

董志航,过世东. 香鱼幼鱼对饲料蛋白质的最适需要量[J]. 江苏农业科学,2014,42(12):272-275.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.12.093

# 香鱼幼鱼对饲料蛋白质的最适需要量

董志航,过世东

(江南大学食品学院,江苏无锡 214122)

**摘要:**以鱼粉和豆粕为蛋白质源配制蛋白质含量分别为 43.26%、46.34%、49.12%、51.94%、54.65% 的等能饲料,在水温 23~25℃ 条件下对初始体质量为(1.16±0.01)g 的香鱼幼鱼进行 7 周的饲养试验以确定香鱼幼鱼最适蛋白质需要量。结果显示,蛋白质水平为 49.12% 试验组的鱼体质量增加率和特定生长率指标显著高于其他蛋白质含量组( $P<0.05$ );饲料系数显著低于 54.65% 蛋白质试验组( $P<0.05$ ),蛋白质效率随蛋白质水平升高而下降,49.12% 试验组的干物质消化率显著高于其他组( $P<0.05$ ),蛋白质消化率显著高于 43.26% 和 51.94% 蛋白质试验组( $P<0.05$ ),但与其他组无显著差异( $P>0.05$ )。蛋白质水平对香鱼幼鱼肌肉脂肪含量有显著影响( $P<0.05$ )。对特定生长率和饲料系数的折线分析求得香鱼幼鱼对饲料蛋白质的最适需要量分别是 49.04% 和 48.94%。

**关键词:**香鱼;蛋白质需要量;特定生长率;饲料系数

**中图分类号:**S963.16 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)12-0272-03

香鱼(*Plecoglossus altivelis*)属鲑形目香鱼科香鱼属,为一年生小型名贵鱼类,其肉质细嫩,味道鲜美,并有滋补的药用价值,被誉为“淡水鱼之王”。对香鱼的研究开始于 20 世纪 70 年代,大部分研究都集中于人工养殖技术、基因克隆表达等方面<sup>[1-4]</sup>,而在香鱼的营养需要及配合饲料方面鲜有报道。目前国内养殖香鱼用的配合饲料大都是按鳙鱼营养需要而配制。随着香鱼养殖的不断发展,亟需适合香鱼生长的专用配合饲料。蛋白质是决定鱼类生长的关键物质,也是饲料中成本最高的组分,因此本试验采用单因素梯度法研究香鱼幼鱼的最适蛋白质需要量,为开发香鱼专用配合饲料提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 香鱼

试验用香鱼取自浙江天台龙溪淡水养殖场,平均体质量(1.16±0.01)g,经过 2 周驯养的 500 尾香鱼随机分为 25 组,分别放养于 25 个水族箱中。

### 1.2 饲料

试验饲料以鱼粉和豆粕为蛋白源,制成蛋白水平为 43.26%、46.34%、49.12%、51.94%、54.65%、总能基本相等[(18.85±0.50)kJ/g]的 5 种半精制饲料。饲料原料粉碎过 80 目筛,采用逐级扩大法添加微量元素,按比例混匀后挤压膨化为直径 1.00 mm 的颗粒饲料,65℃ 烘干,-20℃ 冰箱中冷藏备用。饲料配方和营养水平见表 1。

### 1.3 饲养管理

养殖周期为 50 d,每天投饵 3 次,分别在 08:00、13:00 和

18:00 进行,手动投喂,投喂到大部分鱼不再积极采食为止,日投喂量约为鱼体质量的 2%~3%,饲养过程中每天记录鱼的采食量和鱼健康状况等。所有水族箱在半开放式循环养殖系统中以充分曝气的自来水为水源,水流量为 1.5 L/min。增氧系统全天开启,水中溶氧量均在 5.0 mg/L 以上、氨态氮均低于 0.2 mg/L。试验期间控制水温(24±1)℃。由于香鱼对水质要求很高,因此每天早晚采用虹吸对水族箱进行清污,而后将经预先曝气的水注入水族箱至原水位,以此来保证水质的清新。养殖的前 2 周每天光照时间 16 h,以后全天人工光照,以延缓其性成熟。

### 1.4 消化试验

养殖试验 10 d 后进行粪便的收集,投喂 1 h 后,用虹吸法收集成型饱满的粪便,然后用淡水缓慢冲洗 3 次,置于培养皿中 65℃ 烘干后低温保存,连续收集至足够的样品进行分析。采用 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 作为外源指示剂来测定饲料中干物质和蛋白质的表观消化率。Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量的测定参考 Bolin 等的方法<sup>[5]</sup>。饲料中某营养物质的消化率( $D_A$ )按: $D_A = [1 - (a/A \times B/b)] \times 100\%$ 。式中: $A$  为饲料中某营养成分的含量(%); $a$  为鱼粪中相应营养成分的含量(%); $B$  为饲料中 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量(%); $b$  是鱼粪中 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量(%)。

### 1.5 香鱼幼鱼饲料中蛋白质最适水平的确定

参照折线模型确定两回归直线的交点,求得饲料中最适蛋白质含量<sup>[6]</sup>。

### 1.6 测定指标及计算方法

养殖试验结束后,对水族箱里的鱼进行计数和称质量。成活率、增重率、特定生长率、饲料效率和蛋白质效率计算方法如下:

成活率 = (收获尾数/放养尾数) × 100%;

质量增加率( $WG$ ) = [(末质量 - 初质量)/初质量] × 100%;

特定生长率( $SGR$ ) = [(ln 末质量 - ln 初质量)/48] × 100%;

饲料系数( $FCR$ ) = 饲料摄入量/(末质量 - 初质量);

蛋白质效率( $PER$ ) = (末质量 - 初质量)/蛋白摄入量。

收稿日期:2014-02-28

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金项目(编号:JUSRP21010)。

作者简介:董志航(1989—),男,河南许昌人,硕士研究生,从事动物营养与饲料研究。E-mail:549498559@qq.com。

通信作者:过世东,教授,博士生导师。E-mail:guosd@jiangnan.edu.cn。

表 1 试验饲料原料组成和成分分析(以干基为标准)

饲料 编号	原料(%)										营养成分(%)							总能 (kJ/g)
	鱼粉	豆粕	螺旋藻	面粉	鱼油	豆油	大豆 卵磷脂	多矿	多维	食盐	三氧化 二铬	氯化 胆碱	粗 蛋白	粗 脂肪	水分	灰分	碳水 化合物	
饲料 1	60.62	24.25	1.0	9.58	1	0.4	1	1	0.2	0.3	0.5	0.15	54.65	6.91	6.62	13.75	18.07	18.81
饲料 2	55.99	22.40	1.0	15.46	1	1.0	1	1	0.2	0.3	0.5	0.15	51.94	7.05	6.46	12.59	21.96	18.90
饲料 3	51.36	20.55	1.0	21.34	1	1.6	1	1	0.2	0.3	0.5	0.15	49.12	7.15	6.08	11.83	25.82	18.95
饲料 4	46.73	18.69	1.0	27.33	1	2.1	1	1	0.2	0.3	0.5	0.15	46.34	7.28	6.03	10.85	29.52	18.99
饲料 5	42.1	16.84	1.0	33.21	1	2.7	1	1	0.2	0.3	0.5	0.15	43.26	7.46	6.51	9.89	32.72	18.85

注:(1)矿物质预混料为 1 kg 饲料提供 NaCl 257 mg, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 3 855 mg, NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O 6 425 mg, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 8 224 mg, FeC<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>·5H<sub>2</sub>O 642.5 mg, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 90.7 mg, MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O 41.6 mg, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 7.97 mg, CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 0.26 mg, KIO<sub>3</sub> 0.77 mg;(2)维生素预混料(每 1 kg 饲料):维生素 A(维生素 A 醋酸酯:维生素 A 棕榈酸酯=1:1) 5 500 IU,维生素 D<sub>3</sub> 1 000 IU,DL-α-维生素 E 醋酸酯 50 IU,维生素 K<sub>3</sub> 10 IU,烟酸 100 mg,核黄素 20 mg,吡哆醇 20 mg,硫胺素 20 mg,D-泛酸钙 50 mg,生物素 0.1 mg,叶酸 5 mg,维生素 B<sub>12</sub> 20 mg,维生素 C 100 mg,肌醇 100 mg;(3)总能由蛋白质、脂肪、碳水化合物的平均产热量分别为 23.6、39.5、17.2 kJ/g 计算而来,碳水化合物=100%-水分-粗蛋白-粗脂肪-灰分。

采用直接干燥法测定水分(GB/T 5009.3—2003《食品中水分的测定》),凯氏定氮法测定粗蛋白含量(GB/T 5009.5—2003《食品中蛋白质的测定》),索氏抽提法测定粗脂肪含量(GB/T 5009.6—2003《食品中脂肪的测定》),灼烧法测定粗灰分含量(GB/T 5009.4—2003《食品中灰分的测定》)。

1.7 数据分析及处理

试验结果以平均值±标准差表示,数据分析和处理采用

SPSS 16.0 软件进行 ANOVA 单因子方差分析和 Duncan's 多重检验。

2 结果与分析

2.1 不同蛋白水平饲料对香鱼幼鱼生长和饲料利用的影响  
由表 2 可见,各试验组香鱼幼鱼的成活率在 86% 至 92% 之间,各处理组间无显著差异( $P>0.05$ )。

表 2 不同蛋白水平饲料对香鱼幼鱼生长性能和饲料利用的影响

饲料	成活率(%)	质量增加率(%)	特定生长率(%)	饲料系数	蛋白质效率
1	86.67±2.88	489.33±5.5c	3.69±0.02c	1.51±0.02a	1.21±0.01e
2	91.67±5.77	488.00±13.5c	3.74±0.06bc	1.49±0.03ab	1.29±0.03d
3	88.33±7.64	556.33±16.07a	3.98±0.05a	1.42±0.05b	1.44±0.04c
4	86.67±2.88	525.00±24.56b	3.82±0.08b	1.43±0.06b	1.51±0.06b
5	86.67±7.64	519.00±4.58b	3.79±0.01b	1.45±0.02ab	1.60±0.02a

注:同列数据后不同小写字母表示差异达显著水平( $P<0.05$ )。

香鱼幼鱼采食饲料 4(蛋白含量 46.34%)与饲料 5(蛋白含量 43.26%)后鱼体质量增加率无显著差异( $P>0.05$ ),而投喂饲料 3(蛋白含量 49.12%)香鱼幼鱼体质量增加率显著高于投喂饲料 4 和饲料 5 的( $P<0.05$ )。但是采食蛋白含量更高的饲料 2(蛋白含量 51.94%)和饲料 1(蛋白含量 54.65%)的幼鱼,不仅体质量增加率显著低于食用饲料 3 的,还显著低于食用饲料 4 和饲料 5 的( $P<0.05$ )。与其相对应,饲料 3 幼鱼的特定生长率显著高于其他饲料( $P<0.05$ ),饲料 1 的特定生长率显著低于饲料 3、饲料 4 和饲料 5 组( $P<0.05$ )。

表 2 还反映出,在本试验范围内,随饲料蛋白质含量的升高,蛋白质效率显著下降,而饲料系数除饲料 1 外,其他 4 个饲料组间无显著差异( $P>0.05$ )。

2.2 饲料蛋白水平对香鱼幼鱼肌肉组成的影响

由表 3 可以看出,不同饲料蛋白水平对肌肉水分、肌肉粗蛋白含量影响不显著( $P>0.05$ );肌肉中粗脂肪含量随着饲料粗蛋白水平的增加而不断下降且差异显著( $P<0.05$ )。肌肉中灰分含量随着饲料蛋白水平的增加而不断升高,在饲料蛋白水平最高时达到了最大,但不同组之间差异不显著( $P>0.05$ )。

2.3 饲料蛋白质水平对香鱼幼鱼表观消化率的影响

由表 4 可知,饲料 3 香鱼幼鱼干物质表观消化率最高,且与饲料 1、饲料 2、饲料 4 的香鱼干物质表观消化率有显著差异( $P<0.05$ )。饲料 2 香鱼的蛋白质表观消化率显著低于饲料 1、饲料 3、饲料 4( $P<0.05$ )。

表 3 不同蛋白水平的饲料对香鱼幼鱼肌肉组成的影响

饲料	水分(%)	脂肪(%)	粗蛋白(%)	灰分(%)
1	76.54±1.67a	1.41±0.04bc	18.30±0.33	1.39±0.08a
2	76.49±0.31a	1.39±0.04bc	18.52±0.48	1.34±0.02a
3	75.84±1.45a	1.49±0.04c	18.80±0.07	1.32±0.11a
4	77.02±0.08a	1.63±0.06b	18.83±0.18	1.33±0.01a
5	76.27±1.11a	1.91±0.11a	18.83±0.11	1.28±0.02a

注:同列数据后不同小写字母表示差异达显著水平( $P<0.05$ )。

表 4 试验日粮中营养物质的消化率 (%)

项目	饲料 1	饲料 2	饲料 3	饲料 4	饲料 5
干物质消化率	77.78 ± 0.14b	77.37 ± 0.58b	81.74 ± 0.66a	78.90 ± 0.25b	81.58 ± 0.95a
蛋白质消化率	91.20 ± 0.05ab	90.18 ± 0.18c	91.99 ± 0.29a	91.33 ± 0.64ab	90.93 ± 0.47bc

注:同行数据后不同字母表示差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )。

2.4 香鱼幼鱼饲料中蛋白质最适水平

试验鱼特定生长率和饲料系数与饲料蛋白水平之间的关系见图 1 和图 2。从特定生长率折线法分析(图 1)可知,两直线相交点值为 49.04%;从饲料系数折线法分析(图 2)可知,两直线相交点值为 48.94%。由此推测介于两值之间的 49% 为对香鱼幼鱼生长及饲料效率均较有利的饲料蛋白含量水平。

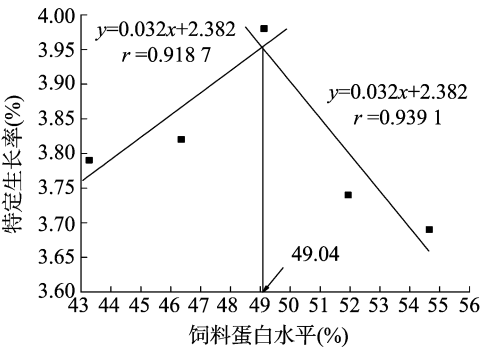


图1 特定生长率与饲料蛋白水平的关系

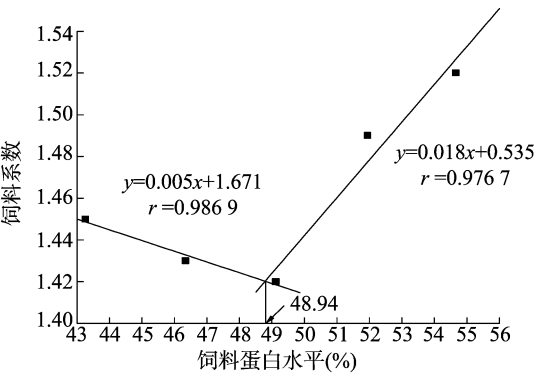


图2 饲料系数与饲料蛋白水平的关系

3 讨论

3.1 饲料不同蛋白水平对香鱼幼鱼生长和饲料利用的影响

本试验采用单因子蛋白水平梯度法<sup>[7]</sup>研究香鱼幼鱼的蛋白质需要量。方差分析和特定生长率折线分析法显示香鱼幼鱼对蛋白质的需要量分别为 49.12% 和 49.04%。

在研究鱼类对某一营养素的需要量时,一般有两类常用指标:一类是生长指标如质量增加率和特定生长率等,另一类是饲料指标如饲料系数和蛋白质效率等。若只采用其中一种指标来评估并不全面。许多研究者建议在采用生长指标的同时,结合反映鱼体对饲料及营养物质利用率指标(如饲料效率和蛋白质效率等),以便对试验结果进行综合评价<sup>[8]</sup>。本试验同时采用了特定生长率和饲料系数两种指标,与饲料蛋白水平进行折线分析,求得香鱼幼鱼对蛋白质的需要量分别

是 49.04% 和 48.94%。与其他鲑形目鱼类对蛋白质的需要量相比,香鱼幼鱼对蛋白质的需要量高于中华鲟幼鱼(39.68% ~ 44.64%)和俄罗斯鲟幼鱼(41.46%),与鳟鱼稚鱼大致相当(46.0% ~ 49.2%)<sup>[9-10]</sup>。

在本试验中,特定生长率随饲料蛋白水平升高而增大,但当饲料蛋白水平超过 49.12% 时,特定生长率却显著下降,可能的原因是:(1)由于摄入过多的蛋白质,给代谢系统造成了过大的负担,并产生了毒副作用,而使生长性能受到影响<sup>[11]</sup>;(2)饲料中过高的蛋白含量使氮的新陈代谢加速,增加了氮的排泄,造成了蛋白质的流失与浪费;(3)香鱼是洄游型鱼类,时时在游动,需要能量较大,当饲料中蛋白质含量过高时造成非蛋白能的不足,使部分机体蛋白质分解,造成生长的下降。饲料蛋白含量超过香鱼最适需要量以后,饲料系数上升增长率下降<sup>[12]</sup>。

3.2 饲料不同蛋白水平对香鱼幼鱼肌肉组成的影响

饲料中不同蛋白质含量对鱼体组成的影响已在宝石鲈、草鱼、牙鲆、褐鳟、鲟鱼等鱼类中有过报道。在本试验中,当饲料蛋白质水平变化时,鱼体肌肉中蛋白质含量变化不大。此结果与安瑞永等<sup>[13]</sup>、Arzel 等<sup>[14]</sup>的结果相一致。本试验结果还表明,肌肉中水分和灰分含量并不受饲料蛋白水平的影响。

肌肉脂肪含量随饲料蛋白水平的升高而呈现出下降的趋势,此结果邵庆均等<sup>[15]</sup>的研究结果相一致。孙丽等<sup>[16]</sup>的研究结果表明低蛋白饲料组因蛋能比过低,高能饲料的摄入会提高鱼类肝脏脂肪合成酶的活性,使未用于能源的糖在肝细胞转变为脂肪,并通过血液循环,转运到肝外贮存,从而促进了脂肪的沉积。

3.3 饲料不同蛋白质水平对香鱼表观消化率的影响

消化率是评价饲料品质的重要指标。鱼类对饲料蛋白质的消化率同饲料蛋白水平的关系比较复杂,并不是呈现出线性关系。de Silva 等<sup>[17]</sup>认为,随饲料蛋白质含量的增加,鱼类对蛋白质的消化率呈一个先上升后下降的曲线。本试验中,饲料蛋白质水平对香鱼幼鱼蛋白质消化率的影响规律与此相似。动物对蛋白质的消化主要由蛋白酶来完成,是一个酶促反应,受底物浓度即饲料中蛋白质含量的影响很大,当饲料中蛋白质含量低时,蛋白酶活力低,对饲料蛋白质的消化利用也较低,随着蛋白质含量的升高,蛋白酶活力逐渐增强,到最适蛋白质需要量时蛋白酶活力达到最大,动物对饲料蛋白质的消化能力也到达最大,蛋白质含量继续升高,过量的蛋白质反而抑制了蛋白酶活力,导致蛋白质消化率下降。

参考文献:

[1] 陈登遵. 香鱼集约化养殖技术[J]. 科学养鱼, 2013 (10): 34 - 35.  
[2] 钱丽琴. 香鱼反季节人工繁殖技术要点[J]. 中国水产, 2011 (6): 22.

乔丽红, 洪 琴, 温 超, 等. 三丁酸甘油酯对建鲤生长、体组成、肠道免疫功能的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(12): 275–278.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.12.094

# 三丁酸甘油酯对建鲤生长、体组成、肠道免疫功能的影响

乔丽红, 洪 琴, 温 超, 刘文斌, 周岩民

(南京农业大学动物科技学院, 江苏南京 210095)

**摘要:**考察三丁酸甘油酯对建鲤生长、体组成、肠道免疫功能的影响。结果表明:与对照相比,添加 1 g/kg 三丁酸甘油酯可显著提高建鲤增重率、特定生长率、肠道超氧化物歧化酶活性( $P < 0.05$ );添加不同水平三丁酸甘油酯有提高肠道一氧化氮合酶活性,降低丙二醛、一氧化氮含量的趋势,但均未达到显著水平( $P > 0.05$ );三丁酸甘油酯对建鲤形体指标和体组成无影响( $P > 0.05$ );饲料中添加三丁酸甘油酯能较好地促进建鲤生长,提高肠道抗氧化和免疫功能;在本试验条件下,在建鲤饲料中添加 1 g/kg 三丁酸甘油酯效果较好。

**关键词:**三丁酸甘油酯;建鲤;生长;体组成;肠道免疫功能

**中图分类号:**S963.73 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)12-0275-04

丁酸是肠道中存在的一种短链脂肪酸,在调节胃肠机能、肠道 pH 值、胃肠道微生态平衡以及诱食方面发挥重要作用<sup>[1]</sup>。然而丁酸极易挥发,在体内吸收代谢迅速,半衰期很短,目前生产实践中大多是以丁酸钠的形式添加,但丁酸钠易吸潮结块且有特殊臭味,不利于其广泛应用。三丁酸甘油酯(tributyrin, TB)作为丁酸的前体物,几乎没有气味或略有脂肪香气,使用方便,可在不改变丁酸生物学特性的前提下,提高其在体内血浆中的浓度并延长作用时间<sup>[2]</sup>。研究表明,在饲料中添加适量三丁酸甘油酯,能促进动物肠道发育,提高机体免

疫力,从而提高生产性能<sup>[3]</sup>。但目前有关三丁酸甘油酯作用效果的研究主要集中在畜禽方面,对水产动物的影响鲜见报道。本研究通过在建鲤基础日粮中添加不同水平的三丁酸甘油酯,研究其对建鲤生长和肠道免疫功能的影响,筛选出合理添加量,旨在为三丁酸甘油酯在水产养殖中的应用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试建鲤由中国水产科学研究院淡水渔业研究中心宜兴试验基地提供,三丁酸甘油酯由南京苏科农业开发有限公司提供。

### 1.2 试验设计与饲粮

选取 20 g 左右、体质健壮、规格整齐的建鲤 600 尾,随机分为 4 组,每组 5 次重复,每次重复 30 尾。分别对各处理建鲤投喂在基础日粮中添加 0、250、500、1 000 mg/kg 三丁酸甘油酯的配合饲料。试验用基础日粮配方及营养成分见表 1。

的需求[J]. 饲料工业, 2003, 24(1): 47–49.

[11] 廖畅宇. 锦鲤幼鱼适宜蛋白需要量的研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2012.

[12] Aksnes A, Hjertnes T, Opstvedt J. Effect of dietary protein level on growth and carcass composition in Atlantic halibut[J]. Aquaculture, 1996, 145(1): 225–233.

[13] 安瑞永, 李同庆, 邢浩春, 等. 饲料蛋白水平对史氏鲟幼鱼鱼体生化组成的影响[J]. 动物学报, 2005, 51(增刊): 151–156.

[14] Arzel J, Métailler R, Kerleguer C, et al. The protein requirement of brown trout (*Salmo trutta*) fry[J]. Aquaculture, 1995, 130(1): 67–78.

[15] 邵庆均, 苏小凤, 许梓荣, 等. 饲料蛋白水平对宝石鲈生长和体组成影响研究[J]. 水生生物学报, 2004, 28(4): 367–373.

[16] 孙 丽, 郭贵良, 闫先春, 等. 东北六须鲶对蛋白质的最适需求量[J]. 饲料工业, 2009, 30(12): 33–35.

[17] de Silva S S, Perera M K. Digestibility in *Sarotherodon niloticus* fry: Effect of dietary protein level and salinity with further observations on variability in daily digestibility[J]. Aquaculture, 1984, 38(4): 293–306.

收稿日期: 2014-02-20

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(编号: CARS-46-20)。

作者简介: 乔丽红(1989—), 女, 山东潍坊人, 硕士研究生, 研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: qiaolihongyeahnet@yeah.net。

通信作者: 周岩民, 博士, 教授, 研究方向为动物营养与饲料科学。

E-mail: zhouym6308@163.com。

[3] 孔铎将, 黄左安, 陈 炯, 等. 香鱼补体成分 C9 基因的克隆、序列分析及表达[J]. 动物学研究, 2012, 33(2): 151–157.

[4] 杨旦阳, 陈 炯, 陆新江, 等. 香鱼 *CCL4-like* 基因的克隆、序列分析及免疫相关性表达变化分析[J]. 中国细胞生物学报, 2013, 35(5): 676–683.

[5] Bolin D W, King R P, Klosterman E W. A simplified method for the determination of chromic oxide ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) when used as an index substance[J]. Science, 1952, 116(3023): 634–635.

[6] Robbins K R, Norton H W, Baker D H. Estimation of nutrient requirements from growth data[J]. The Journal of Nutrition, 1979, 109(10): 1710.

[7] 李爱杰. 水产动物营养与饲料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 12–17.

[8] 张文兵, 谢小军, 付世建, 等. 南方鲇的营养学研究: 饲料的最适蛋白质含量[J]. 水生生物学报, 2000(6): 602–609.

[9] 刘晓勇, 张 颖, 齐 茜, 等. 鲟鱼营养与饲料的研究进展和发展趋势[J]. 饲料工业, 2011, 32(20): 25–28.

[10] 张亚娟, 孙翠慈, 王维娜, 等. 鲢鳙鱼对饲料中蛋白质和氨基酸