bluntnose black bream because of the balance of amino acids.

Key words: *Megalobrama amblycephala*; unconventional feed ingredients; nutrients; apparent digestibility (AD)

Corresponding author: LIU Wen-bin. E-mail: wbliu@njau.edu.cn