

doi: 10.7541/2014.93

饲料鱼粉、菜粕比例对异育银鲫生长和饲料利用的影响

刘晓庆^{1,2} 朱晓鸣² 韩冬² 金俊琰² 杨云霞² 解绶启²

(1. 安徽大学资源与环境工程学院, 合肥 230601; 2. 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072)

摘要: 通过在饲料中配制不同鱼粉和菜粕比例, 探讨利用菜粕蛋白替代鱼粉对异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)的生长和饲料利用的影响。饲料中菜粕蛋白替代鱼粉蛋白的比例分别为 0%、20%、40%、60% 和 80%。实验结果表明, 当饲料中菜粕蛋白比例高于 40%时, 异育银鲫的生长显著下降($P<0.05$), 对摄食率影响不明显($P>0.05$)。在 80%替代水平下, 干物质和蛋白质的消化率最低, 能量消化率在 40%替代水平最低。饲料转化效率在 20%蛋白替代后明显下降($P<0.05$)。蛋白质和能量储积率在 40%蛋白替代后明显下降($P<0.05$)。在 40%菜粕蛋白下, 鱼体能量和脂肪含量最高。鱼体蛋白质在 60% 和 80% 菜粕蛋白时最低, 脂肪在 20% 菜粕蛋白时最高。因此饲料菜粕蛋白的水平不超过 20%(干物质含量约 17%)不会影响异育银鲫的生长和饲料转化。

关键词: 菜粕; 鱼粉; 生长; 饲料利用; 异育银鲫

中图分类号: S965.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2014)04-0657-07

鱼粉是优质的饲料蛋白源, 也是饲料原料中价格较高的原料。鱼粉资源的紧缺也导致其价格在不断上升^[1]。因此, 饲料企业和营养学家一直致力于寻找降低饲料中鱼粉用量的方法, 其中利用一部分植物蛋白是重要的手段之一^[2]。豆粕常被作为第一替代蛋白源, 但是随着中国饲料产业对豆粕的依赖性加强, 豆粕的价格不稳定且随着养殖对饲料需求量升高逐年上涨。我国油菜种植面积较大, 年产菜粕 600 余万吨, 且产量较为稳定, 菜粕含粗蛋白约 35%—40%, 还富含维生素和矿物盐, 是一种重要的植物蛋白源^[3, 4]。但是因其含有多种抗营养因子和毒素, 限制了菜粕在鱼类饲料中的使用量。国内外现有研究表明, 影响鱼类对菜粕利用的因素通常包括: (1) 氨基酸不平衡, 尤其是赖氨酸的缺乏^[5]; (2) 抗营养因子如单宁酸、芥子油甙等, 可影响氨基酸的利用、消化酶的活性、矿物盐的利用等^[6]; (3) 纤维含量高, 会降低矿物盐的利用率, 减少肠道内容物通过肠道的时间^[7, 8]; (4) 适口性低, 降低鱼类摄食^[9, 10]。

大多数研究表明在日粮中添加 30%以上的菜粕会降低鱼类生长和饲料利用^[11—13], 但是也有一些学者报道鱼类可以摄食更高水平的饲料菜粕^[14, 15]。尽管菜粕中的抗营养因子等限制了其在水产饲料中的使用, 并对鱼类生长性能和饲料的消化吸收产生不良影响, 但是由于养殖种类、规格、养殖方式、实验条件等的不同, 导致菜粕在各种鱼类饲料中的使用量也不相同。

异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)作为我国一种重要的经济养殖对象, 由于它生长迅速, 肉质鲜美, 深受大众欢迎, 在中国水产养殖业中具有重要地位^[16]。菜粕是异育银鲫饲料的常用原料, 但是其适宜添加量并没有报道。我们实验室此前研究了较高水平的不同植物蛋白源(包括菜粕)替代鱼粉对异育银鲫的生长和饲料利用造成的影响, 结果表明与鱼粉对照组相比, 较高含量的菜粕不影响异育银鲫的摄食但是降低了其生长^[17]。本实验的目的是研究饲料中不同水平菜粕替代鱼粉对异育银鲫生长和饲

收稿日期: 2013-04-16; 修订日期: 2013-12-20

基金项目: 饲料高效低耗加工技术研究与示范(201203015); 大宗淡水鱼类产业技术体系-鲫鱼营养与饲料岗位 CARS-46-19; 替代鱼用饲料中鱼粉的新蛋白源开发利用技术研究与示范(201303053)资助

作者简介: 刘晓庆(1988—), 女, 安徽合肥人; 硕士; 主要从事鱼类生理生态学研究。E-mail: sally.xiaoqing@163.com

通信作者: 朱晓鸣(1964—), 副研究员, 硕士生导师; E-mail: xmzhu@ihb.ac.cn

料利用的影响, 以期为菜粕在水产饲料中的应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 养殖条件和实验鱼

异育银鲫来源于中国科学院水生生物研究所关桥渔场。在生长实验开始 4 周之前, 将实验鱼转入水族箱。在适应阶段, 用商品饲料(蛋白质含量 35%)每天饱食投喂两次。在实验开始前一周, 将实验饲料按同等比例混合并饲喂实验鱼。

实验系统为 15 个平底玻璃钢水族箱(直径: 60 cm, 容积: 100 L)组成的室内循环水系统。每个水族箱的中央排水管都连有一个用来排除粪便排泄物沉积管。所有水族箱的水都汇集到一个容积为 4 m³的生物过滤池。系统中的水保持充气, 水体交换速率约为 3 L/min。在实验过程中, 水体溶氧保持在为 5 mg/L 左右, pH 约为 6.8, 氨氮含量低于 0.5 mg/L, 水温在 26.5—29.5 (平均温度为 28.5), 光照周期是 12L: 12D, 光照时间是 08:00 到 20:00。

1.2 实验饲料

实验设计 5 种等氮(蛋白质水平为 38%)等能(能值为 14 kJ/g)的饲料, 以菜粕蛋白分别替代 0(对照)、20%、40%、60%和 80%的饲料蛋白质, 其他部分的蛋白质由鱼粉提供, 添加 1% Cr₂O₃ 作为测定消化率的指示剂, 每种饲料 3 个重复。饲料配方及化学成分如表 1 所示。饲料原料过 40 目后充分混匀, 经饲料机制成直径为 1 mm 的颗粒, 60 烘干后, 置于 -4 冰箱中备用。

在实验开始时, 选取经过 24h 饥饿而体质健壮、规格整齐的个体(平均每尾重 3.5 g), 随机放入 15 个鱼缸, 每缸放养 30 尾, 进行为期 8 周的生长实验。初始取样为随机取 15 尾鱼随机分为 3 组, 每组 5 尾。初始样品在 120 经过高压蒸汽处理后捣碎混匀, 并在 70 烘干, 用于初始体成分分析。

在实验期间, 每天饱食投喂两次(09: 00 和 14: 30)。投喂 1h 后用虹吸法收集残饵, 60 烘干称重。每天两次从排泄物通道(沉降室)收集外形完整的粪便并 60 烘干。在实验结束后, 在没有鱼的缸中分别投放对应的已称重饲料, 1h 后回收饲料, 60 烘干后称重, 计算饲料的溶失率, 用来校正实际摄食量。

1.3 实验取样和样品分析

在实验结束时, 鱼体饥饿 1d 后分别称重。每缸取 5 尾鱼用于生化分析。在实验中测定的生化成分

表 1 饲料组成与饲料的化学成分(%干物质)
Tab. 1 The formulation and chemical composition of the experimental diets (% dry matter)

原料 Ingredients	菜粕蛋白水平 Rapeseed protein level (%)				
	0	20	40	60	80
低脂菜粕 Rapeseed meal (low lipid) ¹	0	17.0	35.0	52.0	70.0
鱼粉 Fishmeal ²	55.1	44.0	33.0	22.0	11.0
豆油 Soybean oil ³	0.9	1.7	2.4	3.1	3.9
小麦淀粉 Wheat starch ⁴	11.1	9.4	7.6	6.0	4.1
纤维素 Cellulose	21.9	16.9	11.0	5.9	0
羧甲基纤维素钠 CMC	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
矿物盐预混物 Mineral premix ⁵	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
维生素预混物 Vitamin premix ⁶	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
三氧化二铬 Cr ₂ O ₃	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
饲料生化成分 Chemical composition (% of dry matter)					
干物质 Dry matter	90.39	91.08	90.00	90.79	90.37
粗蛋白 Crude protein	41.00	40.69	38.69	36.81	36.33
粗脂肪 Crude lipid	4.33	5.49	9.07	10.31	12.2
粗纤维 Crude fibre	22.9	19.8	15.8	12.6	8.6
粗灰分 Crude ash	18.63	17.34	16.87	15.8	15.3
总能 Gross energy (J /mg)	12.9	11.7	14.63	14.97	13.81

注: 1. 菜粕经过脱脂处理, 购自武汉当地市场; 2. 鱼粉为秘鲁进口, 购自高龙饲料公司; 3. 豆油购自武汉当地市场; 4. 小麦淀粉购自武汉当地市场; 5. 矿物盐预混物 (mg/kg 饲料, H440): NaCl, 500; MgSO₄·7H₂O, 7500; NaH₂PO₄·2H₂O, 12500; KH₂PO₄, 16000; Ca (H₂PO₄)·2H₂O, 10000; FeSO₄, 1250; C₆H₁₀CaO₆·5H₂O, 1750; ZnSO₄·7H₂O, 176.5; MnSO₄·4H₂O, 81; CuSO₄·5H₂O, 15.5; CoSO₄·6H₂O, 0.5; KI, 1.5; 淀粉, 225; 2. 维生素预混物 (mg/kg 饲料, NRC, 1993): 硫胺素, 20; 核黄素, 20; 维生素B₆, 20; 维生素B₁₂, 2; 叶酸, 5; 泛酸钙, 50; 肌醇, 100; 烟酸, 100; 生物素, 5; 淀粉, 3226; 维生素A (ROVIMIX A-1000), 110; 维生素D₃, 20; 维生素E, 100; 维生素K₃, 10; 6. 维生素预混物 (mg/kg 饲料, NRC, 1993): 硫胺素, 20; 核黄素, 20; 维生素B₆, 20; 维生素B₁₂, 2; 叶酸, 5; 泛酸钙, 50; 肌醇, 100; 烟酸, 100; 生物素, 5; 淀粉, 3226; 维生素A (ROVIMIX A-1000), 110; 维生素D₃, 20; 维生素E, 100; 维生素K₃, 10

Note: 1. Rapeseed meal was defatted and purchased from the local market; 2. White fish meal was imported from Peru, purchased from Coland Feed Co. Ltd.; 3. Soybean oil was purchased from the local market; 4. Wheat starch was purchased from the local market; 5. Mineral premix (mg/kg diet, H440): NaCl, 500; MgSO₄·7H₂O, 7500; NaH₂PO₄·2H₂O, 12500; KH₂PO₄, 16000; Ca (H₂PO₄)·2H₂O, 10000; FeSO₄, 1250; C₆H₁₀CaO₆·5H₂O, 1750; ZnSO₄·7H₂O, 176.5; MnSO₄·4H₂O, 81; CuSO₄·5H₂O, 15.5; CoSO₄·6H₂O, 0.5; KI, 1.5; starch, 225; 2. Vitamin premix (mg/kg diet, NRC, 1993): thiamin, 20; riboflavin, 20; pyridoxine, 20; cyanocobalamin, 2; folic acid, 5; calcium pantothenate, 50; inositol, 100; niacin, 100; biotin, 5; starch, 3226; vitamin A (ROVIMIX A-1000), 110; vitamin D₃, 20; vitamin E, 100; vitamin K₃, 10; 6. Vitamin premix (mg/kg diet, NRC, 1993): thiamin, 20; riboflavin, 20; pyridoxine, 20; cyanocobalamin, 2; folic acid, 5; calcium pantothenate, 50; inositol, 100; niacin, 100; biotin, 5; starch, 3226; vitamin A (ROVIMIX A-1000), 110; vitamin D₃, 20; vitamin E, 100; vitamin K₃, 10

包括饲料和实验鱼体样品的干物质、粗蛋白、粗脂肪、灰分和总能。以上参数的测定均参照 AOAC (1984)的方法。干物质含量通过在 105℃ 下烘烤至恒重测得。粗蛋白含量用凯氏定氮仪(2300Kjeltec Analyzer Unit, FOSS TECATOR, Sweden)测定, 粗脂肪用索氏抽提法(Soxtoc system HT6, Tecator, Haganas, Sweden)以乙醚为溶剂测定, 纤维含量是将样品用 0.5 mol/L H₂SO₄ 和 0.5 mol/L NaOH 抽提后干燥、灰化来测定, 灰分在马福炉中 550℃ 下充分灼烧测得, 能值用 Phillipson 能量计(Phillipsonmicrobomb calorimeter, Gentry Instruments Inc., Aiken, USA)测定。每个样品测定两个平行样。饲料干物质、粗蛋白和能量的表观消化率的测定是通过检测饲料和粪便中三氧化二铬以及营养物质和能量的含量计算得出^[18]。

1.4 数据处理及统计分析

实验鱼的生长性能参数是计算公式的如下: 摄食率(FR , %BW/d)=100×摄食量/[(初始体重+终末体重)/2]/天数

特定生长率(SGR , %/d)=100×(ln 鱼体末重-ln 鱼体初重)/天数

饲料效率(FE , %)=100×(鱼体末重-鱼体初重)/摄食量

蛋白质储积率(PRE , %)=100×(终末鱼体蛋白质重-初始鱼体蛋白质重)/蛋白质摄入量

能量储积率(ERE , %)=100×(终末鱼体能量-初始鱼体能量)/能量摄入量

干物质表观消化率($ADCd$, %)= 100-100 ×饲料中 Cr₂O₃ 的含量/ 粪便中 Cr₂O₃ 的含量

蛋白质表观消化率($ADCp$, %) = 100-100 ×(饲料中 Cr₂O₃ 含量×粪便蛋白质含量) / (粪便中 Cr₂O₃ 含量×饲料蛋白质含量)

能量表观消化率($ADCe$, %) = 100-100 ×(饲料中 Cr₂O₃ 含量×粪便能量) / (粪便中 Cr₂O₃ 含量×饲料能量)

使用 SPSS 13.0 对实验数据作单因素方差分析(One-way ANOVA), 若差异显著($P < 0.05$), 则进行 Duncan's 多重比较检验组间的差异。

2 结果

2.1 生长性能

如表 2 所示, 实验鱼的摄食率不受饲料中菜粕含量的影响($P > 0.05$), 但是饲料效率却随着菜粕的增加而降低, 即使是最低的菜粕替代组(20%), 异育银鲫的饲料效率也显著低于鱼粉对照组($P < 0.05$)。当饲料中菜粕含量为 40%或更高时, 异育银鲫的特定生长率、蛋白质储积率和能量储积率显著降低($P < 0.05$)。

2.2 表观消化率

如表 3 所示, 与对照组相比, 只有最高替代组(80%替代组)的干物质和粗蛋白质的表观消化率出现显著下降($P < 0.05$)。40%和 80%替代组的能量表观消化率显著低于其他各组($P < 0.05$)。

2.3 鱼体成分

由表 4 可知, 40%替代组的全鱼干物质含量显著高于其他处理组($P < 0.05$), 且其他各组之间没有显著性的差异($P > 0.05$)。当替代水平为 60%或更高时, 鱼体蛋白质含量呈现出明显的下降趋势($P < 0.05$)。全鱼脂肪含量最低组和最高组分别是对照组和 40%替代组, 并与其他组之间存在显著性差异($P < 0.05$), 而其他各组之间则没有显著差异($P > 0.05$)。当替代水平达到 60%或更高时, 全鱼灰分含量明显下降($P < 0.05$)。80%替代组的全鱼能量显著低于 40%替代组($P < 0.05$), 但是其他各组间没有显著性的差异($P > 0.05$)。

表 2 饲料鱼粉、菜粕水平对异育银鲫消化率的影响(平均值±标准误)

Tab. 2 Effect of replacement of fish meal by rapeseed meal on the digestibility of Gibel carp (menas± SE)

菜粕水平(%饲料蛋白质) Rapeseed level (% of dietary protein)	干物质表观消化率 $ADCd^1$	蛋白质表观消化率 $ADCp^2$	能量表观消化率 $ADCe^3$
0	61.21 0.65 ^{ab}	88.15 0.34 ^a	71.26 1.82 ^a
20	63.54 1.62 ^a	88.09 0.62 ^a	73.19 1.15 ^a
40	59.34 2.48 ^{ab}	84.17 0.61 ^a	66.95 0.57 ^b
60	64.94 1.74 ^a	85.37 1.38 ^a	71.30 0.40 ^a
80	57.25 3.05 ^b	79.11 2.91 ^b	58.38 2.54 ^c

注: 表中同行数值后不同上标英文字母表示差异显著($P < 0.05$); 下同

Note: Means with different superscripts were significantly different ($P < 0.05$); the same applies below; 1. $ADCd$ (%): apparent digestibility coefficient of dry matter; 2. $ADCp$ (%): apparent digestibility coefficients of protein; 3. $ADCe$ (%): apparent digestibility coefficients of energy

表 3 饲料鱼粉、菜粕水平对异育银鲫生长和饲料利用的影响(平均值±标准误)

Tab. 3 Effect of replacement of fish meal by rapeseed meal in the diet on the growth and feed utilisation of gibel carp (mean±SE)

菜粕水平(%饲料蛋白质) Rapeseed level (% of dietary protein)	初始体重 <i>IBW</i>		终末体重 <i>FBW</i>		摄食率 <i>FI</i>		特定生长率 <i>SGR</i>		饲料效率 <i>FE</i>		蛋白质储积率 <i>PRE</i>		能量储积率 <i>ERE</i>	
0	3.47	0.08 ^c	12.93	0.31 ^a	3.74	0.08	4.01	0.04 ^a	55.03	1.12 ^a	24.92	1.09 ^a	30.87	1.35 ^a
20	3.80	0.02 ^a	12.13	0.33 ^a	3.68	0.06	3.78	0.08 ^a	50.64	0.45 ^b	24.48	0.99 ^a	33.38	1.94 ^a
40	3.55	0.09 ^{bc}	9.81	0.37 ^b	3.71	0.06	3.27	0.10 ^b	44.98	1.16 ^c	20.97	2.46 ^b	24.42	2.23 ^b
60	3.65	0.12 ^{abc}	8.76	0.58 ^c	3.69	0.11	2.90	0.17 ^c	39.86	2.22 ^d	19.35	0.31 ^b	21.67	0.18 ^b
80	3.72	0.03 ^{ab}	7.41	0.17 ^d	3.61	0.12	2.33	0.09 ^d	32.79	1.23 ^c	9.09	0.74 ^c	22.17	1.02 ^b

注: 初始体重 *IBW* (g): initial body weight; 终末体重 *FBW* (g): final body weight; 摄食率 *FI* (% body weight/d): feed intake; 特定生长率 *SGR* (%/d): specific growth rate in wet weight; 饲料效率 *FE* (%): feed efficiency; 蛋白质储积率 *PRE* (%): protein retention efficiency; 能量储积率 *ERE* (%): energy retention efficiency

表 4 饲料鱼粉、菜粕水平对异育银鲫鱼体组成的影响(平均值±标准误)

Tab. 4 Effect of replacement of fish meal by rapeseed meal on the body composition of gibel carp (mean± SE)

菜粕水平(%饲料蛋白质) Rapeseed level (% of dietary protein)	干物质 Dry matter (%)		总能 Energy (J/mg)		粗脂肪 Fat (%)		粗蛋白 Protein (%)		灰分 Ash (%)	
0	23.78	0.32 ^b	5.22	0.22 ^{ab}	5.84	0.14 ^c	14.32	0.13 ^a	2.94	0.09 ^a
20	24.23	0.83 ^b	5.34	0.24 ^{ab}	6.35	0.16 ^b	14.76	0.31 ^a	2.94	0.08 ^a
40	26.12	0.42 ^a	5.69	0.21 ^a	7.46	0.18 ^a	14.61	0.56 ^a	2.92	0.04 ^a
60	23.19	0.61 ^b	5.20	0.01 ^{ab}	6.33	0.03 ^b	13.31	0.21 ^b	2.64	0.07 ^b
80	23.03	0.50 ^b	5.08	0.14 ^b	6.29	0.08 ^b	13.17	0.41 ^b	2.88	0.05 ^b

3 讨论

实验饲料蛋白质水平的设计值和实测值之间存在一些偏差,引起这些偏差的原因可能是原料鱼粉蛋白质含量的预算误差,但是设计值和实测值间的偏差对实验结果结论没有产生较大的影响。

根据实验的结果,饲料中菜粕基于蛋白质的替代水平低于 20%时(干物质中蛋白质水平为 17%),不会对异育银鲫的生长产生大的负面影响。马利对草鱼(*Ctenoparyngodon idellus*)^[19]、Davies 对罗非鱼(*Oreochromis mossambicus* Peters)^[3]、Jackson 对罗非鱼(*Sarotherodon mossambicus*)^[15]、Webster 对斑点叉尾鲷(*Ictaluru punctatus*)^[20]以及 Yurkowski 对虹鳟(*Salmo gairdneri*)^[9]的研究中发现菜粕的添加水平不能高于 30%(饲料干物质中的含量)。这些研究结果均表明水产饲料中菜粕的添加量不宜过高。

近年来,油菜籽新品种已经被选育出来并广泛种植,该品种油菜籽的籽实中含有低水平的抗甲状腺复合物或芥子油甙,油中含有低水平的芥子酸^[21]。此外,新型加工工艺已经开始用于钝化菜粕中的抗营养因子,从而降低了芥子油甙、植酸等抗营养因

子^[10, 15]和多种难以消化且降低油菜籽优质蛋白质效价的碳水化合物对养殖鱼类的影响,从而改善的鱼类对菜粕的利用。也有一些报道指出,日粮中可以添加比较高水平的菜粕。Dabrowsski 和 Kozłowska 的研究表明在鲤日粮中菜籽粕替代 50%的鱼粉可能不会对鲤产生任何负面影响^[14]。Forster, *et al.*报道虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)摄食含 41.5%油菜籽蛋白浓缩物的日粮表现出和对照组相似的生长效果^[22]。此外, Burel, *et al.*的实验表明比目鱼(*Psetta maxima*)摄食含 30%脱壳菜籽粕日粮可以达到与对照组相似的生长性能^[23]。这些研究中菜粕添加比例的提高,可能是由养殖鱼类的食性和规格、实验菜粕本身特性以及加工工艺的差异导致的。

在一些鱼类中,比如虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[9]、比目鱼(*Psetta maxima*)^[23]和鲑(*Oncorhynchus tshawytscha*)^[24],菜粕会降低饲料的适口性和鱼的摄食量,最近的研究表明日粮中添加菜粕没有影响到异育银鲫的摄食量,这说明异育银鲫在适口性方面可以很好地接受菜粕。Reihold, *et al.*对虹鳟(*oncorhynchus mykiss*)^[25]的研究以及我们对异育银鲫的最新研究^[17]也得出类似的结果。但也有相当多的研究

表明菜粕替代鱼粉后会显著降低摄食率^[26]。

很多研究表明, 在日粮中添加菜籽粕会降低日粮的消化率, 这可能是由于菜籽粕中高含量的纤维和多种抗营养因子^[7, 8]导致的。虹鳟对菜籽浓缩蛋白的蛋白质表观消化率甚至高于低温鳀鱼粉, 干物质和能量表观消化率和鱼粉之间也没有显著性差异^[8]。Burel, *et al.*^[27]研究表明虹鳟对溶剂萃取型和高温处理型两种菜粕的蛋白质表观消化率都接近鱼粉, 大菱鲆对高温处理型菜粕的蛋白质表观消化率和鱼粉接近, 而对溶剂萃取型菜粕的消化率低于鱼粉。在本实验中异育银鲫的干物质和蛋白质表观消化率只在高菜粕替代的饲料组降低。由于使用纤维素作为填充剂, 所以低菜粕水平饲料中粗纤维的含量比较高。这可能是造成异育银鲫的消化率变化对饲料菜粕含量相对不敏感的原因。

在本实验中, 异育银鲫的饲料效率、蛋白质和能量的储积率随着饲料中菜粕替代水平的增加都呈现下降趋势。这种现象和在大部分研究鱼类对菜粕利用能力的报道一致^[3, 9, 11, 20, 28]。这可能是由于菜粕中的氨基酸不平衡并且具有多种抗营养因子或者实验鱼摄食菜粕导致代谢损伤所造成的^[29]。尽管异育银鲫的干物质和蛋白质表观消化率在中等菜粕替代水平的饲料中并没有受到显著地影响, 但一些研究结果表明饲料中较高的纤维含量和抗营养因子可能会降低异育银鲫对饲料中某些氨基酸^[30, 31]和矿物质^[32]的利用。但在本实验中并没有针对这些方面的设想进行具体的验证。

总之, 在本实验中菜粕基于蛋白质的替代水平低于 20% 时(干物质中蛋白质水平为 17%)不会降低异育银鲫的生长性能, 可以推荐在异育银鲫饲料中进行使用。在饲料额外添加必需氨基酸、矿物质和其他微量营养素能否改善异育银鲫对菜粕的利用能力值得进一步的研究。

参考文献:

- [1] Brinker A, Reiter R. Fish meal replacement by plant protein substitution and guar gum addition in trout feed, part i: Effects on feed utilization and fish quality [J]. *Aquaculture*, 2011, **310**(3—4): 350—360
- [2] Gatlin D M, Barrows F T, Brown P. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: A review [J]. *Aquaculture Research*, 2007, **38**(6): 551—579
- [3] Davies S J, McConnell S, Bateson R I. Potential of rapeseed meal as an alternative protein source in complete diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus* peters) [J]. *Aquaculture*, 1990, **87**(2): 145—154
- [4] Huang Y, Hu Y, Xiao T Y, *et al.* Influence of dietary canola meal levels on growth and biochemical indices in juvenile *Mylopharyngodon piceus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, **36**(1): 41—48 [黄云, 胡毅, 肖调义, 等. 双低菜粕替代豆粕对青鱼幼鱼生长及生理生化指标的影响. 水生生物学报, 2012, **36**(1): 41—48]
- [5] Tacon A G J, Jackson A. Utilization of Conventional and Unconventional Protein Sources in Practical Fish Feeds [M]. In: Cowey C B, Mackie AMM, Bell J G (Eds.), *Nutrition and Feeding in Fish*. London: Academic Press. 1985, 119—145
- [6] Higgs D A, McBride J R, Markert J R, *et al.* Evaluation of tower and candle rapeseed (canola) meal and bronowski rapeseed protein concentrate as protein supplements in practical dry diets for juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) [J]. *Aquaculture*, 1982, **29**(2): 1—31
- [7] Hilton J W, Atkinson J L, Slinger S J. Effect of increased dietary fiber on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1983, **40**(1): 81—85
- [8] Hilton J W, Slinger S J. Digestibility and utilization of canola meal in practical-type diets for rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1986, **43**(6): 1149—1155
- [9] Yurkowski M, Bailey J K, Evans R E, *et al.* Acceptability of rapeseed proteins in diets of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 1978, **35**(7): 951—962
- [10] Eales J G. Effect of extrusion processing on the nutritive value of canola meal for chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in seawater [J]. *Aquaculture nutrition*, 1998, **4**(2): 115—122
- [11] Teskeredžić Z, Higgs D A, Dosanjh B S, *et al.* Assessment of undephtinized and dephytinized rapeseed protein concentrate as sources of dietary protein for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1995, **131**(3): 261—277
- [12] Takii K, Kita E, Nakamura M, *et al.* Evaluation of rapeseed protein concentration as protein source of diet for red sea bream [J]. *Fisheriesscience-Tokyo*, 1999, **65**(2): 150—154
- [13] Kissil G W, Lupatsch I, Higgs D A, *et al.* Dietary substitution of soy and rapeseed protein concentrates for fish meal, and their effects on growth and nutrient utilization in gilthead seabream *Sparus aurata* [J]. *Aquaculture Research*, 2000, **31**(7): 595—601
- [14] Dabrowski K, Krasnicki K, Kozłowska H. Rapeseed meal in the diet for common carp reared in heated waters [J]. *Zeitschrift für Tierphysiologie Tierernährung und Futtermittelkunde*, 1981, **46**(1—5): 273—282
- [15] Jackson A J, Capper B S, Matty A J. Evaluation of some

- plant proteins in complete diets for the tilapia *sarotherodon mossambicus* [J]. *Aquaculture*, 1982, **27**(2): 97—109
- [16] Xue M, Cui Y. Effect of several feeding stimulants on diet preference by juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*), fed diets with or without partial replacement of fish meal by meat and bone meal [J]. *Aquaculture*, 2001, **198**(3): 281—292
- [17] Xie S, Zhu X, Cui Y, *et al.* Utilization of several plant proteins by gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2001, **17**(2): 70—76
- [18] Xie S, Cui Y, Yang Y, *et al.* Energy budget of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in relation to ration size [J]. *Aquaculture*, 1997, **154**(1): 57—68
- [19] Ma L, Huang F, Wu J K, *et al.* Effects of different rapeseed meal levels on growth, serum biochemical indices and toxins residues in *Ctenoparyngodon idellus* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2005, **29**(6): 798—803 [马利, 黄峰, 吴建开, 等. 不同菜粕水平对草鱼生长、血清生化指标和毒素残留的影响. 水产学报, 2005, **29**(6): 798—803]
- [20] Webster C D, Tiu L G, Tidwell J H, *et al.* Growth and body composition of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed diets containing various percentages of canola meal [J]. *Aquaculture*, 1997, **150**(1): 103—112
- [21] Higgs D A, Fagerlund U H, McBride J R, *et al.* Protein quality of altex canola meal for juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) considering dietary protein and 3, 5, 3'-triiodo-L-thyronine content [J]. *Aquaculture*, 1983, **34**(3): 213—238
- [22] Forster I, Higgs D A, Dosanjh B S, *et al.* Potential for dietary phytase to improve the nutritive value of canola protein concentrate and decrease phosphorus output in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) held in 11 fresh water [J]. *Aquaculture*, 1999, **179**(1): 109—125
- [23] Burel C, Boujard T, Kaushik S J, *et al.* Potential of plant-protein sources as fish meal substitutes in diets for turbot (*Psetta maxima*): Growth, nutrient utilisation and thyroid status [J]. *Aquaculture*, 2000, **188**(3): 363—382
- [24] Higgs D A, McBride J R, Markert J R, *et al.* Evaluation of tower and candle rapeseed (canola) meal and bronowski rapeseed protein concentrate as protein supplements in practical dry diets for juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) [J]. *Aquaculture*, 1982, **29**(1): 1—31
- [25] Gomes E F, Corraze G, Kaushik S. Effects of dietary incorporation of a co-extruded plant protein (rapeseed and peas) on growth, nutrient utilization and muscle fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1993, **113**(4): 339—353
- [26] McNeill L, Bernard K, MacLeod M G. Food intake, growth rate, food conversion and food choice in broilers fed on diets high in rapeseed meal and pea meal, with observations on sensory evaluation of the resulting poultry meat [J]. *British Poultry Science*, 2004, **45**(4): 519—523
- [27] 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): 285—298
- [28] Slawski H, Nagel F, Wysujack K, *et al.* Total fish meal replacement with canola protein isolate in diets fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2013, **18**(6): 10—18
- [29] Tripathi M K, Mishra A S. Glucosinolates in animal nutrition: a review [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2007, **132**(2): 1—27
- [30] Leslie A J, Summers J D. Amino acid balance of rapeseed meal [J]. *Poultry Science*, 1975, **54**(2): 532—538
- [31] Enami H R. A review of using canola/rapeseed meal in aquaculture feeding [J]. *Fisheries and Aquatic Science*, 2011, **6**(1): 22—36
- [32] Oberleas D, Harland B F. Nutritional agents which affect metabolic zinc status [J]. *Progress in Clinical and Biological Research*, 1977, **14**(3): 11

EFFECTS OF DIETARY RATIO OF FISH MEAL AND RAPESEED MEAL ON THE GROWTH AND FEED UTILIZATION IN GIBEL CARP (*CARASSIUS AURATUS GIBELIO*)

LIU Xiao-Qing^{1,2}, ZHU Xiao-Ming², HAN Dong², JIN Jun-Yan², YANG Yun-Xia² and XIE Shou-Qi²

(1. College of Natural Resource and Environment Engineering, Anhui University, Hefei 230601, China; 2. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology; Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

Abstract: Effects of replacement of fish meal with rapeseed meal on the growth and feed utilisation were investigated in juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). Three groups of fish were fed with each of five groups of diets supplemented with different concentrations of rapeseed: 0, 20%, 40%, 60% and 80% of total dietary protein. The experiment was carried out in a recirculation system at 26.5—29.5 °C (mean 28.5 °C) for 8 weeks. The results showed that the growth rate of the fish decreased significantly when the rapeseed protein accounted for 40%, or higher, of the total dietary proteins. The feed intake was not affected by the concentration of rapeseed. The digestion rate of the dry matter and protein was significantly lower only when the concentration of rapeseed protein was 80% of the total dietary proteins. The digestion rate of energy was the lowest when rapeseed protein accounted for 40% of the total. Feed conversion efficiency decreased significantly when the dietary rapeseed protein concentration was 20% or higher. The protein and energy retention efficiency decreased when dietary rapeseed protein concentration was 40% or higher. The body energy and fat content reached the highest values when the fish was fed with the diet containing 40% rapeseed protein. The body protein level was lowest at the rapeseed protein concentrations of 60% and 80%, while the fat content was highest at 20%. Based on the data we suggest that the optimal concentration of rapeseed protein should be 20% in the diet for gibel carp.

Key words: Rapeseed meal; Fish meal; Growth; Feed utilization; Gibel carp