

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2010.01012

异育银鲫幼鱼对饲料苯丙氨酸需求的研究

马志英^{1,2} 朱晓鸣¹ 解绶启¹ 杨云霞¹ 韩冬¹

(1. 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;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 通过 55d 的生长实验确定异育银鲫幼鱼对饲料苯丙氨酸的适宜需求。实验结果表明, 饲料苯丙氨酸含量为 1.09%时, 异育银鲫幼鱼的增重率、特定生长率和饲料效率均到达最大值, 分别为 194.50%、1.96%/d、37.74%, 而摄食率为最小值 4.76%/d。饲料添加适宜水平的苯丙氨酸也显著提高其蛋白质效率、蛋白质沉积率和能量沉积率, 均以 1.09%处理组显著高于其他各处理组($P < 0.05$)。随着苯丙氨酸含量的增加, 鱼体灰分含量逐渐降低; 血糖和血清甘油三酯呈先上升后下降的趋势; 血清胆固醇和肝脂肪呈相反趋势。但各组间的肥满度、肝体比、鱼体水分、蛋白、脂肪、能量以及血清白蛋白和肝脏转氨酶差异不显著($P > 0.05$)。根据异育银鲫幼鱼特定生长率与饲料苯丙氨酸水平的剂量效应关系, 通过非线性回归可以得出饲料酪氨酸为 1.04%时异育银鲫幼鱼的苯丙氨酸最适需求量占饲料 1.09%, 占饲料蛋白的 3.02%。

关键词: 异育银鲫; 苯丙氨酸; 需求

中图分类号: S963.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2010)05-1012-10

随着水产养殖越来越趋于集约化、规模化, 营养平衡的饲料配方成为水产业关注的焦点。蛋白质是饲料必不可缺的部分, 是维持鱼类生命和生长所必需的营养物质, 由二十多种氨基酸构成, 鱼类对蛋白质的需求实际上就是对氨基酸的需求。目前已证明, 鱼类的必需氨基酸有 10 种, 包括精氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸、缬氨酸^[1]。当饲料中必需氨基酸的种类齐全、比例恰当时, 即氨基酸平衡达到理想蛋白时, 将促进鱼类生长, 提高饲料效率, 减少环境污染等。目前所有 10 种必需氨基酸均已查明的鱼类包括斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)、日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)、大鳞大马哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*)、鲤(*Cyprinus carpio*)、尼罗罗非鱼(*Oreochromis nilotica*)、狗大马哈鱼(*Oncorhynchus keta*)、银大马哈鱼(*Oncorhynchus kisutch*)、遮目鱼

(*Chanos chanos*)、印度鲤(*Catla catla*)、高首鲟(*Acipenser transmontanus*)和条纹鲈(*Morone saxatilis*)^[1-9]。

由于机体内的代谢特点为: 苯丙氨酸可以转化为酪氨酸, 而酪氨酸不能够转化为苯丙氨酸, 因此饲料中酪氨酸含量必须足够时, 才可使苯丙氨酸用于转化为酪氨酸的量减少甚至不需要转化, 从而节约苯丙氨酸的用量。研究表明, 饲料中酪氨酸部分替代苯丙氨酸对鱼类的生长没有影响, 如鲤饲料的替代水平为 60%时对生长没有影响^[2], 斑点叉尾鲷 50%^[10], 虹鳟 48%^[11], 遮目鱼 46%^[6]。因此研究苯丙氨酸的需求量时需要在一定的酪氨酸水平下, 并且通过饲料中苯丙氨酸和酪氨酸的总量比较不同种类鱼的需求。目前已研究了鲤(*Cyprinus carpio*)^[2]、尼罗罗非鱼(*Oreochromis nilotica*)^[3]、银大马哈鱼(*Oncorhynchus kisutch*)^[5]、印度鲤(*Cirrhinus mrigala*, *Catla catla*)^[7]、高首鲟(*Acipenser transmontanus*)^[8]、

收稿日期: 2009-03-12; 修订日期: 2010-01-15

基金项目: 农业部“大宗淡水鱼类产业体系”; 国家基金“淡水养殖鱼类肉品质研究的营养学基础, 30700626”; 国家科技支撑项目“高效环保渔用饲料配制技术开发与产业化示范, 2006BAD03B03”资助

作者简介: 马志英(1982—), 女, 河南安阳人; 硕士; 主要从事水生动物营养与饲料研究。E-mail: mzhy668@163.com. 感谢晁光汉在实验系统维护的指导及帮助

通讯作者: 朱晓鸣, E-mail: xmzhu@ihb.ac.cn; Tel/Fax: 027-68780060

印度鲤(*Labeo rohita*)、银鲈(*Bidayanus bidayanus*)、大西洋鲑(*Salmo salar* L.)、遮目鱼(*Chanos chanos*)、日本牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)、真鲷(*Pagrus major*)、斑节对虾(*Penaeus monodon*)、欧洲黑鲈(*Dicentrarchus labrax*)、金头鲷(*Sparus aurata*)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[12-19]等的苯丙氨酸需求。

异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)是中国科学院水生生物研究所 20 世纪 80 年代利用雌核发育生物技术,以兴国红鲤(*Cyprinus carpio* var. *singuanensis*)的精子刺激方正银鲫(*Carassius auratus gibelio* Bloch)的卵细胞培育的鲫鱼新品系。由于它保留了鲫鱼肉质鲜美、细嫩的特点,具有食性广、生长快、病害少、养殖周期短、繁殖简便、子代不分离等特点,目前已经成为我国鲫鱼养殖中的主要品系,且逐渐有取代鲤而成为我国第四大淡水养殖鱼类的趋势。二十多年来,已有大量有关异育银鲫的研究报道,对异育银鲫的蛋白质、脂肪、碳水化合物、某些无机盐和维生素等需求量也有了比较具体的数据^[20],但有关异育银鲫的氨基酸需求方面仅有赖氨酸和蛋氨酸的需求研究^[21],其他必需氨基酸需求方面未见有报道。因此,本实验的目的是通过在一定的酪氨酸水平下探讨不同苯丙氨酸水平对异育银鲫幼鱼生长和生理生化指标的影响,从而得出其适宜的苯丙氨酸需求量,为异育银鲫研制氨基酸平衡的高效配合饲料提供科学依据,以达到促进鱼类生长,减少环境污染,降低养殖成本的效果。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

以国产酪蛋白(华羚乳品集团公司)和明胶(天津市博迪化工有限公司)为蛋白源配制 7 组等氮等能(蛋白质 38%, 能量 17.8 kJ/g)的半纯化饲料(表 1)。基础饲料中除苯丙氨酸(L-Phe)外通过添加晶体氨基酸使饲料的必需氨基酸模式和异育银鲫肌肉蛋白的必需氨基酸组成模式^[22]相似。苯丙氨酸的添加量分别为 0.00%、0.20%、0.40%、0.60%、0.80%、1.00%和 1.20%(占饲料干物质),饲料苯丙氨酸的实测含量分别为 0.73%、0.89%、1.09%、1.26%、1.33%、1.58%和 1.67%七个水平,通过非必需氨基酸(除半胱氨酸和酪氨酸外)的填充配制制成等氮的饲料,饲料必需氨基酸组成(表 2)。配制饲料时先将所有晶体

表 1 实验基础饲料配方及化学组成(%干重)
Tab. 1 Formulation and chemical composition of the basal diet (in dry matter)

成分 Ingredient	含量 Content (%)
国产酪蛋白 Indigenous casein	14.00
明胶 Gelatin	2.00
氨基酸混合物(含组氨酸) ¹ Amino acid mixture (including histidine)	25.00
鱼油 Fish oil	4.50
豆油 Soybean oil	4.50
玉米淀粉 Corn starch	20.00
糊精 Dextrin	10.00
维生素混合物 ² Vitamin premix	0.45
矿物盐混合物 ³ Mineral premix	5.0
羧甲基纤维素 Carboxymethyl cellulose	3.00
氯化胆碱 Choline chloride	0.11
硫代甜菜碱 DMPT	0.25
纤维素 Cellulose	11.19
化学组成 Chemical composition	
干物质 Dry matter	93.95
粗蛋白 Crude protein	36.01
粗脂肪 Crude lipid	6.45
灰分 Ash	5.32
能值 Energy (kJ/g)	20.03

注: 1. 氨基酸混合物: 精氨酸, 1.72%; 组氨酸, 0.65%; 异亮氨酸, 1.18%; 亮氨酸, 2.24%; 赖氨酸, 2.19%; 蛋氨酸, 0.44%; 苏氨酸, 1.34%; 色氨酸, 1.17%; 缬氨酸, 1.05%; 酪氨酸, 0.52%; 半胱氨酸, 0.34%; 天冬氨酸, 3.43%; 甘氨酸, 1.53%; 谷氨酸, 3.63%; 丙氨酸, 1.96%; 丝氨酸, 0.86%; 2. 维生素预混物(mg/kg 饲料): 维生素 B₁, 20; 维生素 B₂, 20; 维生素 B₆, 20; 维生素 B₁₂, 0.020; 叶酸, 5; 泛酸钙, 50; 肌醇, 100; 烟酸, 100; 生物素, 0.1; 淀粉, 645.2; 维生素 C, 100; 维生素 A, 110; 维生素 D, 20; 维生素 E, 50; 维生素 K, 10; 3. 无机盐预混物(mg/kg 饲料): 氯化钠, 500; 硫酸镁, 4575.0; 磷酸二氢钠, 12500.0; 磷酸二氢钾, 16000.0; 磷酸二氢钙, 6850.0; 硫酸亚铁, 1250.0; 乳酸钙, 1750.0; 硫酸锌, 111.0; 硫酸锰, 61.4; 硫酸铜, 15.5; 硫酸钴, 19.02; 碘化钾, 178.33; 淀粉, 6253.33

Note: 1. Amino acid mixture: Arg, 1.72%; His, 0.65%; Ile, 1.18%; Leu, 2.24%; Lys, 2.19%; Met, 0.44%; Thr, 1.34%; Trp, 1.17%; Val, 1.05%; Tyr, 0.52%; Cys, 0.34%; Asp, 3.43%; Gly, 1.53%; Glu, 3.63%; Ala, 1.96%; Ser, 0.86%; 2. Vitamin premix (mg/kg diet): thiamin, 20; riboflavin, 20; pyridoxine, 20; cyanocobalamin, 0.020; folic acid, 5; calcium pantothenate, 50; inositol, 100; niacin, 100; biotin, 0.1; Starch, 645.2; ascorbic acid, 100; Vitamin A, 110; Vitamin D, 20; Vitamin E, 50; Vitamin K, 10; 3. Mineral premix (mg/kg diet): NaCl, 500; MgSO₄·7H₂O, 4575.0; NaH₂PO₄·2H₂O, 12500.0; KH₂PO₄, 16000.0; Ca(H₂PO₄)₂·H₂O, 6850.0; FeSO₄, 1250.0; C₆H₁₀CaO₆·5H₂O, 1750.0; ZnSO₄·7H₂O, 111.0; MnSO₄·4H₂O, 61.4; CuSO₄·5H₂O, 15.5; CoSO₄·6H₂O, 19.02; KI, 178.33; Starch, 6253.33

表 2 实验饲料的必需氨基酸组成(%干重)
Tab. 2 Essential amino acid composition of the experimental diet(dry matter)

成分 Ingredient	饲料 1 Diet 1	饲料 2 Diet 2	饲料 3 Diet 3	饲料 4 Diet 4	饲料 5 Diet 5	饲料 6 Diet 6	饲料 7 Diet 7
精氨酸 Arg	2.137	2.108	2.057	2.112	1.925	2.065	2.095
组氨酸 His	0.940	0.905	0.900	0.917	0.825	0.873	0.878
异亮氨酸 Ile	1.688	1.704	1.628	1.664	1.544	1.650	1.672
亮氨酸 Leu	3.206	3.162	3.106	3.178	2.856	3.108	2.962
赖氨酸 Lys	2.704	2.662	2.635	2.688	2.433	2.597	2.603
蛋氨酸 Met	0.684	0.660	0.653	0.661	0.603	0.660	0.582
苯丙氨酸 Phe	0.727	0.894	1.093	1.259	1.333	1.575	1.672
苏氨酸 Thr	1.539	1.512	1.500	1.525	1.396	1.490	1.502
色氨酸*Trp	—	—	—	—	—	—	—
缬氨酸 Val	1.753	1.746	1.692	1.728	1.587	1.713	1.693
酪氨酸*Tyr	1.175	1.086	1.071	1.045	0.920	0.979	1.037
胱氨酸*Cys	0.214	0.245	0.246	0.203	0.233	0.255	0.296

注: 色氨酸*: 没有检测; 酪氨酸*和胱氨酸*: 半必需氨基酸
Note: Trp: Not detected; Tyr and Cys: semi-essential amino acid

氨基酸充分混匀, 然后用羧甲基纤维素(CMC)包埋。包埋好的氨基酸混合物和其他原料充分混匀, 同时加入 6 mol/L NaOH 调节饲料的 pH 至中性^[23], 经搅拌机搅匀后用饲料颗粒机将饲料制成直径为 3—4 mm 大小的颗粒。成形的饲料于 60℃ 的恒温烘箱中烘干, 然后储存于-17℃ 的冰箱中待用。

1.2 实验鱼及驯养

实验用异育银鲫是购自中国科学院水生生物研究所关桥渔场的当年鱼种, 在进入实验养殖系统暂养前, 先用适当浓度的盐水对实验鱼进行消毒处理。在室内圆形水泥池中暂养一个多月进行驯化, 暂养饲料为本实验室配制的以红鱼粉和豆粕为主要蛋白源的颗粒饲料(蛋白含量 36%)。实验前 10d 将实验鱼转入流水养殖系统进行驯养, 每天用基础饲料饱食投喂两次(9:00 和 16:00), 水温 28℃ 左右, 使其适应养殖环境和实验饲料。

1.3 饲养条件

实验于 2007 年 8 月 22 日到 10 月 17 日在阳逻基地进行。实验系统为 21 个灰色方形玻璃纤维缸(40 cm×70 cm, 水容量 120 L)的流水系统, 流量为 200 mL/min。实验期间, 水温和 pH 每天分别在上午和下午投食之前测两次, 保持在 26—30℃ 和 6.7—7.0; 溶氧、氨氮和余氯每两周用标准方法测一

次^[24], 平均保持在 6.7—7.2 mg/L、小于 0.1 mg/L 和小于 0.01 mg/L; 光照周期为自然光照。

实验开始前, 将暂养鱼禁食 24h, 然后随机选取体格健壮、规格均匀的个体带水称重, 将其随机放入玻璃纤维缸中, 每缸 30 尾, 共 7 个处理, 每个处理 3 个重复, 各饲料组实验鱼初始体重为 (3.19±0.03) g。同时随机选取 3 组作初始鱼样, 每组 15 尾, 带水称重后再抹干称重, 以校正水分, -4℃ 保存, 用于测定实验鱼的初始生化成分组成。实验期间, 每天两次 1h 的连续投喂(8:00 和 16:00)达到表观饱食(至观察到鱼不吃为止)。

1.4 取样及分析

实验进行 55d 后结束, 实验鱼禁食 24h 后, 带水称每缸鱼的总体重。随机从每缸中捞取 6 尾带水称重再抹干称重后, -4℃ 保存, 用于测定实验鱼的终末生化成分组成。随机取 3 尾鱼称量全长和体重, 于冰盘上解剖取肝称重, 用于计算肥满度和肝体指数。另外随机取 6 尾鱼静脉抽血, 冰盘上解剖取肝胰脏。血液以 3000 r/min 离心 15min 后吸取上层血清保存于-20℃ 冰箱中用于分析血清甘油三脂、胆固醇、白蛋白和血糖; 肝胰脏先放入液氮罐中速冻, 再保存到-20℃ 冰箱中用于分析肝脏谷草转氨酶(GPT)和谷丙转氨酶(GOT)活性。

按照南京建成生物工程研究所提供的测试盒说明书, 血清甘油三脂和总胆固醇分别采用酵素呈色法 GOP-PAP 和 CHOD-PAP 测定; 血糖采用葡萄糖氧化酶法(GOD-POD)测定; 血清白蛋白采用溴甲酚绿比色法测定; 肝脏 GPT、GOT 活力的测定按照南京建成生物工程研究所提供的测试盒说明书采用赖氏法进行。

干物质、粗蛋白、粗脂肪、灰分和能量的测定参照 AOAC 的方法^[25]: 饲料干物质测定在 105℃ 烘干至恒重采用失重法; 初始和终末鱼样在高压蒸气灭菌器(ES-315, TOMY KOGYO CO., Japan)120℃ 蒸 30min, 捣烂混匀后放入恒温烘箱中 70℃ 烘干至恒重, 采用失重法计算其干物质含量, 然后将烘干的鱼样粉碎后待分析。蛋白质测定采用微量凯氏定氮法(Kjeltec Auto Analyzer 2300, FOSS Company, USA); 脂肪测定采用索氏抽提法(Soxtex system HT 1043, Tecator, Extraction Unit, Hoganas, Sweden); 灰分测定采用马福炉(Hubei Yingshan Country Jianli Stove Construction Yard, China)550℃ 焚烧法; 能值采用 Phillipson 微量能量计(Phillipson microbomb calorimeter, Gentry Instruments Inc., Aiken, South Carolina, U.S.A.)测定。每个样品至少测定两个平行样。

饲料的氨基酸组成的测定用国家标准方法(GB/T 5009. 124-2003)酸水解法, 即样品用 6 mol/L 的 HCl 在 110℃ 下水解 24h 后, 再用日立 L8800-型氨基酸自动分析仪测定其中的氨基酸(除色氨酸外)。

1.5 数据处理及统计分析

实验鱼的增重率(Weight gain, WG)、特定生长率(Specific growth rate, SGR)、饲料效率(Feed conversion efficiency, FE)、蛋白质效率(Protein efficiency ratio, PER)、摄食率(Feeding rate, FR)、蛋白质储积率(Protein retention efficiency, PRE)、能量储积率(Energy retention efficiency, ERE)、肥满度(Condition factor, CF)和肝体指数(Hepatosomatic index, HSI)计算公式如下:

增重率(WG, %) = $100 \times (\text{终末体重} - \text{初始体重}) / \text{初始体重}$

特定生长率(SGR, %/d) = $100 \times [\ln \text{鱼体末重} - \ln \text{鱼体初重}] / \text{天数}$

饲料效率(FE, %) = $100 \times (\text{鱼体末重} - \text{鱼体初重}) /$

摄食饲料干重

蛋白质效率(PER, %) = $\text{增重} / \text{粗蛋白摄入量}$

摄食率(FR, %/kg·d) = $100 \times \text{总摄食量} / [(\text{初始体重} + \text{终末体重}) / 2] / \text{天数}$

蛋白储积率(PRE, %) = $100 \times (\text{鱼体蛋白储积量} / \text{蛋白摄入量})$

能量储积率(ERE, %) = $100 \times \text{鱼体能量增加总量} / \text{摄入的能量总量}$

肥满度(CF) = $100 \times \text{体重} / \text{体长}^3$

肝体比(HIS) = $100 \times \text{肝脏重} / \text{体重}$

所有实验数据用 Statistica 6.0 软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 差异显著时用 Duncan's 或 Fisher LSD 方法进行多重比较($P < 0.05$)。实验鱼的特定生长率与饲料苯丙氨酸含量的剂量效应关系通过非线性回归曲线求出。

2 结 果

2.1 苯丙氨酸水平对生长性能和饲料利用的影响

从表 3 可以看出: 饲料中不同苯丙氨酸水平对异育银鲫幼鱼的增重率(WG)、特定生长率(SGR)、摄食率(FR)和饲料效率(FE)有显著影响($P < 0.05$), 而对其肥满度(CF)和肝体指数(HSI)没有显著影响($P > 0.05$)。随着饲料中苯丙氨酸含量的增加, WG、SGR 和 FE 呈先上升后下降的趋势, 当饲料中苯丙氨酸含量为 1.09% 时均到达最大值分别为 194.50%、1.96%/d、37.74%; 而 FR 为最小值 4.76%/kg·d。随着饲料中苯丙氨酸含量的增加, 蛋白质效率(PER)、蛋白质储积率(PRE)和能量储积率(ERE)都逐渐升高, 当饲料中苯丙氨酸含量为 1.09% 时均达到最大值, 进一步增加饲料中苯丙氨酸含量这些参数则呈下降趋势。

2.2 苯丙氨酸水平对鱼体生化组成及生理指标的影响

从表 4 可以看出: 饲料中苯丙氨酸含量对异育银鲫幼鱼灰分含量影响显著($P < 0.05$), 对其他生化组成影响不显著($P > 0.05$)。当饲料中苯丙氨酸含量为 0.73% 时, 鱼体灰分含量为最大值; 苯丙氨酸含量为 1.33% 和 1.58% 时, 灰分含量为最小值, 其他各处理组间无显著性差异($P > 0.05$)。

表 5 结果表明: 饲料不同苯丙氨酸水平对异育银鲫幼鱼血糖、血清胆固醇和甘油三酯有显著影响($P < 0.05$), 而对血清白蛋白无显著影响($P > 0.05$); 对

肝脏中的脂肪含量有显著影响($P<0.05$), 而对肝脏转氨酶活性无显著影响($P>0.05$)。当饲料中苯丙氨酸含量为 1.26%时, 血糖含量达到最大值, 显著高于其他组($P<0.05$)。血清胆固醇含量随着饲料苯丙氨酸含量的增加呈先下降后上升的趋势, 当饲料中苯丙氨酸含量为 1.26%和 1.58%时为最小值, 当饲料中

苯丙氨酸含量为 0.73%时为最大值; 而血清甘油三酯含量则呈相反的趋势, 当饲料苯丙氨酸含量为 1.33%时为最大值, 苯丙氨酸含量为 0.89%时为最小值。随着饲料中苯丙氨酸水平的升高, 肝脂肪含量的趋势与血清胆固醇相似, 当饲料中苯丙氨酸含量为 1.26%时, 肝脏脂肪含量为最小值。

表 3 苯丙氨酸水平对异育银鲫幼鱼生长和饲料利用的影响(平均值±标准误)*
Tab. 3 Effect of dietary phenylalanine levels on growth and feed utilization of juvenile gibel carp (mean ± S.E.)

	饲料苯丙氨酸水平(% 干物质) Dietary phenylalanine levels (% dry matter)						
	0.73	0.89	1.09	1.26	1.33	1.58	1.67
初始体重 IBW (g)	3.22±0.00 ^c	3.18±0.00 ^{abc}	3.21±0.01 ^{bc}	3.18±0.02 ^{abc}	3.16±0.01 ^a	3.17±0.01 ^{ab}	3.17±0.02 ^{ab}
终末体重 FBW (g)	8.91±0.14 ^{ab}	8.85±0.16 ^{ab}	9.44±0.33 ^b	9.17±0.20 ^{ab}	8.96±0.11 ^{ab}	8.66±0.23 ^a	8.82±0.21 ^{ab}
增重率 WG (%)	176.79±4.51 ^{ab}	177.76±5.15 ^{ab}	194.50±11.30 ^b	187.95±4.68 ^{ab}	183.36±2.64 ^{ab}	172.91±7.76 ^a	177.88±5.28 ^{ab}
特定生长率 SGR (%/d)	1.85±0.03 ^{ab}	1.86±0.03 ^{ab}	1.96±0.07 ^b	1.92±0.03 ^{ab}	1.89±0.02 ^{ab}	1.82±0.05 ^a	1.86±0.03 ^{ab}
摄食率 FR (%/kg·d)	5.11±0.08 ^{ab}	5.15±0.06 ^b	4.76±0.17 ^a	5.05±0.10 ^{ab}	5.13±0.12 ^b	5.35±0.03 ^b	5.08±0.19 ^{ab}
饲料效率 FE (%)	33.38±0.88 ^a	33.23±0.84 ^a	37.74±2.48 ^b	34.91±0.46 ^{ab}	33.96±0.91 ^{ab}	31.48±0.68 ^a	33.78±1.65 ^a
蛋白质效率 PER	0.91±0.02 ^a	0.92±0.02 ^a	1.04±0.07 ^b	0.97±0.01 ^{ab}	0.94±0.03 ^{ab}	0.88±0.02 ^a	0.95±0.05 ^{ab}
蛋白质沉积率 PRE (%)	15.02±0.70 ^{ab}	14.05±0.85 ^a	16.54±0.71 ^b	14.82±0.52 ^{ab}	14.70±0.65 ^{ab}	13.82±0.45 ^a	14.53±0.75 ^{ab}
能量沉积率 ERE (%)	10.96±0.70 ^{ab}	10.20±0.41 ^a	12.07±0.76 ^b	10.83±0.31 ^{ab}	10.46±0.20 ^{ab}	10.12±0.33 ^a	10.96±0.74 ^{ab}
肥满度 CF	1.46±0.03	1.47±0.03	1.45±0.02	1.48±0.02	1.46±0.02	1.49±0.02	1.45±0.01
肝体指数 HSI	6.55±0.18	6.82±0.31	6.06±0.20	6.86±0.35	6.56±0.41	7.28±0.96	6.11±0.10

注: 同一行数据后英文字母不同者表示其差异显著($P<0.05$); 下同
Note: *Means within the same row followed by different letters are significantly different from each other ($P<0.05$); IBW: Initial body weight; The same as follows

表 4 苯丙氨酸水平对鱼体生化组成的影响(平均值±标准误)
Tab. 4 Effect of dietary phenylalanine levels on body composition of juvenile gibel carp (mean±S.E.)

湿重 Wet weight	初始鱼样 Initial	饲料苯丙氨酸水平(% 干物质) Dietary phenylalanine levels (% dry matter)						
		0.73	0.89	1.09	1.26	1.33	1.58	1.67
水分 Water (%)	78.17±2.62	73.42±0.84	74.69±0.35	73.89±0.41	74.23±0.08	74.41±0.55	73.89±0.50	74.27±0.57
蛋白质 Protein (%)	13.69±1.62	15.47±0.45	14.82±0.37	15.27±0.35	14.89±0.23	15.08±0.41	15.20±0.41	15.01±0.26
脂肪 Lipid (%)	4.10±0.49	5.92±0.17	5.57±0.21	5.72±0.12	5.49±0.19	5.42±0.12	5.85±0.16	5.48±0.22
灰分 Ash (%)	3.29±0.38	3.52±0.13 ^b	3.27±0.11 ^{ab}	3.37±0.07 ^{ab}	3.38±0.05 ^{ab}	3.26±0.04 ^a	3.24±0.08 ^a	3.36±0.05 ^{ab}
能量 Energy (kJ/g)	4.82±0.59	5.80±0.25	5.53±0.08	5.72±0.01	5.59±0.11	5.56±0.10	5.71±0.16	5.75±0.10

表 5 苯丙氨酸水平对血糖、总胆固醇、甘油三酯、血清白蛋白和肝脏转氨酶的影响(平均值±标准误)
Tab. 5 Effect of dietary phenylalanine levels on serum sugar, total cholesterol, triglyceride, albumin and liver GPT, GOT of juvenile gibel carp (mean±S.E.)

	饲料苯丙氨酸水平(% 干物质)						
	Dietary phenylalanine levels (% dry matter)						
	0.73	0.89	1.09	1.26	1.33	1.58	1.67
血清 Serum							
血糖 Glucos (mmol/L)	3.94±0.28 ^{abc}	3.22±0.24 ^{ab}	4.27±0.18 ^{bc}	4.59±0.74 ^c	2.97±0.29 ^a	4.35±0.29 ^{bc}	3.67±0.55 ^{abc}
总胆固醇 Total cholesterol (mmol/L)	7.88±0.16 ^b	7.10±0.08 ^{ab}	7.19±0.51 ^{ab}	6.50±0.19 ^a	6.86±0.15 ^{ab}	6.50±0.64 ^a	6.83±0.34 ^{ab}
甘油三酯 Triglyceride (mmol/L)	6.55±0.33 ^{ab}	6.08±0.53 ^a	7.16±1.16 ^{ab}	6.55±0.12 ^{ab}	8.20±0.67 ^b	7.75±0.63 ^{ab}	6.78±0.43 ^{ab}
白蛋白 Albumin (g/L)	22.09±1.41	24.26±1.31	23.23±1.41	22.20±0.39	24.60±0.36	21.17±3.01	22.31±0.24
肝脏 Liver							
脂肪 Lipid (% dry matter)	5.10±0.35 ^b	4.36±0.22 ^{ab}	4.05±0.23 ^{ab}	3.44±0.23 ^a	4.04±0.34 ^{ab}	3.59±0.80 ^a	3.73±0.49 ^{ab}
谷草转氨酶 GPT (U/mgprot)	836.30±180.44	670.17±82.25	732.33±72.75	996.38±192.54	863.08±73.38	881.81±73.38	797.43±224.50
谷丙转氨酶 GOT (U/mgprot)	782.17±74.66	895.18±153.55	765.38±70.53	836.08±177.39	778.81±26.08	1068.58±204.90	768.12±122.69

2.3 异育银鲫幼鱼的苯丙氨酸需求量

通过多项式回归(Polynomial regression)得到异育银鲫幼鱼特定生长率与饲料中苯丙氨酸含量的剂量关系如下:

$$y = 0.4612x^3 - 2.0339x^2 + 2.7891x + 0.7045$$
$$R^2 = 0.6309 \quad n=7 \quad P<0.05$$

特定生长率与饲料中苯丙氨酸含量的剂量效应关系曲线分别见图 1, 当饲料中酪氨酸含量为 1.04% 时, 曲线最高处的饲料苯丙氨酸含量 1.09% 为异育银鲫幼鱼苯丙氨酸适宜需求量, 占饲料蛋白质含量的 3.02%。

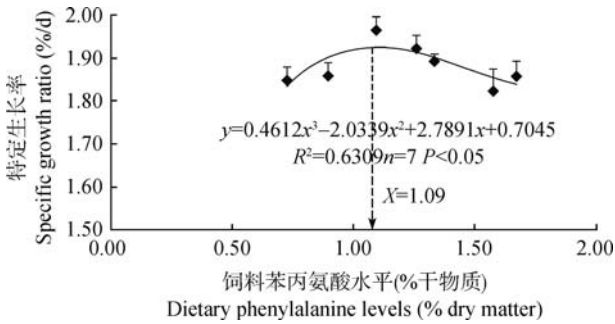


图 1 饲料中苯丙氨酸水平对异育银鲫幼鱼特定生长率的影响
Fig. 1 Effect of dietary phenylalanine level on SGR of juvenile gibel carp

3 讨 论

3.1 异育银鲫的苯丙氨酸需求量及与其他鱼类的比较

研究表明, 饲料中苯丙氨酸含量低于或高于 1.09%, 都不利于异育银鲫幼鱼的生长和饲料利用, 只有饲料中苯丙氨酸的含量适宜时, 才能满足异育银鲫幼鱼的最大生长和最佳饲料利用。这可能因为苯丙氨酸在鱼体内的代谢中间产物可以转化为甲状腺素, 而甲状腺素可以促进鱼体的生长发育、组织分化、物质代谢和抗应激能力等; 此外, 饲料氨基酸平衡时, 鱼类摄入的氨基酸主要用于合成蛋白质促进生长, 因此, 当饲料苯丙氨酸适宜时, 饲料效率和特定生长率均达到最大值。

由于机体中苯丙氨酸可以转化为酪氨酸, 而酪氨酸不能够合成苯丙氨酸, 因此苯丙氨酸需求量应该在一定酪氨酸水平的条件下进行研究, 否则其需求量的变化范围会很大, 而且不同鱼类间比较时, 应比较总芳香烃氨基酸需求量即饲料中苯丙氨酸和酪氨酸的总含量。本实验根据异育银鲫幼鱼特定生长率、饲料效率与饲料中苯丙氨酸含量(一定酪氨酸水平下)的剂量效应关系, 通过非线性回归方法可以得出当饲料中酪氨酸含量为 1.04% 时, 异育银鲫幼

鱼适宜的苯丙氨酸需求量分别为占饲料干物质的 1.09%，即占饲料蛋白质的 3.02%。本研究得出的异育银鲫幼鱼的苯丙氨酸需求量与饲料酪氨酸含量的和，即芳香烃氨基酸总量，为饲料干物质的 2.13%，占饲料蛋白的 6.0%，比已报道的欧洲黑鲈 *Dicentrarchus labrax* 2.6%^[18]、金头鲷 *Sparus aurata* 2.9%^[18]、日本牙鲆 *Paralichthys olivaceus* 3.8%^[16]、真鲷 *Pagrus major* 4.1%^[16]、虹鳟 *Oncorhynchus mykiss* 4.3%—5.2%^[19,26]、银大马哈鱼 *Oncorhynchus kisutch* 4.5%^[5]、斑点叉尾鲷 *Ictalurus punctatus* 5.0%^[10]、大鳞大马哈鱼 *Oncorhynchus tshawytscha* 5.1%^[27]、遮目鱼 *Chanas chanas* 5.22%^[15]、高首鲟 *Acipenser transmontanus* 5.3%^[8]、斯塔野鲮 *Labeo rohita* 5.40%(Phe1.22%+Tyr1.0%)/5.55%(Phe3.05%+Tyr2.50%)^[28]、尼罗罗非鱼 *Oreochromis nilotica* 5.5%^[3]、印度鲤 *Cirrhinus mrigala* 5.68%^[29]、银鲈 *Bidayanus bidayanus* 5.65%^[13]、日本鳗鲡 *Anguilla japonica* 5.80%^[1]、大西洋鲑 *Salmo salar* 5.8%^[14]高，比大麻哈鱼 *Oncorhynchus keta* 6.3%^[1]、鲤 *Cyprinus carpio* 6.5%^[2]和印度鲤 *Catla catla* 6.2%^[7]低。由此可以看出，鱼类的芳香烃氨基酸需求量的范围变化较大，占饲料蛋白的 2.6%—6.5%之间。

影响鱼类苯丙氨酸需求量的因素很多^[30]，包括鱼的种类、饲料类型(纯化饲料、半纯化饲料、实用饲料等)、饲料的蛋白含量和能量含量、氨基酸模式、饲养环境(水温、水流、光照等)、投喂方法和统计方法(折线法、二次回归、酶动力学分析法)等。Baker^[31]报道分析剂量关系的统计方法会影响需求量的估计，折线法一般比非线性方法估计的需求量低，因此，非线性模式能够更精确地描述活体器官的生理反应，更严谨的计算饲料成本，故而本研究使用了非线性回归方法。此外，由于苯丙氨酸可以转化为酪氨酸，饲料中酪氨酸水平对苯丙氨酸的需求量影响极大。Khan 和 Abidi^[29]在对斯塔野鲮幼鱼苯丙氨酸需求量的研究中，当饲料酪氨酸水平为 1.0%时，苯丙氨酸需求量为 1.22%，而酪氨酸水平为 2.50%时，苯丙氨酸需求量为 3.05%。日本鳗鲡在饲料中缺少酪氨酸时，对苯丙氨酸的需要量是 2.2%，而饲料中有 2%的酪氨酸时，对苯丙氨酸的需要量是 1.2%；鲤在缺少酪氨酸时，对苯丙氨酸的需要量是 2.5%，而饲料中有 1%的酪氨酸时，对苯丙氨酸的需要量是 1.3%^[28]。本实验研究结果表明，当饲料

酪氨酸水平为 1.04%时，异育银鲫的苯丙氨酸需求量为饲料干物质的 1.09%，较斯塔野鲮幼鱼酪氨酸水平为 1.0%时的苯丙氨酸需求量和鲤酪氨酸水平为 1.0%时的苯丙氨酸需求量略低。但是关于异育银鲫幼鱼饲料中酪氨酸与苯丙氨酸的适宜比例，酪氨酸对苯丙氨酸是否有节约效应尚需要进一步研究。

3.2 饲料中苯丙氨酸水平对生长和饲料利用的影响

饲料中十种必需氨基酸的作用机理同木桶原理，任何一种必需氨基酸缺乏或过量都会影响水生动物的生长和饲料利用。大量研究表明，随着饲料中赖氨酸水平的增加，鱼虾类生长速度呈现两种不同变化^[32]：(1) 随着饲料中赖氨酸含量增加鱼虾类生长速度加快，当生长速度增至最佳需求量时，再提高饲料赖氨酸含量，鱼虾类生长相对稳定。(2) 随着饲料中赖氨酸含量增加鱼虾类生长速度提高，当饲料赖氨酸水平超过需要量时，其生长速度显著下降。大量研究表明，其他必需氨基酸需求的研究同赖氨酸生长实验的趋势一样^[7,13,28]。在本实验中，当饲料酪氨酸水平为 1.04%，苯丙氨酸含量不足时，异育银鲫幼鱼生长缓慢、饲料效率低；随着饲料中苯丙氨酸含量的增加，生长速度显著提高，饲料效率也显著增加；当含量超过需求量时，其生长速度又显著下降，这和上述情况(2)一致，与斯塔野鲮的总芳香族氨基酸需求研究的结果相似。这可能由于过低或过高的苯丙氨酸导致饲料氨基酸不平衡而影响其他氨基酸的吸收利用，多余的氨基酸经脱氨基作用，含氮的部分以氨、尿素和三甲胺形式等排出体外，不含氮的部分分解成水和二氧化碳，释放出能量，或形成脂肪积蓄^[33]。饲料中氨基酸不平衡，加重了鱼类的脱氨基作用，这是苯丙氨酸不足和过量影响异育银鲫幼鱼生长和饲料利用的原因之一。饲料苯丙氨酸过量也可能导致鱼体苯丙氨酸的积累和氧化成为酮类等毒性物质，因而影响其生长和饲料利用。

饲料不同苯丙氨酸水平对异育银鲫幼鱼的蛋白质效率(PER)、蛋白质储积率(PRE)和能量储积率(ERE)有显著性影响($P<0.05$)。PER、PRE 和 ERE 均随着饲料苯丙氨酸水平的增加呈先上升后下降的趋势，当饲料苯丙氨酸水平为 1.09%时到达最大值，这说明饲料中添加适宜水平的苯丙氨酸，饲料氨基酸达到平衡，蛋白质和能量主要用于转化为鱼体的蛋白质和能量，异育银鲫幼鱼对饲料的利用达到最佳。

3.3 饲料中苯丙氨酸水平对生化成分和生理生化指标的影响

谷草转氨酶(GPT)和谷丙转氨酶(GOT)是广泛存在于动物细胞线粒体中的重要氨基转移酶,在机体蛋白质和氨基酸代谢中起着重要作用,其活性与氨基酸代谢强弱有关。本实验中饲料不同苯丙氨酸水平对异育银鲫幼鱼肝脏谷草转氨酶(GPT)和谷丙转氨酶(GOT)均没有显著影响($P>0.05$),而对其肝脂肪含量有显著影响($P<0.05$)。异育银鲫幼鱼肝脂肪含量随着饲料中苯丙氨酸含量的增加呈先下降后上升的趋势,当饲料中苯丙氨酸含量为 1.26%时,肝脂肪含量为最小值。可能因为当饲料氨基酸不平衡时,多余的氨基酸主要转化为肝脏脂肪储存起来,因而肝脏 GPT 和 GOT 活性没有差异,即鱼体内氨基酸代谢强度没有显著性差异。当饲料添加适宜水平苯丙氨酸时,各种氨基酸达到平衡,主要用于合成鱼体蛋白,故而肝脂肪含量达到最小值。

饲料不同苯丙氨酸水平对血清白蛋白无显著影响($P>0.05$),对血糖和血清胆固醇、甘油三酯有显著影响($P<0.05$)。当饲料中苯丙氨酸含量为 1.26%时,血糖含量达到最大值,显著高于其他组($P<0.05$)。这可能因为饲料氨基酸平衡时,氨基酸主要用于合成蛋白质,因此异育银鲫主要调动糖类供能,血糖含量升高。血清胆固醇含量随着饲料苯丙氨酸含量的增加呈先下降后上升的趋势,当饲料中苯丙氨酸含量为 1.26%和 1.58%时为最小值,当饲料中苯丙氨酸含量为 0.73%时为最大值。血清甘油三酯含量呈相反的趋势,当饲料苯丙氨酸含量为 1.33%时为最大值,苯丙氨酸含量为 0.89%时为最小值。这可能因为苯丙氨酸和酪氨酸为生酮兼生糖氨基酸,饲料中苯丙氨酸含量不足或过量时,多余的氨基酸可直接代谢供能,也可转化为脂肪或糖类储存供能。血液指标的变化说明饲料中不同苯丙氨酸水平对异育银鲫的糖代谢和脂肪代谢均有显著性影响。

参考文献:

- [1] NRC. Nutrient Requirements of Fish [M]. National Academy Press, Washington, DC. 1993, 7—13
- [2] Nose T. Summary report on the requirements of essential amino acids for carp [M]. In: Halver J E, Tiwies K (Eds.), *Finfish Nutrition and Fish feed Technology*, Heenemann, Berlin, Federal Republic of Germany. 1979, 145—156
- [3] Santiago C B, Lovell R T. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia [J]. *Journal of Nutrition*, 1988, **118**: 1540—1546
- [4] Akiyama T, Arai A. Amino acid requirements of chum salmon fry and supplementation of amino acid to diet [M]. In: Collie M R, McVey J P (Eds.), *Proceedings of the Twentieth U.S.-Japan Symposium on Aquaculture Nutrition*. UJNR Department of Commerce, Newport, OR. 1993, 35—48
- [5] Arai S, Ogata H. Quantitative amino acid requirements of fingerling coho salmon [M]. In: Collie M R, McVey J P (Eds.), *Proceedings of the Twentieth US-Japan Symposium on Aquaculture Nutrition*. UJNR. Department of Commerce, Newport, OR. 1993, 19—28
- [6] Borlongan I G, Coloso R M. Requirements of juvenile milkfish (*Chanos chanos* Forsskal) for essential amino acids [J]. *Journal of Nutrition*, 1993, **123**: 125—132
- [7] Ravi J, Devaraj K V. Quantitative essential amino acid requirements for growth of catla, *Catla catla* (Hamilton) [J]. *Aquaculture*, 1991, **96**: 281—291
- [8] Ng W K, Hung S S O. Estimating the ideal dietary essential amino acid pattern for growth of white sturgeon, *Acipenser transmontanus* (Richardson) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1995, **1**: 85—94
- [9] Small B C, Soares J H Jr. Estimating the quantitative essential amino acid requirements of striped bass *Morone saxatilis*, using fillet A/E ratios [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1998, **4**: 225—232
- [10] Robinson E H, Wilson R P, Poe W E. Total aromatic amino acid requirement, phenylalanine requirement and tyrosine replacement value for fingerling channel catfish [J]. *Journal of Nutrition*, 1980, **110**: 1805—1812
- [11] Kim K I, Grimshaw T W, Kayes T B, et al. Effect of fasting or feeding diets containing different levels of protein or amino acids on the activities of the liver amino acid-degrading enzymes and amino acid oxidation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1992, **107**: 89—105
- [12] Murthy S S, Varghese T J. Dietary requirement of the Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton) for total aromatic amino acids [J]. *Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, 1996, **48**: 78—83
- [13] Ngamsnae P, De Silva S S, Gunasekera R M. Arginine and phenylalanine requirement of juvenile silver perch *Bidyanus bidyanus* and validation of the use of body amino acid composition for estimating individual amino acid requirements [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1999, **5**: 173—180
- [14] Rollin X. Critical study of indispensable amino acids requirements of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fry [D]. Ph.D. thesis. Universite catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium. 1999
- [15] Borlongan I G. Dietary requirement of milkfish (*Chanos chanos* Forsskal) for total aromatic amino acids [J]. *Aquaculture*, 1992, **102**: 309—317

- [16] Forster I, Hiroshi Y O. Lysine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* and juvenile red sea bream *Pagrus major* [J]. *Aquaculture*, 1998, **161**: 131—142
- [17] Han A S, Liang Y Q, Gao C R, *et al.* Requirement for dietary arginine, methionine, phenylalanine and tryptophan by juvenile of the shrimp *Penaeus monodon* [J]. *Fisheries Science of China*, 1995, (2): 7—14 [韩阿寿, 梁亚全, 高淳仁, 等. 斑节对虾的精氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、色氨酸的需求量研究 中国水产科学, 1995, (2): 7—14]
- [18] Kaushik S J. Whole body amino acid composition of European Seabass (*Dicentrarchus labrax*), gilthead seabream (*Sparus aurata*) and turbot (*Psetta maxima*) with an estimation of their IAA requirement profiles [J]. *Aquatic Living Resource*, 1998, **11**: 355—358
- [19] Kim K I. Requirement for phenylalanine and replacement value of tyrosine for phenylalanine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1993, **113**: 243—250
- [20] Xie S Q, Lei W, Zhu X M, *et al.* The appraisal data of nutrition, feed and feeding technology for gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [M]. 2002, 3 [解绶后, 雷武, 朱晓鸣, 等. 异育银鲫营养、饲料与投喂技术成果鉴定技术资料集, 2002, 3]
- [21] Zhou X J. The utilization and requirement of dietary lysine and methionine for juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University Master's Thesis, 2005 [周贤君. 异育银鲫对晶体赖氨酸和蛋氨酸的利用及需求量研究 武汉: 华中农业大学硕士学位论文, 2005]
- [22] Yan A S, Xiong C X, Zhou Z J, *et al.* The contain of meat ratio and evaluation of nutrient on gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. *Water Conservancy and Fishery*, 1998, (3): 16—19 [严安生, 熊传喜, 周志军, 等. 异育银鲫的含肉率及营养评价 水利渔业, 1998, (3): 16—19]
- [23] Wilson R P, Harding D E, Garling D L. Effect of dietary pH on amino acid utilization and the lysine requirement of fingerling channel catfish [J]. *Journal of Nutrition*, 1977, **107**: 166—170
- [24] APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [S]. 18th edn. Washington DC: American Public Health Association. 1992, 1268
- [25] AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists 16th [S]. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, 1995
- [26] Ogino C. Requirements of carp and rainbow trout for essential amino acids [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1980, **46**: 171—174
- [27] Chance R E, Mertz E T, Halver J E. Nutrition of salmonid fishes. XII. Isoleucine, leucine, valine and phenylalanine requirements of chinook salmon and interrelations between isoleucine and leucine for growth [J]. *Journal of Nutrition*, 1964, **83**: 177—185
- [28] Khan M A, Abidi S F. Total aromatic amino acid requirement of Indian major carp *Labeo rohita* (Hamilton) fry [J]. *Aquaculture*, 2007, **267**(1-4): 111—118
- [29] Benakappa S, Varghese T J. Total aromatic amino acid requirement of the Indian major carp, *Cirrhinus mrigala* (Hamilton-Buchanan) [J]. *Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, 2004, **56**: 131—137
- [30] Liu M H, Jiang X M, Zhu L Y. The factors affecting amino acids of aquaculture feed [J]. *China Fishery*, 2004, (12): 91—92 [柳敏海, 蒋霞敏, 朱凌盈. 影响水产动物饲料氨基酸的因素 中国水产, 2004, (12): 91—92]
- [31] Baker D H. Problems and pitfalls in animal experiments designed to establish dietary requirements for essential nutrients [J]. *Journal of Nutrition*, 1986, **116**: 2339—2349
- [32] Yan Q G, Xie S Q, Lei W, *et al.* Quantitative dietary lysine requirement for juvenile seabastes shlegeli [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(4): 459—465 [严全根, 解绶后, 雷武, 等. 许氏平鲉幼鱼的赖氨酸需求量. 水生生物学, 2006, **30**(4): 459—465]
- [33] Lin D. The research development of fish nutrition [M]. Beijing: Science Press. 1993, 171—193 [林鼎. 鱼类营养研究进展. 北京: 科学出版社. 1993, 171—193]

DIETARY PHENYLALANINE REQUIREMENT OF JUVENILE GIBEL CARP

MA Zhi-Ying^{1,2}, ZHU Xiao-Ming¹, XIE Shou-Qi¹, YANG Yun-Xia¹ and HAN Dong¹

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: A 55d growth trial was conducted to quantify the phenylalanine requirement of juvenile gibel carp (3.19 ± 0.03 g) by feeding isonitrogenous (380 g/kg crude protein) and isocaloric (17.80 kJ/g gross energy) test diets, which contained casein and gelatin as intact protein with graded phenylalanine levels (0.58%, 0.78%, 0.98%, 1.18%, 1.38%, 1.58% and 1.78% of dry matter, respectively), and constant tyrosine level in each diet. L-crystalline amino acids (CAA) were supplemented corresponding to the amino acid pattern found in the muscle protein of gibel carp except for phenylalanine. Nonessential amino acids (except tyrosine and cystine) were supplemented to make diets isonitrogenous. The measured dietary phenylalanine levels were 0.73%, 0.89%, 1.09%, 1.26%, 1.33%, 1.58% and 1.67%, respectively. Thirty fish were randomly stocked in 130L indoor polyvinyl quadrate tank (water volume 120L; water flow speed 200mL/min) and fed experimental diets at satiation by hand in continuous one hour at 9:00 and 16:00 twice a day. Weight gain (WG) (194.50%), specific growth rate (SGR) (1.96%) and feed conversion efficiency (FE) (37.74%) were significantly ($P < 0.05$) higher in fish fed the diet containing 1.09% phenylalanine ($P < 0.05$) than the other treatments. Protein efficiency ratio (PER), protein retention efficiency (PER) and energy retention efficiency (ERE) were also significantly higher at 1.09% dietary phenylalanine level ($P < 0.05$). With the increase of dietary phenylalanine level, whole body ash content decreased gradually; serum glucose and triglyceride contents increased significantly ($P < 0.05$) and then showed a downward trend, in contrary, the contents of liver lipid and serum cholesterol were observed the opposite trend. However, no significant differences were found in condition factor (CF), hepatosomatic index (HIS), the contents of whole body moisture, protein, lipid and energy, serum albumin content and liver transaminases (GPT and GOT) among different treatments ($P > 0.05$). Based on the polynomial regression analysis of SGR and FE data, it is recommended that the diet for juvenile gibel carp should contain phenylalanine at 1.09% of dry diet respectively, corresponding to 30.2 g/kg dietary protein for optimum growth and efficient feed utilization with tyrosine fixed at 1.04% of dry diet.

Key words: Gibel carp; Phenylalanine; Requirement