

文章编号: 1674-5566(2010)03-0339-05

尼罗罗非鱼对豆粕、菜粕、肉骨粉和羽毛粉的表现消化率

姜瑞丽^{1,2}, 王岩², 谢宁峡^{1,2}, 纪文秀^{1,2}

(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: 在实验室内测定了体重为 101 g 的尼罗罗非鱼对豆粕、菜粕、肉骨粉和羽毛粉干物质、蛋白质和能量的表现消化率 (Apparent digestibility coefficient ADC)。实验饲料由 70% 基础饲料和 30% 待测原料组成。基础饲料中添加 1% C_2O_3 作为指示物。实验期间, 尼罗罗非鱼每投喂 3 天的基础饲料后连续投喂实验饲料 4 天, 投喂每种饲料后的第 2 天收集鱼粪便。结果表明: 尼罗罗非鱼对豆粕、菜粕、肉骨粉和羽毛粉干物质表现消化率分别为 68%、47%、58% 和 58%, 蛋白质表现消化率为 100%、83%、78% 和 77%, 能量表现消化率为 76%、61%、78% 和 70%。相比之下, 豆粕是尼罗罗非鱼饲料配方中理想的蛋白原料。利用菜粕作为尼罗罗非鱼饲料蛋白时应解决可消化能不足的问题, 通过少量添加肉骨粉可弥补菜粕能量表现消化率较低的缺陷。

关键词: 尼罗罗非鱼; 表现消化率; 豆粕; 菜粕; 肉骨粉; 羽毛粉

中图分类号: S 965. 125; S 963. 1 **文献标识码:** A

Apparent digestibility coefficient of soybean meal rapeseed meal meat and bone meal and feather meal for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)

JIANG Rui-li^{1,2}, WANG Yan², XIE Ning-xia^{1,2}, JI Wen-xiu^{1,2}

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

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

Abstract: Apparent digestibility coefficient (ADC) of dry matter, protein and energy of soybean meal, rapeseed meal, meat and bone meal and feather meal for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) (body weight 101 g) were measured in an indoor experiment. The test diets were formulated to contain 70% the reference diet and 30% the tested ingredient. Chromic oxide (C_2O_3) was added at 1% in the reference diet as an inert marker. The fish were fed the reference diet for three days and then fed the test diets in following four days every week. Fecal samples were collected from the second day after feeding of each diet during the experiment. Results of the present study revealed that the ADC of dry matter of soybean meal, rapeseed meal, meat and bone meal and feather meal for Nile tilapia was 68%, 47%, 58% and 58%, the ADC of protein of these feed ingredients was 100%, 83%, 78% and 77%, the ADC of energy of these feed ingredients was

收稿日期: 2009-10-10

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划 (2006BAD12B08)

作者简介: 姜瑞丽 (1981-), 女, 硕士研究生, 专业方向为水产动物营养与饲料科学。E-mail: jiangrui@163.com

通讯作者: 王岩, Tel/Fax: 0571-86971891, E-mail: ywang@zju.edu.cn

76%, 61%, 78% and 70%, respectively. In comparison, soybean meal is an excellent dietary protein source for Nile tilapia. The use of rapeseed meal as dietary protein source in Nile tilapia diets can result in low digestible energy, and the use of rapeseed meal and meat and bone meal in combination could be a solution to this problem.

Key words: Nile tilapia; apparent digestibility coefficient; soybean meal; rapeseed meal; meat and bone meal; feather meal

评价鱼类对不同饲料原料的表观消化率 (Apparent digestibility coefficient, ADC) 是鱼类营养与饲料研究中的重要内容。迄今已围绕不同鱼类种类对不同饲料原料的 ADC 积累了大量的研究数据^[1]。同一种鱼类对同类饲料原料的 ADC 在不同研究中得到的结果不完全相同, 有关差异很可能与不同研究在所用的饲料营养组成 (饲料中糖类、脂肪来源与含量^[2-3]) 和养殖环境条件 (水温^[3]、盐度^[2,4]) 方面的差异有关。鉴于鱼类对饲料原料的 ADC 可受多种因素影响, 因此有必要从多个角度评价具有重要经济价值的养殖鱼类种类对常用饲料原料的 ADC, 以便正确评价该饲料原料营养成分的可利用性。

尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 是世界范围内被广泛养殖的温水性杂食性鱼类。目前, 在我国广东地区已形成完整的罗非鱼养殖和加工产业链。有关罗非鱼对不同饲料原料, 如鱼粉、羽毛粉、肉骨粉、虾壳粉、豆粕、菜籽粕、小麦、高粱、玉米麸皮、酵母饲料、花生粕、米糠、脱脂大豆、全脂大豆、蚕豆粉、棉籽粕和葵花粕等的 ADC 已有报道^[5-10]。本文比较了尼罗罗非鱼对 4 种常用植物性蛋白原料和动物性蛋白原料, 豆粕、菜粕、肉骨粉、羽毛粉的 ADC, 目的是为完善罗非鱼饲料配方提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼来源与驯养

所用尼罗罗非鱼购自上海市南汇水产养殖场。实验前 2 周挑选个体大小相近的 180 尾鱼驯养在 12 个直径 70 cm、高 60 cm、容积为 200 L 的循环水水槽内。水槽内的水连续充气并按每分钟 12 L 的流速流出 (流出的水经生物滤器和活性炭处理后再流回水槽)。驯养期间每天分两次投喂实验鱼饲料, 估计罗非鱼摄食量, 并观察排粪

时间。

1.2 实验饲料配方

所用肉骨粉和羽毛粉由美国动物蛋白及油脂提炼协会香港办事处提供, 豆粕、菜粕和其它饲料原料购于上海天邦饲料有限公司。待测饲料原料营养组成和能量含量见表 1。根据罗非鱼饲料蛋白需求配方基础饲料^[1]。基础饲料中添加 1% Cr₂O₃ 作为指示物。按实验饲料由 70% 基础饲料和 30% 待测原料组成^[11]的比例配制 4 种实验饲料: 豆粕饲料、菜籽粕饲料、肉骨粉饲料和羽毛粉饲料。基础饲料与实验饲料配方、营养组成和能量含量见表 2。饲料原料经粉碎后根据配方混合均匀, 用 SLP-45 型制粒机 (中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海) 制粒。颗粒饲料在室温下风干, 密封保存。

1.3 实验过程和粪便收集

实验开始前将驯养的鱼停喂 24 h, 然后集中到同一个水槽中。每次随机挑选 10 尾鱼, 群体称重, 放入容积为 200 L 的循环水水槽中。每种实验饲料设 3 个重复, 共用 12 个水槽。实验鱼初始体重为 101.0 ± 0.6 g。实验共进行 4 周, 每天 8:00 和 16:00 按饱食投喂。每周的第 1-3 天投喂基础饲料, 第 4-7 天投喂实验饲料。每种饲料投喂后第 2 天收集粪便, 即每周的第 2-3 天收集投喂基础饲料的粪便, 第 5-7 天收集投喂实验饲料的粪便。每次投喂后约 1.5 h 收集残饵并清理鱼粪便, 投喂后约 4 h (此时鱼大量排粪) 用虹吸法收集包膜完整的粪便。收集的粪便置于称量瓶中, 烘干后在 -20℃ 下保存。实验期间, 除循环水外, 每天用经过充分曝气的自来水将水槽内 25% 的水更换。水温控制为 25℃, 室内光暗周期控制为 12 h : 12 h, 水槽内溶氧始终高于 5 mg/L。

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	干物质 (%)	粗蛋白 (%)	粗脂肪 (%)	灰分 (%)	总能 (MJ/kg)
菜粕	89.5	41.8	1.4	6.8	17.6
豆粕	88.4	43.3	1.0	5.7	17.1
肉骨粉	95.3	56.8	13.3	22.7	18.6
羽毛粉	92.5	87.7	4.9	1.2	22.5

表 2 基础饲料和实验饲料配方、营养组成和能量含量

Tab 2 Formulation, proximate composition and energy content of the reference diet and test diets

原料	基础饲料 (%)	豆粕饲料 (%)	菜粕饲料 (%)	肉骨粉饲料 (%)	羽毛粉饲料 (%)
鱼粉	17				
菜粕	15		30		
豆粕	25	30			
淀粉	3				
次粉	30				
CaHPO ₄	1.5				
鱿鱼粉	3				
蛋氨酸	0.5				
维生素预混物	1				
矿物质预混物	1				
鱼油	2				
CaO ₃	1				
基础饲料		70	70	70	70
肉骨粉				30	
羽毛粉					30
营养组成					
干物质 (%)	89.3	88.9	91.0	88.7	89.5
粗蛋白 (%)	34.5	36.5	41.5	50.2	38.3
粗脂肪 (%)	3.6	1.9	5.8	3.0	1.9
灰分 (%)	7.9	7.5	11.6	5.9	7.6
总能 (MJ/kg)	17.5	17.6	18.1	18.8	17.5

注:维生素预混物(每 kg 饲料含量):维生素 A, 2 500 IU;维生素 D₃, 2 000 IU;维生素 E, 50 IU;维生素 K, 1 mg;维生素 B₁, 1 mg;维生素 B₂, 6 mg;维生素 B₆(比哆醇), 5 mg;维生素 B₁₂, 0.02 mg;D-泛酸钙, 20 mg;胆碱, 1 000 mg;烟碱酸, 10 mg;生物素, 0.14 mg;叶酸, 1 mg;维生素 C, 50 mg

矿物质预混物(每 kg 饲料含量):氯化钠 1 200 mg;硫酸亚铁 13 mg;硫酸锌 60 mg;硫酸锰 32 mg;硫酸铜 7 mg;碘化钾 8 mg

1.4 试验饲料和粪便样品分析

实验过程中所取的鱼饲料和粪便样品在 75℃ 下烘干。按照 AOAC 方法分析饲料和粪便中干物质、粗蛋白、粗脂肪、灰分和能量含量,以及饲料和粪便样品中 Cr 的含量。

1.5 数据计算与统计分析

基础饲料和实验饲料干物质、蛋白质和能量 ADC 以及待测原料干物质、蛋白质和能量 ADC 按 Bureau 等所述的公式计算^[12]。

采用单因素方差分析 (ANOVA) 方法检验不同饲料间干物质、蛋白质和能量 ADC, 以及待测原料间干物质、蛋白质和能量 ADC 的差异。采用

Duncan 方法进行多重比较。ADC 数据进行方差分析前先经过反正弦转换。取 $P < 0.05$ 为差异显著水平。

2 结果

2.1 饲料干物质、蛋白质和能量 ADC

实验鱼成活率为 100%。从表 3 可见, 实验饲料干物质 ADC 为 67%~73%, 蛋白质 ADC 为 80%~90%, 能量 ADC 为 74%~79%。其中, 菜粕饲料和豆粕饲料蛋白质 ADC 明显高于肉骨粉饲料和羽毛粉饲料蛋白质 ADC ($P < 0.05$); 肉骨粉饲料和菜粕饲料能量 ADC 明显高于豆粕饲料

和羽毛粉饲料能量 ADC ($P < 0.05$)。

2.2 饲料原料干物质、蛋白质和能量 ADC

从表 4 可见,豆粕和菜粕干物质、蛋白质和能量 ADC 分别为 47%~68%、83%~100% 和 61%~76%;肉骨粉和羽毛粉干物质、蛋白质和

能量 ADC 分别为 58%、77%~78% 和 70%~78%。豆粕和菜粕蛋白质 ADC 高于肉骨粉和羽毛粉蛋白质 ADC ($P < 0.05$);豆粕、肉骨粉和羽毛粉能量 ADC 明显高于菜粕能量 ADC ($P < 0.05$)。

表 3 基础饲料和实验饲料的干物质、蛋白质和能量表观消化率

Tab. 3 Apparent digestibility coefficient of dry matter, protein and energy of the reference diet and test diets

饲料	干物质表观消化率 (%)	蛋白质表观消化率 (%)	能量表观消化率 (%)
基础饲料	75.09±0.28 ^a	87.39±0.04 ^a	80.38±0.04 ^a
菜粕饲料	72.59±0.28 ^b	89.88±0.26 ^b	78.77±0.21 ^b
豆粕饲料	66.99±0.29 ^c	86.02±0.19 ^c	73.80±0.21 ^c
肉骨粉饲料	69.90±0.59 ^d	82.59±0.37 ^d	78.43±0.30 ^b
羽毛粉饲料	71.3±0.06 ^e	80.30±0.12 ^e	75.99±0.03 ^d

注:同列中上标字母不同者表示差异显著 ($P < 0.05$)。

表 4 待测原料干物质、蛋白质和能量表观消化率

Tab. 4 Apparent digestibility coefficient of dry matter, protein and energy of the tested ingredients

原料	干物质表观消化率 (%)	蛋白质表观消化率 (%)	能量表观消化率 (%)
豆粕	67.99±0.96 ^a	100.83±0.75 ^a	75.88±0.70 ^a
菜粕	47.07±0.95 ^b	83.34±0.57 ^b	60.68±0.70 ^b
肉骨粉	58.39±1.89 ^c	78.25±0.94 ^c	77.96±1.02 ^a
羽毛粉	58.32±0.19 ^v _c	76.59±0.24 ^c	70.00±0.09 ^c

注:同列中上标字母不同者表示差异显著 ($P < 0.05$)。

3 讨论

本研究中所用的指示剂 $C_{60}O_3$ 和收集粪便方法在鱼类饲料 ADC 研究已广为采用,其可靠性已得到证实^[12],所采用的“投喂 3 天基础饲料后投喂 4 天实验饲料”投喂方法,可降低因实验鱼对不同实验饲料适口性不同而导致的摄食量的差异,保证实验结果的可靠性。本研究中,豆粕蛋白质 ADC 超过 100%,在其它研究中也曾报道过待测原料 ADC 超过 100% 的现象^[13-14],这与样品分析方法有关,但至少说明豆粕具有很高的蛋白质 ADC。研究发现鱼类对饲料原料的蛋白质 ADC 为 75%~95%,能量 ADC 为 55%~92%^[11]。我们的试验中尼罗罗非鱼对各种饲料原料蛋白质 ADC (77%~83%) 和能量 ADC (61%~78%) 已在已报道的范围内。

尼罗罗非鱼对豆粕蛋白质 ADC 为 100.8%,能量 ADC 为 75.9%;对菜粕蛋白质 ADC 为 83.3%,能量 ADC 为 60.7%。吴建开^[6]报道体重 7.6g 的尼罗罗非鱼对豆粕蛋白质 ADC 为

99.26%,对菜粕蛋白质 ADC 为 86.57%。Sk lan^[7]报道杂交罗非鱼对豆粕的蛋白质和能量 ADC 分别为 96.2% 和 84.5%,对菜粕蛋白质和能量 ADC 分别为 85% 和 57.3%。Kenan^[8]报道尼罗罗非鱼对豆粕蛋白质 ADC 为 87.4%,能量 ADC 为 83.7%。试验所得出的尼罗罗非鱼对豆粕的蛋白质 ADC 与吴建开^[6]和 Sk lan^[7]等的结果接近,但对豆粕的能量 ADC 测定结果低于 Sk lan^[7]的结果;所得出的对菜粕的蛋白质 ADC 和能量 ADC 与吴建开^[6]和 Sk lan^[7]等的结果接近。许多研究指出菜粕能量 ADC 较低^[15],我们的试验结果证实了这一结论。

尼罗罗非鱼对肉骨粉的蛋白质 ADC 为 78.3%,能量 ADC 为 78.0%;对羽毛粉的蛋白质 ADC 为 76.6%,能量 ADC 为 70.0%。相比之下,虹鳟对不同来源的肉骨粉的蛋白质 ADC 为 83%~89%,能量 ADC 为 68%~83%,对不同来源的羽毛粉的蛋白质 ADC 为 76%~87%^[16]。尼罗罗非鱼对水解羽毛粉的蛋白质 ADC 为 93.4%^[6];美国红鱼对肉骨粉的蛋白质 ADC 为

78.9%,能量 ADC为 86%^[17]。我们试验中所得出的尼罗罗非鱼对羽毛粉的蛋白质 ADC明显低于以往对虹鳟^[16]和尼罗罗非鱼^[6]研究所得到的结果,表明用羽毛粉作为尼罗罗非鱼饲料蛋白原料存在一定的局限性。

我们的研究结果显示,尼罗罗非鱼对两种植物性蛋白原料(肉粕和菜粕)的蛋白质 ADC高于两种动物性蛋白原料(肉骨粉和羽毛粉),意味着尼罗罗非鱼容易消化吸收利用植物蛋白质,这可能与该种类在长期进化过程中对自然环境中食物资源的适应有关。考虑到上述四种饲料原料的营养组成、蛋白质和能量 ADC和市场价格,相比之下豆粕显然是尼罗罗非鱼饲料配方中理想的蛋白原料。利用菜粕作为尼罗罗非鱼饲料蛋白源时应设法解决由此产生的可消化能不足的问题,通过在配方中少量添加肉骨粉可弥补菜粕能量 ADC较低的缺陷。

参考文献:

- [1] National Research Council. Nutrient requirement of fish[M]. Washington DC: National Academy Press. 1993: 114.
- [2] Storebakke N T, Shearer K D, Refstie S, et al. Interactions between salinity, dietary carbohydrate source and carbohydrate concentration on the digestibility of macronutrients and energy in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture* 1998, 163(3-4): 347-359.
- [3] Bendiksen E, Berga O K, Jobling M, et al. Digestibility, growth and nutrient utilization of Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L.) in relation to temperature, feed fat content and oil source [J]. *Aquaculture* 2003, 224(1-4): 283-299.
- [4] De Silva S S, Perera M K. Digestibility in *Sarotherodon niloticus* fry: effects of dietary protein level and salinity with further observation on variability in daily digestibility [J]. *Aquaculture* 1984, 38(4): 293-306.
- [5] Gaber M M A. Partial and complete replacement of fish meal by poultry by-product and feather meal in diets of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* [J]. *Annals of Agricultural Science* 1996, 32: 203-214.
- [6] 吴建开, 雍文岳, 游文章, 等. 13种饲料原料蛋白质对尼罗罗非鱼的营养价值 [J]. *中国水产科学*, 2000, 7(2): 37-42.
- [7] Sklan D, Prag T, Lupatsch I. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their prediction in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* (Teleostei Cichlidae) [J]. *Aquaculture Research* 2004, 35(4): 358-364.
- [8] Kenan K, Yasar O. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Aquaculture* 2005, 250(1-2): 308-316.
- [9] Fontainhas F A, Gomes E, Reis Henriques M A, et al. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of Nile tilapia: digestibility and growth performance [J]. *Aquaculture International* 1999, 7(1): 57-67.
- [10] El-Saady D M S D, Gaber M M A. Replacement of fish meal with a mixture of different plant protein sources in juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) diets [J]. *Aquaculture Research* 2003, 34(13): 1119-1127.
- [11] Cho C Y, Slinger S J. Apparent digestibility measurement in feeds for rainbow trout. In: Halver J, Tiews K. (Edit), *Proc World Symp on Finfish Nutrition and Fish feed Technology*[M]. Berlin: Heenemann 1979, 2: 239-247.
- [12] Bureau D P, Kaushik A J, Cho C Y. Bioenergetics. In Halver H E, Hardy R W. *Fish (Editor): Nutrition*, 3th edn [M]. San Diego: Academic Press 2002: 14.
- [13] Brett D G, Chris G C, Neil D, et al. A comparison of the digestibility of a range of lupin and soybean protein products when fed to Atlantic salmon (*Salmo salar*) or rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture* 2004, 237(1-4): 333-346.
- [14] 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.
- [15] Burel C, Boujard T, Tulli F, et al. Digestibility of extruded peas, extruded lupin and rapeseed meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and turbot (*Psetta maxima*) [J]. *Aquaculture* 2000, 188(3-4): 285-298.
- [16] 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.
- [17] Gaylord T G, Delbert M, Gatlin III. Determination of digestibility coefficients of various feedstuffs for red drum (*Sciaenops ocellatus*) [J]. *Aquaculture* 1996, 139(3-4): 303-314.