

岩原鲤对7种饲料消化力离体研究

林仕梅^{1,2}, 罗莉¹

(1. 西南大学 动物科技学院, 重庆 400716; 2. 中国海洋大学 教育部海水养殖重点实验室, 山东 青岛 266003)

摘要:以岩原鲤 (*Procypris rabaudi* Tchang) 肠道的粗酶液作为酶源, 采用离体消化法测定鱼粉、豆粕、菜粕、棉粕、膨化豆粕、膨化菜粕、膨化棉粕等7种蛋白饲料的干物质和蛋白质的离体消化率及其4 h内氨基酸生成量随反应时间的关系和氨基酸的生成速度。结果表明: (1) 岩原鲤对鱼粉干物质的消化率和酶解氨基酸的生成速度均为最高, 其次为豆粕; 以菜粕、棉粕的效果最差。其中, 鱼粉、豆粕、菜粕、棉粕的干物质消化率分别为47.95%、40.46%、28.16%、16.74%, 酶解氨基酸的生成速度分别为21.800 mg·h⁻¹、17.233 mg·h⁻¹、13.033 mg·h⁻¹、14.100 mg·h⁻¹。同时, 肠道酶液对测定饲料的蛋白质离体消化率均大于肝胰脏酶液。(2) 棉粕和菜粕膨化后, 岩原鲤对干物质、蛋白质的离体消化率以及酶解氨基酸的生成速度都增加。其中, 棉粕膨化后干物质、蛋白质的离体消化率在肠道分别增加6.25%、10.53%, 在肝胰脏分别增加8.43%、8.15%; 菜粕膨化后干物质、蛋白质的离体消化率在肠道分别增加9.30%、7.72%, 在肝胰脏分别增加7.99%、11.20%; 棉粕和菜粕膨化后的酶解氨基酸的生成速度分别增加10.74%、16.08%。而豆粕膨化后, 其蛋白质的离体消化率以及酶解氨基酸的生成速度却显著下降。结论认为, 岩原鲤对所用的7种人工配合饲料有较强的消化能力。[中国水产科学, 2008, 15(4): 637-643]

关键词: 岩原鲤; 蛋白质饲料; 消化率; 离体研究

中图分类号: Q591.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2008)04-0637-07

岩原鲤 (*Procypris rabaudi* Tchang) 是长江上游特有鱼类^[1]。其肉质细嫩, 味道鲜美, 无肌间刺, 具有很高的食用价值。由于受三峡大坝建成后长江水文条件变化的影响, 加之江河水域的污染, 岩原鲤资源受到严重破坏^[2]。为保护岩原鲤种质资源, 并达到可持续开发与利用的目的, 有必要对岩原鲤的人工增殖技术进行研究。而岩原鲤人工配合饲料的开发研究是其养殖的基础。

了解岩原鲤对饲料原料的消化利用情况, 是研制人工配合饲料的基础。从鱼类营养研究的历史看, 体内消化法是鱼类营养学家研究比较彻底、运用最成熟的方法之一, 也是目前国际上在实验室内进行鱼饲料消化率测定的首选方法。而体外消化法是在常规实验条件下快速、简单的测定法, 其结果具有可比性, 且能为不同饲料原料的比较提供可靠的证据^[3-4]。蛋白质是鱼饲料中最重要的营养素, 本实验通过研究和分析探讨岩原鲤对7种蛋白源饲料的体外消化率以及对饲料蛋白的酶解规律, 来评价该鱼对蛋白质饲料的消化能力。在有关岩原

鲤的研究报道中, 尚未见该方面的研究。本研究旨在为岩原鲤人工配合饲料的开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与前处理

1.1.1 实验鱼 岩原鲤取自嘉陵江(北碚段), 共计265尾, 体质量7.1~1 412 g, 体长6.8~38.6 cm。暂养于室内循环水族缸中(容积为0.25 m³), 水温保持在18~21 ℃, pH 6.3~6.8, 溶氧6.8~7.3 mg/L, 每天投喂自制饲料3次, 每日投喂量为鱼体质量的2%~4%。

1.1.2 饲料原料 实验饲料原料为同一批的膨化与未膨化的豆粕(黑龙江)、棉粕(新疆)、菜粕(重庆)以及鱼粉(秘鲁)等7种蛋白饲料, 均过80目筛, 保存于4 ℃冰箱中待用。采用常规方法测得其营养组成, 见表1。

1.1.3 粗酶液制备 将暂养的岩原鲤(体质量150~260 g)取出, 采用常规方法解剖, 取出肠、肝胰脏, 称质量, 并按肠、肝胰脏质量10倍的体积(W/V)

收稿日期: 2007-12-16; 修订日期: 2008-02-24.

基金项目: 重庆市教委资助项目(001905).

作者简介: 林仕梅, 男, 副教授, 博士, 从事水产动物营养与饲料研究. E-mail: linsm198@163.com

加入 pH 7.4、0.2 mol/L 的磷酸缓冲液,用玻璃匀浆器匀浆后 3 500 r/min、4 °C 离心 15 min,取上清液 5 mL 作为粗酶提取液,冰箱冷藏 4 °C 保存备用。

1.2 实验设计

1.2.1 消化道指数的测定 将岩原鲤按常规方法解剖,除去肠内含物,观察肠内食物组成,随后分别测量鱼体质量、肠道质量、肝胰脏质量以及体长、肠道长等指标,计算消化道指数^[5](其中:肠质量指数和肝胰脏质量指数分别为肠和肝胰脏质量与鱼体质量的比值,肠长指数为肠长度与鱼体长比值),并进行体质量与体长的回归分析。

1.2.2 体外消化率的测定 分别取过 80 目筛的进口秘鲁鱼粉、豆粕、菜粕、棉粕、膨化豆粕、膨化菜粕、膨化棉粕 0.3 g 于 100 mL 带塞的三角瓶中,加入 pH 7.4、0.2 mol/L 的磷酸缓冲液 20 mL,分别加入肠道、肝胰脏粗酶液 10 mL。为了避免微生物感染影响结果,参照王子淑等^[6]的方法加入双抗(青霉素 150 U/mL+ 硫酸链霉素 150 U/mL)。在 28 °C 的生化培养箱中培养 6 h,期间以 50 次/min 进行振摇,然后滤纸过滤、烘干,参照林仕梅等^[7]的方法测定滤渣重量和粗蛋白的含量。

表 1 饲料原料的营养组成
Tab.1 Nutrient composition of the test feeds

原料 Ingredient	鱼粉 Fish meal	豆粕 Soybean meal	菜粕 Rapeseed meal	棉粕 Cottonseed meal	膨化豆粕 Extruded soybean meal	膨化菜粕 Extruded rapeseed meal	膨化棉粕 Extruded cottonseed meal
干物质 Dry matter	92.6	91.7	92.2	92.1	88.7	90.4	89.2
粗蛋白 Crude protein	64.2	43.9	37.5	40.9	42.5	36.3	39.5

1.2.3 粗酶液对饲料蛋白质酶解方法 肠道粗酶液对饲料蛋白质的酶解方法参照 1.2.2。分别于 0.0 h、0.5 h、1.0 h、1.5 h、2.0 h、2.5 h、3.0 h、3.5 h、4.0 h 取酶解上清液 0.2 mL、加入 10% 三氯醋酸 0.2 mL 沉淀蛋白质,6 000 r/min 离心 25 min 后,取上清液 0.2 mL 在波长 570 nm 测其 OD 值来计算氨基酸含量。以亮氨酸为标准制备标准曲线。每个处理进行 3 次重复。

以酶解鱼粉、豆粕、菜粕、棉粕、膨化豆粕、膨化菜粕、膨化棉粕所生成的氨基酸量(mg)随时间(h)的变化作为肠道消化酶对饲料蛋白的酶解动力学的变化关系。为了排除酶解液中已有游离氨基酸的影响,各时间样品的 OD₅₇₀ 值均减取 0 h 的 OD₅₇₀ 值后再计算样品的氨基酸生成量。

1.3 测定方法

1.3.1 干物质、粗蛋白的测定 干物质测定采用烘干恒重法,粗蛋白测定采用凯氏定氮法^[8]。

1.3.2 水溶氨基酸的测定 采用茚三酮方法^[9],并根据稀释倍数计算样品的氨基酸生成量。

1.3.3 测定指标 可食比 = 除去鱼内脏后质量(g)/鱼体质量(g)×100%;干物质表观消化率 = [饲料样品质量(g) - 消化后滤渣质量(g)]/饲料

样品质量(g)×100%;粗蛋白表观消化率 = [饲料样品粗蛋白质量(g) - 滤渣粗蛋白质量(g)]/饲料样品粗蛋白质量(g)×100%

1.4 数据处理

采用 SPSS 10.0 对所得数据进行方差分析,若达到显著差异,则进行 Tukey 多重比较,差异显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 岩原鲤消化道指数

测得岩原鲤的消化道指数结果见表 2,相应回归方程见表 3。

由表 2 可知,岩原鲤肠质量指数随鱼体质量的增加而降低,而肝胰脏质量指数和肠长指数随鱼体质量的增加而增加。由表 3 可知,岩原鲤体质量(Y)和净体质量(Y)均与体长(X)呈指数关系,分别为 $Y = 0.042 5X^{2.755 7}$ ($R^2 = 0.957$)、 $Y = 0.037 3X^{2.780 9}$ ($R^2 = 0.951 6$);肝胰脏质量指数(Y)与体质量(X)和肠长指数(Y)均与体长(X)呈正相关的线性关系,分别为: $Y = 0.001 9X + 0.032$ ($R^2 = 0.979 5$)、 $Y = 0.213 7X + 1.139 6$ ($R^2 = 0.982 1$);肠质量指数(Y)与体质量(X)呈正相关的线性关系, $Y = 0.017 4 - 0.001 4X$ ($R^2 = 0.971 3$)。

表 2 岩原鲤的消化道指数
Tab.2 Morphometric characteristics of *Procypris rabaudi*

体质量 /g Body weight	体长 /cm Body length	<i>n</i>	肠质量指数 Intestine weight to body weight	肝胰质量指数 Hepatopanceras weight to body weight	肠长指数 Intestine length to body length
7.1-25.8	6.8-9.3	68	0.024±0.0048	0.016±0.0031	1.42±0.34
109.5-155.5	17.4-18.8	49	0.021±0.0051	0.019±0.0029	1.74±0.42
339-471	21.7-26.5	50	0.017±0.0032	0.025±0.0043	1.97±0.51
526.5-772.4	27.2-31.4	62	0.013±0.0025	0.031±0.0027	2.32±0.61
1172.6-1412	33.2-38.6	36	0.011±0.0009	0.037±0.0047	2.95±0.64

表 3 岩原鲤消化道指数与体质量和体长的回归方程
Tab.3 Regression equations of morphometric characteristics of *Procypris rabaudi* to body weight or length

项 目 Item	回 归 方 程 Regression equation	<i>n</i>	<i>R</i> ²
体质量与体长 Body length-body weight	$Y=0.0425X^{2.7557}$	240	0.957
净体质量与体长 Body length-body gutted weight	$Y=0.0373X^{2.7809}$	225	0.9516
肝胰质量指数与体质量 Hepatopanceras weight to body weight-body weight	$Y=0.0019X+0.032$	260	0.9795
肠质量指数与体质量 Intestine weight to body weight-body weight	$Y=-0.0014X+0.0174$	270	0.9713
肠长指数与体长 Intestine length to body length-body length	$Y=0.2137X+1.1396$	220	0.9821

2.2 岩原鲤对蛋白饲料的体外消化率

由表 4 可知,岩原鲤肠、肝胰脏对鱼粉、豆粕、菜粕、棉粕、膨化豆粕、膨化菜粕、膨化棉粕等 7 种蛋白饲料的干物质和蛋白质的离体消化率,均以肠道最高,肝胰脏较差。以肠道对鱼粉干物质和蛋白

质的离体消化率最高 ($P<0.05$),比其他 6 种蛋白原料的干物质消化率高出 10.69%~79.32%,蛋白质消化率高出 9.83%~53.07%;其次为豆粕和膨化豆粕;菜粕和膨化菜粕又次之;以棉粕和膨化棉粕最差。肝胰脏也表现出同样的变化规律。

表 4 岩原鲤对 7 种蛋白源饲料的体外消化率
Tab.4 In vitro digestion rate of 7 proteins by *P. rabaudi*

蛋白源饲料 Feed of protein source	肠 道 Intestine		肝 胰 脏 Hepatopancreas	
	干 物 质 Dry matter	粗 蛋 白 Crude protein	干 物 质 Dry matter	粗 蛋 白 Crude protein
鱼 粉 Fish meal	47.95±2.41 ^a	60.34±4.16 ^a	45.24±1.98 ^a	57.31±3.01 ^a
豆 粕 Soybean meal	40.46±2.13 ^c	54.94±4.08 ^b	37.46±2.15 ^c	52.39±3.46 ^b
棉 粕 Cottonseed meal	26.74±1.17 ^f	39.42±3.47 ^f	24.32±1.42 ^f	36.45±2.59 ^f
菜 粕 Rapeseed meal	28.16±1.67 ^e	45.61±2.97 ^e	26.78±1.54 ^e	41.87±2.61 ^e
膨化豆粕 Extruded soybean meal	43.32±3.09 ^b	52.49±3.91 ^c	40.98±2.07 ^b	50.13±2.06 ^c
膨化棉粕 Extruded cottonseed meal	28.41±2.07 ^e	43.57±2.87 ^e	26.37±1.68 ^e	39.42±1.46 ^e
膨化菜粕 Extruded rapeseed meal	30.78±2.16 ^d	49.13±2.48 ^d	28.92±1.49 ^d	46.56±2.37 ^d

注:同一级栏中具有不同上标字母的数值表示差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Values with different superscripts in the same row are significant difference ($P<0.05$).

菜粕、棉粕膨化后,岩原鲤肠道、肝胰脏对其干物质和蛋白质的离体消化率较膨化前均显著升高 ($P<0.05$)。其中,棉粕膨化后干物质、蛋白质的离体消化率在肠道分别增加 6.25%、10.53%,在肝胰脏分别增加 8.43%、8.15%;菜粕膨化后干物质、蛋

白质的离体消化率在肠道分别增加 9.30%、7.72%,在肝胰脏分别增加 7.99%、11.20%;豆粕膨化后,肠道、肝胰脏对其干物质的离体消化率也表现出同样的规律,即显著升高,而对其蛋白质的离体消化率却反而显著降低 ($P<0.05$)。

2.3 岩原鲤对蛋白饲料的降解

0~4 h 岩原鲤肠道酶解蛋白饲料的氨基酸生成量随时间的变化关系如图 1~5, 直线的斜率即为单位时间内酶解氨基酸的生成量, 也就是饲料蛋白质被酶解的速度 (mg/h)。酶解速度的大小反应了饲料蛋白质被水解生成氨基酸的能力大小。将不同时间的氨基酸生成量对相应的酶解时间作回归分析得到直线回归方程及相关参数见表 5。

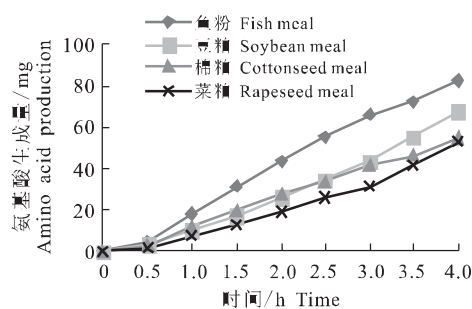


图 1 蛋白饲料酶解氨基酸生成量随时间的变化

Fig.1 Amino acid production of protein enzymolysis solution at different time

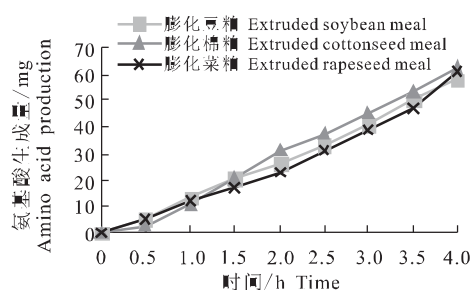


图 2 膨化蛋白饲料酶解氨基酸生成量随时间的变化

Fig.2 Amino acid production of extruded ingredient enzymolysis solution at different time

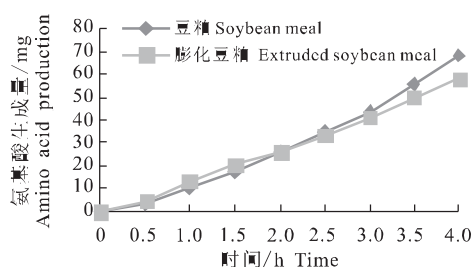


图 3 豆粕和膨化豆粕酶解氨基酸生成量随时间的变化

Fig.3 Amino acid production of soybean meal and extruded soybean meal enzymolysis solution at different time

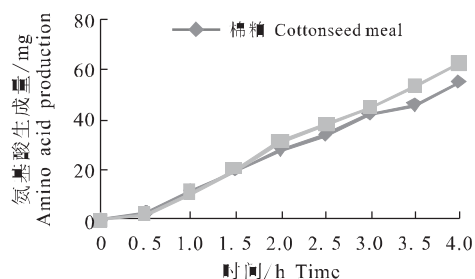


图 4 棉粕和膨化棉粕酶解氨基酸生成量随时间的变化

Fig.4 Amino acid production of cottonseed meal and extruded cottonseed meal enzymolysis solution at different time

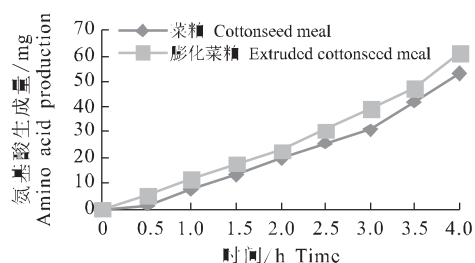


图 5 菜粕和膨化菜粕酶解氨基酸生成量随时间的变化

Fig.5 Amino acid production of rapeseed meal and extruded rapeseed meal enzymolysis solution at different time

从图 1~5 和表 5 可知: 1) 对于鱼粉、豆粕、菜粕和棉粕 4 种不同的蛋白饲料原料, 以鱼粉的酶解氨基酸生成速度最大, 为 21.80 mg/h, 显著高于其他 3 种蛋白饲料 ($P<0.05$), 为 26.50%~67.27%; 其次为豆粕, 再次为棉粕; 对菜粕的酶解氨基酸生成速度最小。2) 对于 3 种膨化植物蛋白饲料, 以膨化棉粕的酶解氨基酸生成速度最大, 为 16.37 mg/h; 其次为膨化豆粕; 膨化菜粕最小。3) 菜粕和棉粕膨化后, 岩原鲤肠道对其酶解氨基酸的生成速度均比未膨化饲料显著增大 ($P<0.05$), 分别增加了 10.74%、16.08%, 而豆粕膨化后, 其酶解氨基酸的生成速度却显著下降了 15.28% ($P<0.05$)。

表 5 酶解氨基酸生成量 (Y) 对反应时间 (X) 的回归方程及氨基酸的生成速度

Tab.5 Regression equations of amino acids production (Y) to enzymolysis reaction time (X) and amino acids production rate of 7 protein feeds

原料 Ingredient	回归方程 Regression equation	R^2	氨基酸生成速度 / (mg·h ⁻¹) Amino acid production rate $\bar{X} \pm SE$	n
鱼粉 Fish meal	$Y=21.800X-1.933$	0.9957	21.800 ± 2.167	6
豆粕 Soybean meal	$Y=17.233X-5.689$	0.9904	17.233 ± 1.894	5
棉粕 Cottonseed meal	$Y=14.100X-1.533$	0.9974	14.100 ± 2.032	5
菜粕 Rapeseed meal	$Y=13.033X-4.400$	0.9858	13.033 ± 1.678	5
膨化豆粕 Extruded soybean meal	$Y=14.600X-3.089$	0.9899	14.600 ± 1.965	5
膨化棉粕 Extruded cottonseed meal	$Y=16.367X-3.511$	0.9963	16.367 ± 2.008	5
膨化菜粕 Extruded rapeseed meal	$Y=14.433X-1.311$	0.9979	14.433 ± 1.456	5

3 讨论

3.1 岩原鲤的生长模式

由表 3 可知,岩原鲤体质量 (W) 与体长 (L) 回归方程符合鱼类生长的一般模式,即 $W=aL^b$, b 值为 2.755 7。净体质量 (W) 与体长 (L) 回归方程也符合模式 $W=aL^b$, b 值为 2.780 9。肠质量指数与体质量的关系表现为随体质量增加而呈下降趋势。肝胰质量指数与体质量的变化则表现为线形正相关,可能是随鱼体质量增加,肝胰脏作为主要代谢器官和脂肪积累的负荷加重,因而肝胰脏质量增加。肠长指数与体长的变化为一次函数方程,即随体长增加,肠长指数减少。

3.2 岩原鲤的食性

根据本实验对嘉陵江岩原鲤的消化道指数和肠道内食物组成的观察分析,认为岩原鲤的食性应为杂食性。

(1) 岩原鲤的消化道指数显示出杂食性鱼类的特征。据尾崎久雄^[5]报道,鲤比肠长 2.64,草鱼比肠长 2.55,鲢比肠长 3.0~7.8,鳊比肠长 0.966。根据表 2 数据,岩原鲤肠长指数与鲤、草鱼较为接近,但大于肉食性鱼类。鲤的肝胰质量指数为 0.028~0.033,虹鳊肝胰质量指数为 0.014 9^[5]。根据表 2 数据,岩原鲤肝胰质量指数与鲤鱼较为接近。

(2) 从消化道内食物组成来看,其食性也应为杂食性。刚从嘉陵江捕获的岩原鲤,发现多数鱼肠道内含有有机碎屑、藻类、枝角类、轮虫类、寡毛类等,食物种类较多,食性较杂。

(3) 岩原鲤消化系统的蛋白酶和淀粉酶活力均较高(待发表)。消化酶活力是影响鱼消化能力的

主要因素,因此可以推论岩原鲤对蛋白、淀粉类食物的消化能力较强。也显示出岩原鲤对人工配合饲料有较强的适应潜力。

3.3 岩原鲤对蛋白饲料的消化能力

本实验结果表明,岩原鲤对鱼粉具有很好的消化效果,在 3 种植物蛋白饲料中,以对豆粕的消化效果最好,其次为菜粕,对棉粕的消化效果最差。王丽娟等^[10]采用体外胃蛋白酶-胰蛋白酶两步消化法,在鸡上测得的结果与本实验结果相同。这说明该测定方法的可行性。从对蛋白质的离体消化率来看,豆粕的结果与鱼粉的结果非常接近,表明岩原鲤对豆粕的利用效果很好。

饲料蛋白要经过动物机体消化酶的作用,水解成为小肽(一般为二肽、三肽)、氨基酸后,才能有效地被吸收,并且小肽在总体氨基酸的吸收中占有重要地位^[11],这在畜禽研究上已成定论,对部分动物如鸡、猪的研究结果表明,动物对小肽的吸收效率显著高于对氨基酸的吸收效率。而关于鱼类消化道对饲料蛋白的水解产物—小肽、氨基酸的比较研究还未见报道。那么鱼类对食物蛋白质消化的终产物是以小肽为主还是以氨基酸为主,其种类、量和比例又如何,这些问题依然需要进行系统、深入的研究。而本实验仅从岩原鲤肠道对饲料蛋白质酶解后氨基酸的生成速度来进行研究。实验结果表明,以岩原鲤肠道对鱼粉的酶解能力最好,其次为豆粕,以对菜粕、棉粕的水解效果最差。这是因为不同饲料蛋白质组成氨基酸的种类、数量和排列顺序不同,其所含有的蛋白酶敏感作用位点的数目也不同^[12],因此不同饲料蛋白水解产生氨基酸的种类和数量以及生成速度就不同。Savoie 等^[13]

对 19 种动、植物性（豆科、谷物）蛋白进行体外消化实验发现，经胃蛋白酶-胰蛋白酶的作用，动物性蛋白质释放出的肽和游离氨基酸的比例高于豆科，而谷物蛋白质的释放量最低。施用辉等^[11]应用胃蛋白酶-胰酶两步体外消化法测得鱼粉、豆粕和菜粕的氨基酸释放，结果与本实验表现出相同的规律。Moyano 等^[14]采用离体消化法比较了动物纯化酶和真鲷（*Sparus aurata*）胃粗酶液对鱼粉和豆粕的水解能力，结果发现两种酶对鱼粉的水解能力均强于豆粕，并发现同种酶对鱼粉和豆粕蛋白的氨基酸的酶解能力相同，但用动物纯化酶测得的结果高于鱼胃粗酶液。这进一步体现了该方法的可操作性。

3.4 岩原鲤对膨化蛋白饲料的消化能力

目前，一方面可以通过饲料配制技术来提高饲料的营养价值；另一方面可以通过饲料加工技术（如膨化处理）来改善饲料的利用率。豆粕膨化后，一方面提高了淀粉的糊化率，抗营养因子（如胰蛋白酶抑制剂和胰凝乳蛋白酶抑制剂）失活，显著改善了岩原鲤对豆粕的消化率，使干物质的离体消化率显著增加；另一方面由于豆粕的赖氨酸含量（2.81%）较高，且易与还原性糖类发生美拉德反应，导致赖氨酸有效性降低。从而导致其蛋白质的离体消化率以及酶解氨基酸的生成速度显著下降。豆粕是一种优质的植物蛋白，从本实验结果来看，豆粕膨化后其可消化性和饲用价值显著下降。这可能是膨化加工对豆粕产生不利影响占主导因素所致。Parsons 等^[15]指出豆粕加热不足或过度都会使豆粕的氨基酸利用率下降。林仕梅等^[16]发现，膨化豆粕比例从 35.7% 降到 25% 时，湘云鲫的瞬时生长率增加，而饲料系数下降。这进一步证实豆粕膨化后其利用率下降。但如何定量评价豆粕膨化后氨基酸的利用率降低，还有待探讨。

而棉粕、菜粕膨化后，岩原鲤对其干物质、蛋白质的离体消化率以及酶解氨基酸的生成速度均显著增加。这说明膨化加工在一定程度上降低棉粕、菜粕等植物蛋白饲料中抗营养因子的含量，加之其赖氨酸含量（1.30%~1.59%）不高，美拉德反应的影响也不及豆粕，总的表现为其饲用价值得到明显提高。

参考文献：

- [1] 丁瑞华. 四川鱼类志 [M]. 成都: 四川人民出版社, 1994: 165-172.
- [2] 乐佩琦, 陈宜渝. 中国濒危动物（鱼类）红皮书 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 170-172.
- [3] Bassompierre M, Borresen T, Sandfeld P, et al. An evaluation of open a closed systems for in vitro protein digestion of fish meal [J]. Aqua Nutr, 1997 (3): 153-159.
- [4] Chong R, Hashim I M. Assessment of dry matter and protein digestibilities of selected raw ingredients by discus fish (*Symphysodon acquifasciate*) using in vivo and in vitro methods [J]. Aqua Nutr, 2002, 8: 229-238.
- [5] 尾崎久雄著, 吴尚忠译. 鱼类消化生理学 [M]. 上海: 上海科技出版社, 1982: 162-175.
- [6] 王子淑. 人体及动物细胞遗传学实验技术 [M], 成都: 四川大学出版社, 1990: 189-194.
- [7] 林仕梅, 王友慧, 罗莉, 等. 大鲮鱼蛋白酶活力的研究 [J]. 中国水产科学, 2003, 10 (2): 169-172.
- [8] Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis [M]. 15th Edition AOAC, Inc., Arlington, Virginia: 1990: 25-28.
- [9] 叶元土, 林仕梅, 罗莉. 茚三酮法测定饲料中水溶蛋白质成分 [J]. 饲料工业, 1993, 14 (9): 18-20.
- [10] 王丽娟, 马秋刚, 计成. 体外消化过程中低分子量寡肽释放量与饲料品质的关系 [J]. 农业生物技术学报, 2004, 12 (4): 416-421.
- [11] 施用辉, 乐国伟, 刘选珍, 等. 离体外消化过程中蛋白质品质与寡肽释放的研究 [J]. 中国畜牧杂志, 2001, 37 (6): 12-14.
- [12] Tarvid I. The development of protein digestion in poultry [M]. Poultry Avian Biol Rev, 1995, 6 (1): 35-54.
- [13] Savoie L, Charbonneau R, Parent C. In vitro amino acid digestibility of food proteins as measured by the digestion cell technique [J]. Plant-foods Human Nutr, 1989, 39: 93-107.
- [14] Moyano F J, Savoie L. Comparison of in vitro systems of protein digestion using either mammal or fish proteolytic enzymes [J]. Compar Biochem Physiol Part A, 2001, 128: 359-368.
- [15] Parsons C M, Hashimoto K, Wedekind K J, et al. Effect of overprocessing on availability of amino acids and energy in soybean meal [J]. Poultry Sci. 1992, 71: 133-140.
- [16] 林仕梅, 罗莉, 叶元土, 等. 膨化与非膨化饲料对湘云鲫生长的影响 [J]. 饲料工业, 2002, 23 (10): 18-21.

Apparent digestibilities of 7 feedstuffs in vitro for *Procypris rabaudi* from Jialing River

LIN Shi-mei^{1,2}, LUO Li¹

(1.College of Animal Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2.Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: *Procypris rabaudi* was an endemic fish in upper reaches of the Yangtze River in china. In order to investigate the digestible capacity for 7 protein feedstuffs, digest enzymes for the enzymolysis cultivation were extracted from intestine and hepatopancreas respectively. The apparent digestibilities of dry matter and crude protein for *Procypris rabaudi* to fish meal, soybean meal, rapeseed meal, cottonseed meal, extruded soybean meal, extruded rapeseed meal and extruded cottonseed meal were determined in vitro. The amino acid produced from the enzymolysis fluid of seven proteins were measured by the method of ninhydrin in 0–4 hour. The regression equations of the amino acid to time were conducted respectively. The amino acid production rate from 7 proteins were measured. The results showed that: (1) The digestibility of dry matter, crude protein and the enzymolysis rates of fish meal was higher than that of soybean meal, rapeseed meal or cottonseed meal, while the digestibility of rapeseed meal and cottonseed meal was the lowest. The digestibility of dry matter of fish meal, soybean meal, rapeseed meal and cottonseed meal was 47.95%, 40.46%, 28.16%, 16.74%, respectively. and the enzymolysis rate of amino acid was 21.800 mg·h⁻¹, 17.233 mg·h⁻¹, 13.033 mg·h⁻¹, 14.100 mg·h⁻¹, respectively. (2) Compared to extruded soybean meal, rapeseed meal and cottonseed meal, the digestibility of dry matter, crude protein and the enzymolysis rates of extruded rapeseed meal and extruded cottonseed meal significantly increased. The digestibility of dry matter and protein for extruded cottonseed meal in vitro were increased by 6.25% and 10.53% in intestine, by 8.43% and 8.15% in hepatopancreas. and that of extruded rapeseed meal were increased by 9.30% and 7.72% in intestine, by 7.99% and 11.20% in hepatopancreas compared to non-extruded rapeseed meal. The enzymolysis rate of amino acid for extruded cottonseed meal and extruded rapeseed meal were increased by 10.74% and 16.08% compared to non-extruded one, respectively. However, the digestibility of extruded soybean meal significantly decreased. In conclusion, *Procypris rabaudi* has a good ability to digest 7 tested feedstuffs. [Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15 (4): 637–643]

Key words: *Procypris rabaudi*; protein feedstuff; digestibility; in vitro study