

文章编号: 1674-5566(2016)03-0388-08

DOI:10.12024/jsou.20150901545

## 草鱼鱼种对饲料中苯丙氨酸需求量的研究

孙丽慧<sup>1,2</sup>, 陈建明<sup>1,2</sup>, 潘 茜<sup>1,2</sup>, 沈斌乾<sup>1,2</sup>, 姜建湖<sup>1,2</sup>, 黄爱霞<sup>1,2</sup>

(1. 浙江省淡水水产研究所 农业部淡水渔业健康养殖实验室, 浙江 湖州 313001; 2. 浙江省淡水水产研究所 浙江省鱼类健康与营养重点实验室, 浙江 湖州 313001)

**摘 要:** 为了研究草鱼鱼种对饲料中苯丙氨酸的需求量, 用 7 组等氮精制饲料[苯丙氨酸水平为 8.2~21.2 g/(kg 干饲料)]饲喂初始体质量为 13.21 g 的草鱼鱼种 56 d。结果表明, 鱼体增重率、饲料效率和蛋白质积累率随饲料苯丙氨酸水平从 8.2 g/kg 提高到 12 g/kg 而显著升高, 但继续升高则不再有显著变化; 饲料苯丙氨酸水平对草鱼全鱼粗蛋白质影响显著( $P < 0.05$ ), 但对草鱼鱼种成活率、脏体比、肝体比和肥满度无显著影响( $P > 0.05$ )。分别以鱼体增重率、饲料效率和蛋白质积累率为指标, 用折线回归模型分析, 求得草鱼鱼种对饲料苯丙氨酸的需求量分别为 12.73、12.20 和 12.55 g/(kg 干饲料)。因此草鱼鱼种对饲料苯丙氨酸适宜需求量为 12.20~12.73 g/(kg 干饲料), 饲料酪氨酸水平约 5.5 g/(kg 干饲料), 占饲料粗蛋白的 3.39%~3.54%。

**关键词:** 草鱼; 苯丙氨酸需求量; 鱼体增重率; 饲料效率; 蛋白质积累率

**中图分类号:** S 963

**文献标志码:** A

鱼类的必需氨基酸有 10 种, 苯丙氨酸是其中之一<sup>[1]</sup>, 它在鱼体内可直接参与蛋白质的合成, 饲料中苯丙氨酸缺乏可引起实验鱼体蛋白质合成下降, 表现为蛋白质沉积和体蛋白含量下降, 添加苯丙氨酸后则明显改善上述状况。而饲料中苯丙氨酸过量对鱼类生长的影响存在明显的种间差异, 主要表现为对鱼体生长产生抑制作用和对鱼体生长无显著性影响两类<sup>[2]</sup>。除直接参与鱼体蛋白质合成外, 苯丙氨酸还可在苯丙氨酸羟化酶作用下转变成酪氨酸, 发挥其生理功能。酪氨酸除作为鱼类体蛋白质合成原料外, 还可在蛋白质中作为磷酸基团受体, 在受体酪氨酸动力酶作用下, 其羟基与经转运的磷酸基团结合, 实现磷酸化, 使体内蛋白质活性变化<sup>[3]</sup>。同时, 酪氨酸还是鱼类体内生成甲肾上腺素、儿茶酚胺、去甲肾上腺素、肾上腺素及多巴胺等激素或神经递质的前体, 对调节生长和其他生命活动有着重要的作用<sup>[1]</sup>。另有研究表明鱼类对苯丙氨酸的需求可部分被酪氨酸所替代, 即酪氨酸对

苯丙氨酸有节约作用<sup>[2]</sup>。

草鱼(*Ctenopharyngodon idellus Valenciennes*)是传统的淡水“四大家鱼”之一, 是我国养殖产量较高的淡水养殖品种, 对其营养需求的研究较多<sup>[4-11]</sup>, 其研究成果对草鱼配合饲料的开发和应用起到了极大的推进作用。但对其必需氨基酸需求的研究尚不完善, 仅见精氨酸<sup>[8]</sup>、赖氨酸<sup>[9]</sup>、苏氨酸<sup>[10]</sup>和异亮氨酸<sup>[11]</sup>等需求量的报道。本实验是通过在一定酪氨酸水平下探讨不同苯丙氨酸水平对草鱼鱼种生长、饲料利用等指标的影响, 从而得出其适宜的苯丙氨酸需求量, 为开发氨基酸平衡的草鱼高效配合饲料提供科学依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验鱼

实验鱼为浙江省淡水水产研究所实验基地同塘培育的当年鱼种。选取体质健壮、规格整齐的个体, 放入已经编号的水族箱中, 用实验基础饲料驯养 1 周, 待实验鱼均能较好摄食后, 进行

收稿日期: 2015-09-07 修回日期: 2015-12-09

基金项目: 国家大宗淡水鱼产业技术体系(CARS-46-21)

作者简介: 孙丽慧(1984—), 女, 硕士, 研究方向为水产动物营养与饲料科学。E-mail: miduo1984422@126.com

通信作者: 陈建明, E-mail: aqua\_labjm@163.com

正式实验。实验鱼共 420 尾,随机分成 7 组,每组 3 重复,每个重复放鱼 20 尾。每组实验鱼的初始体质量为 13.21 g。

## 1.2 实验饲料

实验饲料以酪蛋白、明胶和晶体氨基酸混合物为蛋白源,氨基酸模式与测定的实验草鱼全鱼总氨基酸为 36% 的氨基酸模式一致(苯丙氨酸、天冬氨酸和谷氨酸除外),用晶体苯丙氨酸调节饲料苯丙氨酸水平,用天冬氨酸和谷氨酸(1:1)调整百分比。实验饲料设计配方的原料组成及

营养水平见表 1,苯丙氨酸实测水平分别为 0.82%、1.06%、1.20%、1.42%、1.63%、1.88% 和 2.12% (占饲料的质量分数)。实验饲料制作时,先将原料粉碎,并过 60 目筛,所有晶体氨基酸用羧甲基纤维素钠包膜后<sup>[8]</sup>,再与其他原料混合,搅拌均匀后,用绞肉机挤压成型,制成直径 0.20 cm、长度 0.30 cm 的硬颗粒饲料,于 50 °C 烘干,冷却后入塑料袋包装,置于 4 °C 冰箱冷藏备用。实验饲料必需氨基酸组成见表 2。

表 1 实验饲料组成及营养水平(干物质基础)

Tab.1 Composition and nutrient levels of the experimental diet (DM basis)

g/kg

项目 items	饲料 diets						
	1	2	3	4	5	6	7
原料 ingredients							
苯丙氨酸 Phenylalanine	0	2.5	5	7.5	10	12.5	15
天冬氨酸 Aspartic acid	33.2	31.95	30.7	29.45	28.2	26.95	25.7
谷氨酸 Glutamic acid	33.2	31.95	30.7	29.45	28.2	26.95	25.7
氨基酸混合物 amino acid mixture <sup>1</sup>	139.1	139.1	139.1	139.1	139.1	139.1	139.1
酪蛋白 Casein	100	100	100	100	100	100	100
明胶 gelatin	50	50	50	50	50	50	50
糊精 dextrin	429.5	429.5	429.5	429.5	429.5	429.5	429.5
纤维素 cellulose	70	70	70	70	70	70	70
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	20	20	20	20	20	20	20
多矿 mineral mixture <sup>2</sup>	30	30	30	30	30	30	30
多维 Vitamin mixture <sup>3</sup>	10	10	10	10	10	10	10
氯化胆碱 Choline chloride	5	5	5	5	5	5	5
鱼油 fish oil	20	20	20	20	20	20	20
玉米油 corn oil	20	20	20	20	20	20	20
羧甲基纤维素 Carboxymethylcellulose sodium	40	40	40	40	40	40	40
合计 total	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
营养水平 nutrient levels							
粗蛋白质 CP	354.9	358.8	362.8	358.5	367.4	355.0	361.3
粗脂肪 EE	37.5	34.9	39.8	39.2	42.7	43.1	41.5
粗灰分 ash	43.8	46.4	51.0	51.4	46.8	44.8	44.4
碳水化合物 Carbohydrate	563.8	559.8	556.4	550.8	543.2	557.1	552.8
苯丙氨酸 Phenylalanine	8.2	10.6	12.0	14.2	16.3	18.8	21.2
酪氨酸 Tyrosine	5.4	5.5	5.4	5.2	5.4	5.3	5.5

注:1. 氨基酸混合物为每千克饲料提供 Amino acid mixture provided the following per kg of diets: 甲硫氨酸 Met 7.4 g, 苏氨酸 Thr 10.9 g, 赖氨酸 Lys 19.5 g, 精氨酸 Arg 14.9 g, 组氨酸 His 6.3 g, 缬氨酸 Val 9.8 g, 异亮氨酸 Ile 9.3 g, 亮氨酸 Leu 17.2 g, 色氨酸 Trp 3.0 g, 甘氨酸 Gly 12.4 g, 丙氨酸 Ala 16.3 g, 丝氨酸 Ser 8.4 g, 胱氨酸 Cys 3.7 g, 脯氨酸 Pro 0 g, 合计 total 139.1 g。2. 多矿为每千克饲料提供 Mineral mixture provided the following per kg of diets: 硫酸亚铁 FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 750 mg, 硫酸铜 CuSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 15 mg, 硫酸锌 ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 500 mg, 硫酸锰 MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 25 mg, 氯化钠 NaCl 1.5 g, 硫酸镁 MgSO<sub>4</sub> 2 g, 碘化钾 KI 2.5 mg, 亚硒酸钠 Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 0.25 mg, 氯化钴 CoCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O 25 mg, 沸石粉 zeolite 10 g, 微晶纤维素 Cellulose 15.18 g, 合计 Total 30 g。3. 多维可为每千克饲料提供 The vitamin premix provided the following per kg of the diet: V<sub>A</sub> 17 mg, V<sub>D3</sub> 5 mg, α-生育酚醋酸盐 α-tocopheryl acetate 270 mg, V<sub>B6</sub> 89 mg, V<sub>B2</sub> 30 mg, 泛酸 pantothenic acid 200 mg, 烟酸 nicotinic acid 7.2 mg, V<sub>K</sub> 40 mg, 叶酸 folic acid 2.2 mg, V<sub>B1</sub> 23 mg, V<sub>C</sub> 500 mg, 肌醇 inositol 4 000 mg, V<sub>B12</sub> 0.2 mg, D-生物素 D-biotin 2.4 mg, α-纤维素 α-cellulose 4725 mg。

表 2 实验饲料的必需氨基酸组成(干物质基础)

Tab. 2 Essential amino acid composition of the experimental diet (DM basis)

项目 items	饲料 diets						
	1	2	3	4	5	6	7
精氨酸 Arg	1.98	1.99	1.99	2.02	2.04	1.99	1.99
组氨酸 His	0.85	0.85	0.85	0.86	0.85	0.85	0.86
异亮氨酸 Ile	1.45	1.47	1.45	1.42	1.47	1.46	1.42
亮氨酸 Leu	2.92	2.92	2.87	2.89	2.95	2.91	2.89
赖氨酸 Lys	2.29	2.30	2.32	2.30	2.34	2.29	2.30
蛋氨酸 Met	0.80	0.80	0.78	0.80	0.81	0.81	0.79
苯丙氨酸 Phe	0.82	1.06	1.20	1.42	1.63	1.88	2.12
苏氨酸 Thr	1.47	1.47	1.45	1.46	1.49	1.46	1.45
色氨酸* Trp	-	-	-	-	-	-	-
缬氨酸 Val	1.63	1.63	1.60	1.60	1.65	1.61	1.62
酪氨酸* Tyr	0.54	0.55	0.54	0.56	0.54	0.55	0.56
胱氨酸* Cys	0.41	0.42	0.41	0.42	0.41	0.42	0.40

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.

### 1.3 饲养条件

实验在浙江省淡水水产研究所实验基地进行。养殖系统为室内玻璃缸循环水养殖系统,水族箱养殖水体为 0.8 m × 0.5 m × 0.4 m,每个缸内配有生物过滤装置和气石。实验用水为经过充分曝气的自来水,日换水量为总水体的一倍,连续充气。投饲方法采用饱食投喂,08:00、12:00 和 16:00 各投喂一次。实验期间,水温 25 ~ 30 °C, pH 7.4 ~ 8.0, 溶氧 > 5.0 mg/L, 氨氮 0.14 ~ 0.20 mg/L, 亚硝酸盐 0.02 ~ 0.05 mg/L。实验期间每天记录投饲量。

### 1.4 取样及分析

实验开始前随机取鱼作为初始鱼样。饲养实验结束后,对实验鱼停饲 24 h 后计数并称重;每缸随机取鱼 10 尾为一混合样,用于测定实验鱼的全鱼组成;另取 5 尾鱼称量全长和体质量,于冰盘上解剖取内脏和肝脏称重。

水分、粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分的测定参照 AOAC 的方法<sup>[12]</sup>:水分测定采用失重法在 105 °C 烘干至恒重;粗蛋白质测定采用凯氏定氮法;粗脂肪测定采用索氏抽提法;粗灰分测定采用马福炉 550 °C 焚烧法。每个样品测定 2 个平行样。

### 1.5 计算公式

实验鱼的增重率(weight gain rate, WGR)、饲料效率(feed efficiency, FE)、成活率(survival rate, SR)、蛋白质积累率(protein retention efficiency, PRE)、脏器比(viscera index, VSI)、肝体比(hepatosomatic index, HSI)和肥满度

(condition factor, CF)计算公式如下:

$$W_{GR}(\%) = 100 \times (W_t - W_o) / W_o \quad (1)$$

式中: $W_{GR}$ 为增重率; $W_t$ 为草鱼终末体质量(g); $W_o$ 为草鱼初始体质量(g)。

$$F_E = (W_t - W_o) / W_f \quad (2)$$

式中: $F_E$ 为饲料效率; $W_t$ 为草鱼终末体质量(g); $W_o$ 为草鱼初始体质量(g); $W_f$ 为摄食饲料干质量(g)。

$$S_R(\%) = 100 \times (N_t / N_o) \quad (3)$$

式中: $S_R$ 为成活率; $N_t$ 为每缸鱼剩余条数; $N_o$ 为每缸鱼最初条数。

$$P_{RE}(\%) = 100 \times (P_t / P_f) \quad (4)$$

式中: $P_{RE}$ 为蛋白质积累率; $P_t$ 为鱼体蛋白质积累量(g); $P_f$ 为蛋白质摄入量(g)。

$$V_{SI}(\%) = 100 \times (W_v / W_b) \quad (5)$$

式中: $V_{SI}$ 为脏器比; $W_v$ 为内脏质量(g); $W_b$ 为鱼体质量(g)。

$$H_{SI}(\%) = 100 \times (W_h / W_b) \quad (6)$$

式中: $H_{SI}$ 为肝体比; $W_h$ 为肝脏质量(g); $W_b$ 为鱼体质量(g)。

$$C_F(\%) = 100 \times (W_b / L^3) \quad (7)$$

式中: $C_F$ 为肥满度; $W_b$ 为鱼体质量(g); $L$ 为体长(cm)。

### 1.6 数据处理及统计分析

实验数据采用平均数 ± SD 表示,采用 SPSS 11.5 for Windows 软件(one-way ANOVA)对所得实验数据进行单因素方差分析,若有显著差异再做 SNK 多重比较确定组间差异性。显著水平  $P$

采用 0.05,若  $P < 0.05$  为差异显著。采用折线回归分析模型<sup>[13]</sup>来分别拟合鱼体增重率、饲料效率及蛋白质积累率与苯丙氨酸水平之间的关系,求得草鱼鱼种苯丙氨酸的需求量。

## 2 结果

### 2.1 草鱼鱼种生长情况

饲料苯丙氨酸水平对鱼体增重率、饲料效率和蛋白质积累率有显著影响( $P < 0.05$ )。鱼体增重率、饲料效率和蛋白质积累率随饲料苯丙氨酸水平从 8.2 提高到 12 g/(kg 干饲料)而显著升高,但继续升高则不再有显著变化。饲料苯丙氨

酸水平对成活率、脏体比、肝体比和肥满度无显著影响( $P > 0.05$ ),见表 3。

### 2.2 草鱼鱼种对饲料苯丙氨酸需求量

饲料酪氨酸水平约 5.5 g/(kg 干饲料)时,以鱼体增重率为指标,经折线模型回归分析,求得草鱼鱼种对饲料苯丙氨酸的需求量为 12.73 g/(kg 干饲料),见图 1;用饲料效率为指标,经折线模型回归分析,求得草鱼鱼种对饲料苯丙氨酸需求量为 12.20 g/(kg 干饲料),见图 2;以蛋白质积累率为指标,经折线模型回归分析,求得草鱼鱼种对饲料苯丙氨酸需求量为 12.55 g/(kg 干饲料),见图 3。

表 3 饲料苯丙氨酸水平对草鱼鱼种生长和饲料利用的影响

Tab.3 Effects of dietary phenylalanine level on growth performance of grass carp

饲料苯丙氨酸水平/(g/kg) dietary phenylalanine levels	鱼体初质量/g IBW	增重率/% WGR	饲料效率 FE	成活率/% $S_R$	蛋白质积累率/% PRE	脏体比/% VSI	肝体比/% HSI	肥满度/% CF
8.2	13.20 ± 0.40	105.96 ± 4.35 <sup>c</sup>	0.49 ± 0.01 <sup>c</sup>	95.00 ± 5.00	19.42 ± 0.53 <sup>c</sup>	8.04 ± 0.98	1.97 ± 0.13	1.97 ± 0.11
10.6	13.13 ± 0.11	132.91 ± 4.21 <sup>b</sup>	0.54 ± 0.01 <sup>b</sup>	90.00 ± 10.00	21.83 ± 0.21 <sup>b</sup>	9.82 ± 0.91	2.08 ± 0.11	1.94 ± 0.13
12.0	13.27 ± 0.40	179.98 ± 5.75 <sup>a</sup>	0.66 ± 0.01 <sup>a</sup>	93.33 ± 5.77	26.89 ± 0.35 <sup>a</sup>	9.04 ± 0.62	2.09 ± 0.15	1.98 ± 0.04
14.2	13.23 ± 0.06	187.04 ± 4.57 <sup>a</sup>	0.65 ± 0.01 <sup>a</sup>	86.67 ± 7.64	26.98 ± 0.33 <sup>a</sup>	8.42 ± 0.18	2.01 ± 0.15	2.00 ± 0.02
16.3	13.26 ± 0.21	178.57 ± 3.58 <sup>a</sup>	0.64 ± 0.01 <sup>a</sup>	90.00 ± 10.00	27.02 ± 0.43 <sup>a</sup>	8.48 ± 0.76	1.97 ± 0.08	1.99 ± 0.14
18.8	13.19 ± 0.00	180.95 ± 7.34 <sup>a</sup>	0.64 ± 0.02 <sup>a</sup>	88.33 ± 2.87	27.17 ± 1.07 <sup>a</sup>	8.44 ± 0.47	2.25 ± 0.17	1.87 ± 0.04
21.2	13.16 ± 0.15	178.51 ± 5.85 <sup>a</sup>	0.63 ± 0.01 <sup>a</sup>	86.67 ± 7.64	27.26 ± 0.39 <sup>a</sup>	9.06 ± 0.40	2.04 ± 0.07	1.86 ± 0.07

注:同列无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著( $P > 0.05$ ),不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下表同。

Note: In the same column, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ( $P > 0.05$ ), while different letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ). The same as following.

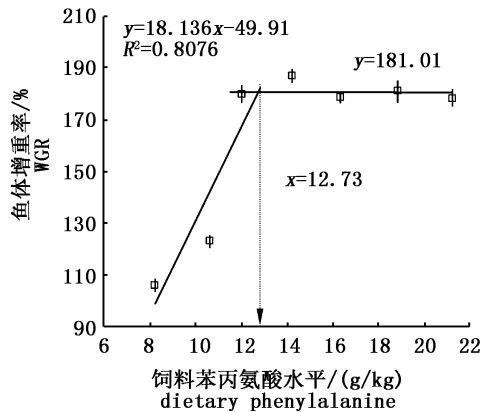


图 1 饲料中苯丙氨酸水平对草鱼鱼种增重率的影响  
Fig.1 Effect of dietary phenylalanine on WGR of juvenile grass carp

续升高则不再有显著变化。饲料苯丙氨酸水平对全鱼水分、粗脂肪和粗灰分无显著影响( $P > 0.05$ )。

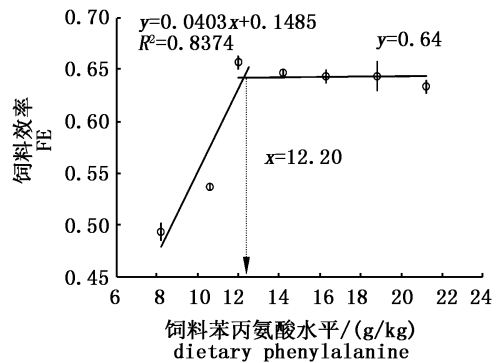


图 2 饲料中苯丙氨酸水平对草鱼鱼种饲料效率的影响  
Fig.2 Effect of dietary phenylalanine on FE of juvenile grass carp

### 2.3 草鱼鱼种全鱼体组成

草鱼鱼种全鱼粗蛋白质随饲料苯丙氨酸水平从 8.2 g/kg 提高到 12 g/kg 而不断升高,但继

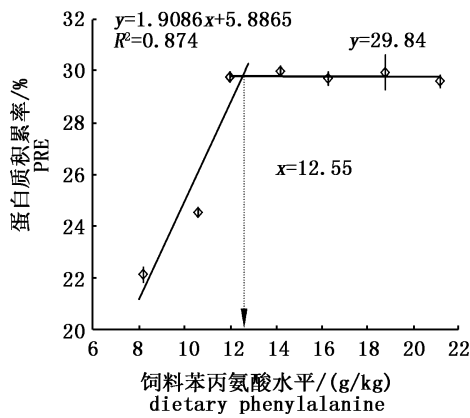


图3 饲料中苯丙氨酸水平对草鱼鱼种蛋白质积累率的影响

Fig. 3 Effect of dietary phenylalanine on PRE of juvenile grass carp

### 3 讨论

#### 3.1 饲料中苯丙氨酸水平对草鱼鱼种生长、饲料利用和蛋白质积累率的影响

苯丙氨酸作为一种必需氨基酸,在促进水生动物的生长和蛋白质代谢中发挥着重要的作用<sup>[14]</sup>。本实验结果表明,饲料中苯丙氨酸含量低于12 g/(kg 干饲料)时(饲料1和饲料2),随着饲料中苯丙氨酸含量的降低,草鱼鱼种的生长不断减慢,饲料效率不断降低,而且鱼体蛋白质积累率和实验结束时鱼体粗蛋白质含量均呈显著下降。其原因可能是当草鱼鱼种摄食苯丙氨酸含量不足的饲料后,因必需氨基酸不平衡,一方面限制了利用氨基酸合成体蛋白质,另一方面造成体内有过多的氨基酸被分解,使鱼体因排出多余的氨而额外消耗能量,从而影响了草鱼的生长和饲料的利用。而当饲料中苯丙氨酸的含量达到一定量时,鱼的生长和饲料效率达到最佳,而且进一步提高饲料中苯丙氨酸含量,则不再有显著变化。同时饲料中苯丙氨酸在该范围中变化,鱼体蛋白质积累率和实验结束时鱼体粗蛋白质含量也均不再显著变化,表明此时饲料苯丙氨酸水平能满足草鱼正常生长需要,当饲料苯丙氨酸水平超过最低需要量后,虽然必需氨基酸平衡被再次打破,但饲料氨基酸总量保持不变,不会给鱼体造成负影响。该结果与对银鲈(*Bidyanus bidyanus* Mitchell)<sup>[15]</sup>、遮目鱼(*Chanos chanos* Forsskal)<sup>[16]</sup>、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*

Walbaum)<sup>[17]</sup>和大磷大马哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha* Walbaum)<sup>[18]</sup>等研究结果相似。但也有研究因实验鱼的种类、实验剂量及饲料酪氨酸水平等条件不同而得到的结果与此并不完全一致。对印鲢(*Cirrhinus mrigala* Hamilton)<sup>[19]</sup>的研究表明,当饲料苯丙氨酸水平超过最低需要量的一定范围时,鱼体的生长不受影响,但饲料苯丙氨酸水平继续升高,鱼体的生长、饲料效率及蛋白效率均显著下降;而对喀拉鲃(*Catla catla* Hamilton)<sup>[20]</sup>和南亚野鲮(*Labeo rohita* Hamilton)<sup>[21]</sup>的研究中则发现,当饲料苯丙氨酸水平超过最低需要量后,鱼体生长、饲料效率和蛋白效率均出现下降。因此这些研究认为饲料中过高剂量的苯丙氨酸可能导致其在体内积累而产生毒性,对鱼类生长有一定的负面作用,但引起这种负面作用的机理尚有待深入研究加以明晰。

#### 3.2 草鱼鱼种对苯丙氨酸的需要量

鱼类对苯丙氨酸需要量主要根据生长实验出现的剂量-生长效应,采用不同数学模型进行回归分析加以确定<sup>[1]</sup>。已有报道所采用的数学回归模型主要有折线模型(Broken-line regression)或二次曲线模型(Quadratic regression)。本实验采用增重率作为效应指标,用折线回归模型,得出草鱼鱼种对饲料苯丙氨酸的需求量为12.73 g/(kg 干饲料)。在研究鱼类苯丙氨酸的需求量时,除用生长指标作为确定需求量依据外,许多研究还用其他的一些指标加以验证,发现饲料效率、蛋白质效率、蛋白质积累率、苯丙氨酸积累率和RNA/DNA也是非常好的有效指标<sup>[19-20, 22]</sup>。本实验分别采用饲料效率和蛋白质积累率作为效应指标得出的草鱼鱼种苯丙氨酸需求量为12.20 g/kg和12.55 g/kg,与用生长指标得出的需求量比较相近,表明饲料效率和蛋白质积累率作为确定苯丙氨酸需求量验证指标也是有效的。因此草鱼鱼种对饲料苯丙氨酸适宜需求量为12.20~12.73 g/(kg 干饲料),饲料酪氨酸水平约5.5 g/(kg 干饲料),占饲料粗蛋白的3.39%~3.54%。这一结果高于团头鲂<sup>[22]</sup>的2.74%~2.97%饲料蛋白,低于喀拉鲃16.9 g/(kg 干饲料)<sup>[20]</sup>,造成这种差异的原因可能是实验动物及条件的不同。

另外,已有研究证明鱼类饲料中酪氨酸可节约部分苯丙氨酸,而酪氨酸对苯丙氨酸的等效替

代值因鱼的种类不同而略有差异。如鲤鱼 (*Crprinus carpio* Linnaeus) 为 60%<sup>[14]</sup>、虹鳟为 48%<sup>[17]</sup>、印鲮为 36%<sup>[19]</sup>、喀拉鲃为 37%<sup>[20]</sup>、遮目鱼为 46%<sup>[23]</sup>、斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus* Rafinesque) 为 50%<sup>[24]</sup>。本实验中草鱼对饲料苯丙氨酸需求量是在饲料酪氨酸水平固定 [5.5 g/(kg 干饲料)] 的情况下求得,今后有必要进一步研究确定饲料中酪氨酸对苯丙氨酸的节约作用。

### 3.3 饲料中苯丙氨酸水平对草鱼鱼种全鱼体组成的影响

国内外关于饲料苯丙氨酸水平对鱼体组成的影响已有一些报道。REN 等<sup>[22]</sup>用含不同水平苯丙氨酸(0.57%~2.04%)的饲料饲养团头鲂 (*Megalobrama amblycephala* Yih) 9 周后发现,饲料苯丙氨酸水平对鱼体水分、粗蛋白质和粗脂肪

均有显著影响,但不影响粗灰分含量。AHMED 等<sup>[19]</sup>、ZEHRA 等<sup>[20]</sup>和 KHAN 等<sup>[21]</sup>发现饲料苯丙氨酸水平对印鲮、喀拉鲃和南亚野鲮(初始体质量约 0.6 g) 的鱼体水分、粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分均有显著影响(表 4)。KIM<sup>[17]</sup>发现饲料苯丙氨酸水平对虹鳟全鱼粗蛋白质和粗脂肪影响显著。而马志英等<sup>[25]</sup>研究则认为,饲料苯丙氨酸水平对异育银鲫 (*Carassius auratus gibelio* Bloch) 的全鱼水分、粗蛋白质、粗脂肪均无显著影响。本研究中饲料苯丙氨酸水平仅对草鱼全鱼粗蛋白质含量有显著影响,而对全鱼水分、粗脂肪和粗灰分均无显著影响。不同研究者得到的结果并不相同。其原因除与鱼的种类不同有关外,还可能与实验鱼生长阶段、生长速度、实验剂量范围等因素存在差异有关。

表 4 草鱼鱼种全鱼生化组成

Tab. 4 Whole fish composition of grass carp

饲料苯丙氨酸水平/(g/kg) dietary phenylalanine levels	水分/% moisture	粗蛋白质/% CP	粗脂肪/% EE	粗灰分/% ash
初始鱼 initial fish	80.25	13.70	3.51	2.5
8.2	73.59 ± 1.62	13.83 ± 0.05 <sup>a</sup>	9.78 ± 0.99	2.86 ± 0.07
10.6	74.04 ± 2.01	14.25 ± 0.25 <sup>b</sup>	10.27 ± 2.22	2.95 ± 0.06
12.0	73.61 ± 0.95	14.48 ± 0.08 <sup>bc</sup>	9.38 ± 0.93	2.95 ± 0.03
14.2	73.77 ± 1.45	14.61 ± 0.30 <sup>c</sup>	8.49 ± 1.27	2.95 ± 0.09
16.3	73.79 ± 0.19	14.80 ± 0.08 <sup>c</sup>	8.58 ± 0.77	2.90 ± 0.06
18.8	73.06 ± 0.45	14.55 ± 0.22 <sup>bc</sup>	9.19 ± 0.33	2.93 ± 0.06
21.2	72.25 ± 1.03	14.75 ± 0.12 <sup>c</sup>	9.69 ± 1.12	2.88 ± 0.14

## 4 结论

本实验条件下,在饲料酪氨酸水平为 5.5 g/(kg 干饲料)时,以鱼体增重率、饲料效率和蛋白质积累率为指标,求得草鱼鱼种对饲料苯丙氨酸需求量为 12.20~12.73 g/(kg 干饲料),占饲料粗蛋白的 3.39%~3.54%。

### 参考文献:

- [1] NRC. Nutrient requirements of fish and Shrimp[M]. Washington, DC, USA: National Academy Press, 2011.
- [2] 何志刚, 麦康森, 艾庆辉. 鱼类苯丙氨酸营养生理研究进展[J]. 中国饲料, 2012(5): 36-38.  
HE Z G, MAI K S, AI Q H. Recent advance of phenylalanine on main physiological function, requirement for fish[J]. China Feed, 2012(5): 36-38.
- [3] COWEY C B, WALTON M J. Intermediary metabolism[M]// HALVER J E. Fish nutrition. 2nd ed. New York: Academic Press, 1989.
- [4] 廖朝兴, 黄忠志. 草鱼种在不向生长阶段对饲料蛋白质需要的研究[J]. 淡水渔业, 1987, 17(1): 1-5.  
LIAO C X, HUANG Z Z. Protein requirements of grass fry at different growth stages[J]. Freshwater Fisheries, 1987, 17(1): 1-5.
- [5] 赵库, 杨春富. 饲料蛋白质含量及颗粒大小对草鱼种生长的影响[J]. 淡水渔业, 2000, 30(6): 31-33.  
ZHAO K, YANG C F. Effect of protein content and grain size of feed on growth of grass carp fingerling[J]. Freshwater Fisheries, 2000, 30(6): 31-33.
- [6] 曹俊明, 关国强, 刘永坚, 等. 饲料蛋白质、脂肪、碳水化合物水平对草鱼生长和组织营养成分组成的影响[J]. 水产科技情报, 1997, 24(2): 56-60.  
CAO J M, GUAN G Q, LIU Y J, et al. Effects of different dietary levels of protein, fat and carbohydrate on growth rate and tissue nutritional composition in grass carp[J]. Fisheries Science & Technology Information, 1997, 24(2): 56-60.

- [7] 曹俊明, 田丽霞, 陈竹, 等. 饲料中不同脂肪酸对草鱼生长和组织营养成分组成的影响[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 1996, 24(S): 149-154.  
CAO J M, TIAN L X, CHEN Z, et al. Effect of dietary fatty acids on growth and tissue chemical composition of grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science), 1996, 24(S): 149-154.
- [8] GAO Y J, YANG H J, GUO D Q, et al. Dietary arginine requirement of juvenile grass carp *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes in Cuvier & Valenciennes, 1844) [J]. Aquaculture Research, 2015, 46(12): 3070-3078, doi: 10.1111/are.12469.
- [9] WANG S, LIU Y J, TIAN L X, et al. Quantitative dietary lysine requirement of juvenile grass carp *Ctenopharyngodon idella*[J]. Aquaculture, 2005, 249(1/4): 419-429.
- [10] 文华, 高文, 罗莉, 等. 草鱼幼鱼的饲料苏氨酸需要量[J]. 水产科学, 2009, 16(2): 238-247.  
WEN H, GAO W, LUO L, et al. Determination of dietary threonine requirement for juvenile grass carp, *Ctenopharyngodon idella*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(2): 238-247.
- [11] 尚晓迪, 罗莉, 文华, 等. 草鱼幼鱼对异亮氨酸的需要量[J]. 水产学报, 2009, 33(5): 813-822.  
SHANG X D, LUO L, WEN H, et al. Study on isoleucine requirement for juvenile grass carp, *Ctenopharyngodon idellus* [J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(5): 813-822.
- [12] AOAC. Official methods of analysis[M]. 15th ed. Arlington: Association of Official Agricultural Chemists, 2001: 98, 450, 606, 589.
- [13] ZEITOUN I H, ULLREY D E, MAGEE W T, et al. Quantifying nutrient requirements of fish [J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1976, 33(1): 167-172.
- [14] NOSE T. Summary report on the requirements of essential amino acids for carp [M]//HALVER J E, TIEWS K. Finfish nutrition and fish feed technology. Berlin, Germany: Heenemann GmbH, 1979: 145-156.
- [15] NGAMSNAE P, DE SILVA S S, GUNASEKERA. 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(3): 173-180.
- [16] BORLONGAN I G. Dietary requirement of milkfish (*Chanos chanos* Forsskal) juveniles for total aromatic amino acids[J]. Aquaculture, 1992, 102(4): 309-317.
- [17] KIM K I. Requirement for phenylalanine and replacement value of tyrosine for phenylalanine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 1993, 113(3): 243-250.
- [18] CHANCE R E, MERTZ E T, HALVER J E. Nutrition of salmonoid fishes: XIII. Isoleucine, leucine, valine and phenylalanine requirements of chinook salmon and interrelations between isoleucine and leucine for growth [J]. The Journal of Nutrition, 1964, 83(3): 177-185.
- [19] AHMED I. Dietary total aromatic amino acid requirement and tyrosine replacement value for phenylalanine in Indian major carp: *Cirrhinus mrigala* (Hamilton) fingerlings [J]. Journal of Applied Ichthyology, 2009, 25(6): 719-727.
- [20] ZEHRA S, KHAN M A. Dietary phenylalanine requirement and tyrosine replacement value for phenylalanine for fingerling *Catla catla* (Hamilton) [J]. Aquaculture, 2014, 433: 256-265.
- [21] 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.
- [22] REN M C, LIU B, HABTE-TSION H M, et al. Dietary phenylalanine requirement and tyrosine replacement value for phenylalanine of juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. Aquaculture, 2015, 422: 51-57.
- [23] BORLONGAN I G, COLOSO R M. Requirements of juvenile milkfish (*Chanos chanos* Forsskal) for essential amino acids [J]. The Journal of Nutrition, 1993, 123(1): 125-132.
- [24] 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]. The Journal of Nutrition, 1980, 110(9): 1805-1812.
- [25] 马志英, 朱晓鸣, 解绶启, 等. 异育银鲫幼鱼对饲料苯丙氨酸需求的研究 [J]. 水生生物学报, 2010, 34(5): 1012-1021.  
MA Z Y, ZHU X M, XIE S Q, et al. Dietary phenylalanine requirement of juvenile gibel carp [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2010, 34(5): 1012-1021.

## Dietary phenylalanine requirement for fingerling grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)

SUN Lihui<sup>1,2</sup>, CHEN Jianming<sup>1,2</sup>, PAN Qian<sup>1,2</sup>, SHEN Binqian<sup>1,2</sup>, JIANG Jianhu<sup>1,2</sup>, HUANG Aixia<sup>1,2</sup>

(1. Agriculture Ministry Key Laboratory of Healthy Freshwater Aquaculture, Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, Zhejiang, China; 2. Key Laboratory of Fish Health and Nutrition of Zhejiang Province, Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, Zhejiang, China)

**Abstract:** A feeding experiment was conducted to assess the dietary phenylalanine requirement for fingerling grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). Seven isonitrogenous diets with graded levels of phenylalanine ranging from 0.82% to 2.12% (% Dry matter) were fed to triplicate groups of fish with an average initial body weight of 13.21g for 56 days, respectively. The results show that weight gain rate, feed efficiency and protein retention efficiency increased with increasing of dietary phenylalanine level from 8.2 g/kg to 12.0 g/kg, but appeared to keep stable with further increasing to 21.2 g/kg. And whole fish body protein was affected significantly by dietary phenylalanine level ( $P < 0.05$ ). However, fish survival rate, viscerasomatic index, hepatosomatic index, condition factor and whole fish body moisture, lipid and ash were not affected significantly by dietary phenylalanine level ( $P > 0.05$ ). The broken-line regression analysis with weight gain, feed efficiency and protein retention efficiency as the criteria indicated that the requirements of dietary phenylalanine for fingerling grass carp were 12.73 g/kg, 12.20 g/kg and 12.55 g/kg of dry diet respectively. In conclusion, the dietary phenylalanine requirement for fingerling grass carp was estimated to be 12.20 – 12.73 g/kg dry diet (with 5.5 g/kg tyrosine in diet), and 3.39% – 3.54% of the dietary crude protein.

**Key words:** *Ctenopharyngodon idella*; phenylalanine requirement; weight gain rate; feed efficiency; protein retention efficiency