

## 日粮中添加鱼溶浆粉和鱼油对草鱼生长、 肝脏脂肪含量和血清理化指标的影响

罗其刚<sup>1</sup>, 叶元土<sup>1\*</sup>, 蔡春芳<sup>1</sup>, 吴 萍<sup>1</sup>, 周亚琴<sup>1</sup>,  
林秀秀<sup>1</sup>, 朱健明<sup>1</sup>, 陈科全<sup>1</sup>, 彭 侃<sup>1</sup>, 张宝彤<sup>2</sup>, 萧培珍<sup>2</sup>

(1. 苏州大学基础医学与生物科学学院, 江苏省水产动物营养重点实验室, 江苏 苏州 215123;

2. 北京营养源研究所水产动物系统营养研究开放实验室, 北京 100069)

**摘要:** 本实验探讨以猪肉粉为动物蛋白源的草鱼日粮中添加鱼溶浆粉和鱼油以补充鱼类所需的部分生长因子, 对草鱼生长、肝脏脂肪含量和血清理化指标的影响, 以期达到节约鱼粉的目的。在实用配方模式下, 设计 6 种等氮等能饲料, 分别是添加 6% 猪肉粉 (6P)、3% 猪肉粉 + 3% 鱼溶浆粉 (3P3SW)、6% 鱼溶浆粉 (6SW)、3% 猪肉粉 + 3% 鱼溶浆粉 + 2% 鱼油 (3P3SW2O)、6% 鱼溶浆粉 + 2% 鱼油 (6SW2O) 和 6% 鱼粉 (6F, 对照)。在池塘网箱中饲喂 (80.0 ± 2.0)g 的草鱼 72 d。结果表明, 6P 和 6F 在 SGR、FCR、PRR、ERR 和 HSI 方面均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。添加鱼溶浆粉后, 3P3SW、6SW 与 6F 相比, SGR 提高了 9.1% ~ 9.6%, FCR 下降了 8.5% ~ 11.2%, 差异显著 ( $P < 0.05$ ), 但 3P3SW 和 6SW 无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 同时, 在 PRR、FRR 和 ERR 方面, 3P3SW、6SW 均有一定程度提高。添加鱼油后, 3P3SW2O、6SW2O 和 3P3SW、6SW 比, SGR 分别下降了 9.7%、15.4%, FCR 分别上升了 6.9%、31.1%, 除 3P3SW2O 和 3P3SW 的 FCR 之外, 其余差异显著 ( $P < 0.05$ ); 在 PRR 和 ERR 方面, 3P3SW2O、6SW2O 均有一定程度下降; 同时, 3P3SW2O、6SW2O 的 FRR 和肝脏粗脂肪含量都出现不同程度增高, HSI 增大, 血清 TBA、CHOL、HDL 和 LDL 与肝脏粗脂肪呈现出相同趋势, 且上述指标均是 6SW2O 组最高, 与其余各组均存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。此外, 在对饲料中游离氨基酸和生物胺与 FCR 和 SGR 的相关性分析中, 发现游离 Lys、Tau 和 Put 与 FCR 和 SGR 的 Pearson 相关系数都大于 0.8, 且符合二次函数关系。因此, 鱼溶浆粉对草鱼的促生长作用优于鱼粉, 在无鱼粉日粮中添加少量的鱼溶浆粉能满足草鱼需求, 节约鱼粉用量, 这种促生长作用与饲料中游离 Lys、Tau 和 Put 的关系密切; 由于鱼油促使脂肪在体内和肝脏沉积, 加重肝脏脂质代谢负担, 加上其易氧化变质特性, 限制了它在水产饲料中的使用。

**关键词:** 草鱼; 鱼溶浆粉; 鱼油; 生长; 肝脏; 游离氨基酸; 生物胺

**中图分类号:** S 963.32

**文献标志码:** A

鱼溶浆粉是原料鱼经高温蒸煮、压榨后的鱼汁, 通过脱脂、浓缩、烘干所得产品<sup>[1]</sup>。鱼溶浆粉中含有较多的寡肽、游离氨基酸、核苷酸、维生素 A、未知生长因子等<sup>[2-3]</sup>; 但同时鱼溶浆粉也含有较多的水溶性抗营养因子, 如挥发性盐基氮成分、组胺、尸胺、腐胺等。关于鱼溶浆粉的营养作用,

Bauersfeld 等<sup>[4]</sup>对牛犊的研究表明, 鱼浆蛋白能完全替代脱脂乳, 并对牛犊无不良影响; 而贾艳菊等<sup>[5]</sup>将中华鳖 (*Pelodiscus sinensis*) 饲料中的白鱼粉用鱼浆蛋白取代 5% 后, 发现中华鳖对饲料的利用率下降。鱼油富含 n-3 系列多不饱和脂肪酸 (EPA 和 DHA 等), 它们具有多种生理活性, 如增

收稿日期: 2014-12-29 修回日期: 2015-04-12

资助项目: 国家自然科学基金 (31172417); 苏州市应用基础研究项目 (SYN201316)

通信作者: 叶元土, E-mail: yeyt@suda.edu.cn

强神经系统功能;抑制血小板凝聚、减少血栓形成、防止心脑血管疾病;抗炎、抗癌、增强自身免疫力等<sup>[6]</sup>。因其含有较多的多不饱和脂肪酸,所以极其容易氧化腐败变质而对动物产生不利影响<sup>[7]</sup>。

草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)是我国重要的经济鱼类,虽然其属于植食性动物,但在其日粮中添加适量鱼粉会促进其健康生长,取得更好的养殖效果。随着鱼粉资源的日渐衰竭,鱼粉在饲料中的添加量受到了限制,急需找到办法缓解这一危机。本实验是在以猪肉粉为动物蛋白源的草鱼日粮中添加鱼溶浆粉和鱼油,与鱼粉组(对照)作比较,探讨鱼溶浆粉和鱼油对草鱼生长、肝脏脂肪含量和血清理化指标的影响,希望在无鱼粉日

粮中适量补充少量鱼溶浆粉和鱼油以满足鱼类对鱼粉特殊营养物质的需要,并减少鱼粉的添加量,为生产上选择动物蛋白源的灵活性做出理论指导,以达到缓解鱼粉资源紧缺危机的目的。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验原料及饲料配制

猪肉粉购自江苏安佑饲料有限公司,鱼溶浆粉、鱼粉购自山东海圣公司,鱼油是广东省良种引进服务公司生产的“高美牌”精炼鱼油,豆油为中粮公司生产的“福临门”牌一级大豆油。并对鱼粉、猪肉粉和鱼溶浆粉的化学组成进行实测分析(表1)。鱼油和豆油营养成分及氧化指标实测值见表2。

表1 鱼粉、猪肉粉和鱼溶浆粉化学组成(干物质基础)

Tab.1 Proximate analysis of fish meal, pork powder meal and stickwater meal(dry matter)

|  | 鱼粉<br>fish meal | 猪肉粉<br>pork powder meal | 鱼溶浆粉<br>stickwater meal |
|--|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>常规成分分析/% conventional nutrients proximate analysis</b>    |                 |                         |                         |
| 水分 moisture  | 11.41           | 8.83                    | 8.14                    |
| 粗蛋白 crude protein  | 68.01           | 70.48                   | 65.12                   |
| 粗脂肪 crude fat  | 8.56            | 11.20                   | 8.58                    |
| 灰分 ash   | 16.22           | 10.14                   | 20.78                   |
| 能量/(kJ/g) energy   | 20.60           | 22.30                   | 18.70                   |
| <b>特殊成分分析/(mg/10 g) special nutrients proximate analysis</b> |                 |                         |                         |
| 总游离氨基酸 total free amino acid                                 | 1 759.3         | 618.1                   | 5 057.0                 |
| 牛磺酸 taurine  | 508.0           | 53.2                    | 1 390.0                 |
| 组氨酸 histidine  | 421.3           | 4.0                     | 602.4                   |
| 赖氨酸 lysine   | 84.0            | 36.6                    | 505.1                   |
| 鸟氨酸 ornithine  | 13.1            | 6.1                     | 35.8                    |
| 组胺 histamine   | 1.6             | 5.5                     | 25.1                    |
| 尸胺 cadaverine  | 14.2            | 47.0                    | 85.4                    |
| 腐胺 putrescine  | 10.1            | 7.7                     | 19.9                    |

表2 鱼油和豆油的营养成分和氧化指标

Tab.2 Nutrients and oxidation indexes of fish oil and soybean oil

|                | EPA <sup>1</sup>   | DHA <sup>2</sup> | AV <sup>3</sup> | POV <sup>4</sup> /(meq/kg) | MDA <sup>5</sup> /(mg/kg) |
|----------------|--------------------|------------------|-----------------|----------------------------|---------------------------|
| 鱼油 fish oil    | 12.35 <sup>6</sup> | 17.00            | 0.79            | 57.09                      | 2.23                      |
| 豆油 soybean oil | 0.05               | 0                | 0.03            | 2.89                       | 0.09                      |

注:1. 二十碳五烯酸;2. 二十二碳六烯酸;3. 酸价;4. 过氧化值;5. 丙二醛;6. 脂肪酸用归一法求得,以相对百分含量表示

Notes:1. eicosapentaenoic acid; 2. docosahexaenoic acid; 3. acid value; 4. peroxide value; 5. malondialdehyde; 6. fatty acids obtained by normalization, representation with relative percentage

在实用配方模式下,以植物蛋白为蛋白基础,豆油为脂肪基础,分别添加6%猪肉粉(简称6P)、3%猪肉粉+3%鱼溶浆粉(3P3SW)、6%鱼溶浆粉(6SW)、3%猪肉粉+3%鱼溶浆粉+2%

鱼油(3P3SW2O)、6%鱼溶浆粉+2%鱼油(6SW2O)和6%鱼粉(6F,对照)设计为6种等氮等能的饲料,配方以及化学成分实测值见表3(各组粗蛋白含量33.06%~33.89%,粗脂肪含量

5.42%~6.69%,能量 18.1~18.7 kJ/g,无显著差异)。饲料原料经粉碎过 60 目筛,用制粒机(温度 65 °C)制成直径 1.5 mm,长 3~4 mm 的颗粒状饲料,置于 -20 °C 冰箱保存。

表 3 实验饲料配方及化学组成(干物质基础)  
Tab.3 Formulation and proximate analysis of the experimental diets(dry matter)

|   | 6P    | 3P3SW | 6SW   | 3P3SW2O | 6SW2O | 6F    |
|---|-------|-------|-------|---------|-------|-------|
| <b>原料/% ingredients</b>                 |       |       |       |         |       |       |
| 鱼粉 fish meal                            |       |       |       |         |       | 6     |
| 鱼溶浆粉 stickwater meal                    |       | 3     | 5.7   | 3       | 5.7   |       |
| 猪肉粉 pork powder meal                    | 6     | 3     |       | 3       |       |       |
| 鱼油 fish oil                             |       |       |       | 2       | 2     |       |
| 细米糠 fine rice bran                      | 10    | 10    | 10    | 10      | 10    | 10    |
| 米糠粕 rice bran meal                      | 7.2   | 6.8   | 5.5   | 6.8     | 5.5   | 5.2   |
| 豆粕 soybean meal                         | 12    | 12    | 13    | 12      | 13    | 13    |
| 菜粕 rapeseed meal                        | 20    | 20    | 20    | 20      | 20    | 20    |
| 棉粕 48 cottonseed meal 48                | 20    | 20    | 20    | 20      | 20    | 20    |
| 磷酸二氢钙 monocalcium phosphate             | 2.1   | 1.9   | 1.8   | 1.9     | 1.8   | 2.3   |
| 沸石粉 zeolite powder                      | 1.9   | 2.0   | 1.9   | 2.0     | 1.9   | 2.0   |
| 膨润土 bentonite                           | 2.0   | 2.1   | 2.2   | 2.1     | 2.2   | 1.7   |
| 小麦 wheat                                | 15    | 15    | 15    | 15      | 15    | 15    |
| 豆油 soybean oil                          | 2.8   | 3.2   | 3.8   | 1.2     | 1.8   | 3.8   |
| 预混料 premix <sup>1</sup>                 | 1     | 1     | 1     | 1       | 1     | 1     |
| <b>成分分析/% proximate analysis</b>        |       |       |       |         |       |       |
| 粗蛋白 crude protein                       | 33.41 | 33.22 | 33.33 | 33.53   | 33.06 | 33.89 |
| 粗脂肪 crude fat                           | 5.42  | 5.73  | 6.42  | 5.88    | 6.36  | 6.69  |
| 灰分 ash                                  | 12.23 | 12.30 | 12.10 | 12.47   | 12.22 | 12.12 |
| 能量/(kJ/g) energy                        | 18.1  | 18.2  | 18.5  | 18.5    | 18.7  | 18.4  |
| 总磷/% total phosphorus                   | 1.13  | 0.95  | 0.85  | 0.83    | 0.81  | 1.06  |
| 总游离氨基酸/(mg/100 g) total free amino acid | 514.8 | 654.1 | 800.6 | 647.8   | 793.3 | 606.0 |
| 牛磺酸 taurine                             | 6.1   | 57.7  | 78.9  | 56.8    | 77.3  | 43.0  |
| 组氨酸 histidine                           | 5.9   | 28.7  | 53.9  | 28.6    | 53    | 38.3  |
| 赖氨酸 lysine                              | 10.3  | 19.4  | 28.1  | 19.3    | 27.9  | 13.9  |
| 鸟氨酸 ornithine                           | 1.3   | 2.2   | 3.3   | 2.1     | 3.3   | 1.6   |

注:1. 预混料(mg/kg 饲料):铜 5,铁 180,锰 35,锌 120,碘 0.65,硒 0.5,钴 0.07,镁 300,钾 80,维生素 A 10,维生素 B<sub>1</sub> 8,维生素 B<sub>2</sub> 8,维生素 B<sub>6</sub> 20,维生素 B<sub>12</sub> 0.1,维生素 C 250,泛酸钙 20,烟酸 25,维生素 D<sub>3</sub> 4,维生素 K<sub>3</sub> 6,叶酸 5,肌醇 100

Notes:1. Premix(mg/kg diet):copper 5,iron 180,manganese 35,zinc 120,iodine 0.65,selenium 0.5,cobalt 0.07,magnesium 300,potassium 80,vitamin A 10,vitamin B<sub>1</sub> 8,vitamin B<sub>2</sub> 8,vitamin B<sub>6</sub> 20,vitamin B<sub>12</sub> 0.1,vitamin C 250,calcium pantothenate 20,niacin 25,vitamin D<sub>3</sub> 4,vitamin K<sub>3</sub>6,folate 5,inositol 100

## 1.2 养殖实验与管理

养殖实验在浙江一星有限公司实验基地进行。在面积为 3 335 m<sup>2</sup>,平均水深 1.8 m 的池塘中设置 18 个规格为 1.0 m × 1.5 m × 2.0 m 网箱。选取实验基地池塘培育 1 冬龄、规格整齐、体质健壮,体质量为(80.0 ± 2.0)g 的草鱼种 400 尾,随机分为 6 组,每组 3 个平行,每个平行 20 尾鱼(分组剩余的鱼用于前期采样)。

实验草鱼用实验饲料驯化两周后,开始正

式投喂。每天 08:00 和 16:00 定时投喂 2 次,投饲量为鱼体质量的 3%~5%,每 10 天估计鱼体增重,调整并记录投饲量。若有死鱼,则记录数量并称重。正式实验从 2014 年 6 月 16 日~8 月 26 日,共计 72 d。整个实验期间水温 25~35 °C,溶解氧 >7.0 mg/L,pH 7.0~8.0,氨氮 <0.2 mg/L,亚硝酸盐氮 <0.01 mg/L,硫化物 <0.05 mg/L。养殖期间水温变化见图 1。

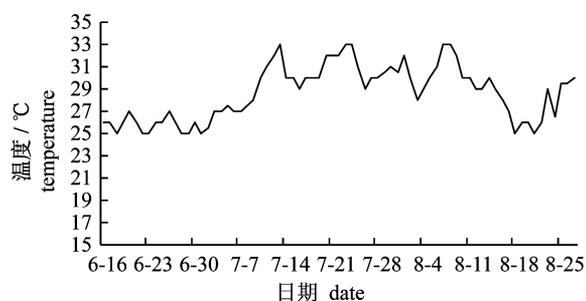


图1 养殖期间水温变化

Fig. 1 Water temperature changes during the breeding

### 1.3 样品采集

正式养殖实验开始前,从分组后剩余的草鱼中随机抽取4尾鱼,作为初始样本进行全鱼常规营养成分测定。养殖实验结束,禁食24 h,对每箱鱼进行滤水称重,记录尾数,计算特定生长率和饲料系数。

从每个处理组中随机选取4尾鱼进行全鱼常规营养成分的测定。另随机选取10尾鱼,用1 mL 无菌注射器在尾柄静脉采血,置于2 mL Eppendorf管中自然凝固30 min后,离心(4 °C, 3 500 r/min)15 min后取上层血清,混匀,分装于0.5 mL Eppendorf管中,于液氮速冻之后置于-80 °C超低温冰箱保存,用于血清指标的测定。此外,从剩余草鱼中随机取6尾鱼(不足6尾时,用采血后的鱼补足),称取体质量,常规解剖分离肝胰脏,称重,计算肝体比和用于肝脏粗脂肪的测定。

### 1.4 化学分析

样品用北京四环科学仪器厂生产的LGJ-18B型冷冻干燥机干燥至恒重之后,用于其他指标测定。粗蛋白、粗脂肪、粗灰分、酸价、过氧化值、总磷采用国标中规定的方法测定;丙二醛采用硫代巴比妥酸法测定GB/T 5009.181-2003。

能量采用上海吉昌地质仪器有限公司XRY-1C型氧弹式热量计测定;氨基酸采用德国sykam公司生产的全自动氨基酸分析仪测定;血清总胆汁酸、胆固醇、高密度脂蛋白和低密度脂蛋白采用雅培C800全自动生化分析仪测定。

生物胺采用氨基酸分析仪测定(实验室改良法),具体方法:取1 g样品,加入5%磺基水杨酸5 mL,涡旋3 min充分混匀,离心(4 °C, 10 000 r/min)15 min后取上层清液即提取液。

提取液过0.45 μm微孔滤膜后用Sykam S-433D氨基酸分析仪分离测定,样品中的生物胺通过Li+型磺酸基强酸性阳离子交换树脂被淋洗液逐一淋洗下来,茚三酮柱后衍生,反应后,混合物流入双通道光度计进行检测。仪器运行条件:检测波长设为570 nm,S2100压力30.0~40.0 bar,总流速0.45 mL/min,S4300反应器流速0.25 mL/min,柱温58~74 °C,压力6.0 bar,反应器温度130 °C。

油脂脂肪酸组成参照GB 9695.2-88,采用GC-14C型气相色谱仪(日本岛津公司)测定,脂肪酸组成采用归一法定量,以百分比(%)表示。气相色谱条件:色谱柱为J&W气相色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);氢火焰离子检测器(FID);FID270 °C,柱温采用程序升温:80 °C(3 min)~240 °C(5 °C/min);载气为高纯氮气,分流比为60:1,进样量为2 μL。

### 1.5 计算方法与统计分析

饲料系数(feed conversion ratio,FCR)=尾均摄食量/(终末均重-初始均重);

特定生长率(specific growth rate,SGR,%/d)= $100 \times (\ln \text{终末尾均重} - \ln \text{初始尾均重}) / \text{饲养天数}$ ;

肝体比(hepatosomatic index,HSI,%)= $100 \times \text{肝胰脏} / \text{体质量}$ ;

蛋白质沉积率(protein retention rate,PRR,%)= $100 \times (\text{终末鱼体蛋白} \times \text{终末尾均重} - \text{初始鱼体蛋白} \times \text{初始尾均重}) / \text{摄入饲料蛋白} \times \text{尾均饲料摄食量}$ ;

脂肪沉积率(fat retention rate,FRR,%)= $100 \times (\text{终末鱼体脂肪} \times \text{终末尾均重} - \text{初始鱼体脂肪} \times \text{初始尾均重}) / \text{摄入饲料脂肪} \times \text{尾均饲料摄食量}$ ;

能量保留率(energy retention rate,ERR,%)= $100 \times \text{实验结束时每尾鱼能量增加量} / \text{每尾鱼能量摄入量}$ 。

实验数据采用SPSS 19.0版统计软件进行单因子方差分析(one-way ANOVA),同时进行Duncan氏多重比较分析实验数据的差异显著性,结果以平均值±标准差(mean±SD)表示;用Pearson分析方法检验数据相关性,并用Excel 2013作回归分析, $P < 0.05$ 为差异显著。

## 2 实验结果

### 2.1 鱼溶浆粉和鱼油对草鱼生长速度和饲料效率的影响

6P和6F在SGR、FCR、PRR和ERR方面均无显著差异( $P > 0.05$ ) (表4)。添加鱼溶浆粉后,3P3SW、6SW与6F相比,SGR提高了9.1%~9.6%,FCR下降了8.5%~11.2%,差异显著( $P < 0.05$ ),但3P3SW和6SW无显著差异( $P > 0.05$ );同时,3P3SW、6SW组的PRR、FRR和

ERR均有一定程度提高。在添加鱼油后,3P3SW2O、6SW2O和3P3SW、6SW比,SGR分别下降了9.7%、15.4%,FCR分别上升了6.9%、31.1%,除3P3SW2O和3P3SW的FCR之外,其余差异显著( $P < 0.05$ );在PRR和ERR方面,3P3SW2O、6SW2O均有一定程度下降。此外,鱼油的添加,对于脂肪的沉积有明显的促进作用,3P3SW2O、6SW2O两组FRR显著增高,6SW2O成为全实验组最高的组别,并与各组均存在显著差异( $P < 0.05$ )。

表4 鱼溶浆粉和鱼油对草鱼生长速度和饲料效率的影响  
Tab.4 Effects of stickwater meal and fish oil on growth and feed efficiency of grass carps for 72 d

| 指标<br>indices        | 处理组 treatments              |                            |                            |                              |                             |                             |
|----------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                      | 6P                          | 3P3SW                      | 6SW                        | 3P3SW2O                      | 6SW2O                       | 6F                          |
| 初均重/g initial weight | 80.27 ± 0.32                | 80.00 ± 0.30               | 79.97 ± 0.15               | 79.2 ± 1.83                  | 80.63 ± 1.5                 | 79.97 ± 0.32                |
| 末均重/g final weight   | 221.30 ± 8.70 <sup>ab</sup> | 248.93 ± 4.07 <sup>c</sup> | 250.03 ± 9.61 <sup>c</sup> | 232.90 ± 16.53 <sup>bc</sup> | 211.37 ± 14.11 <sup>a</sup> | 226.00 ± 5.20 <sup>ab</sup> |
| 特定增长率/(%/d) SGR      | 2.02 ± 0.08 <sup>ab</sup>   | 2.27 ± 0.04 <sup>c</sup>   | 2.28 ± 0.08 <sup>c</sup>   | 2.05 ± 0.01 <sup>ab</sup>    | 1.93 ± 0.14 <sup>a</sup>    | 2.08 ± 0.04 <sup>b</sup>    |
| 饲料系数 FCR             | 1.95 ± 0.12 <sup>b</sup>    | 1.72 ± 0.14 <sup>a</sup>   | 1.67 ± 0.08 <sup>a</sup>   | 1.84 ± 0.07 <sup>ab</sup>    | 2.19 ± 0.17 <sup>c</sup>    | 1.88 ± 0.05 <sup>ab</sup>   |
| 蛋白质沉积率/% PRR         | 26.57 ± 4.2 <sup>a</sup>    | 33.78 ± 1.98 <sup>b</sup>  | 32.94 ± 2.07 <sup>b</sup>  | 30.95 ± 0.1 <sup>ab</sup>    | 26.69 ± 3.77 <sup>a</sup>   | 28.24 ± 3.26 <sup>ab</sup>  |
| 脂肪沉积率/% FRR          | 48.09 ± 5.85 <sup>c</sup>   | 26.92 ± 6.05 <sup>a</sup>  | 35.73 ± 4.58 <sup>b</sup>  | 40.47 ± 1.52 <sup>bc</sup>   | 56.86 ± 2.50 <sup>d</sup>   | 24.83 ± 3.8 <sup>a</sup>    |
| 能量保留率/% ERR          | 17.23 ± 0.96 <sup>a</sup>   | 19.05 ± 1.19 <sup>ab</sup> | 20.75 ± 1.95 <sup>b</sup>  | 19.09 ± 0.32 <sup>ab</sup>   | 17.00 ± 2.08 <sup>a</sup>   | 17.18 ± 1.13 <sup>a</sup>   |

注:表中同行数据有相同字母的表示差异不显著( $P > 0.05$ ),无相同字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),下同

Notes: In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ), the same as the following

### 2.3 鱼溶浆粉和鱼油对草鱼肝体比、肝脏脂肪含量和血清理化指标的影响

6P和6F的HSI、肝脏脂肪含量、血清TBA、CHOL、HDL、LDL均无显著差异( $P > 0.05$ ) (表5);添加鱼溶浆粉后,3P3SW、6SW与6F比,上述指标均有上升趋势,但除3P3SW和6F的血清

TBA差异显著外( $P < 0.05$ ),其余均差异不显著( $P > 0.05$ );再添加2%鱼油后,3P3SW2O、6SW2O与其对应的3P3SW、6SW比,上述指标也均为上升趋势,且6SW2O上升幅度更大,与6SW在肝脏粗脂肪含量、TBA、CHOL、HDL和LDL方面均有显著差异( $P < 0.05$ )。

表5 鱼溶浆粉和鱼油对草鱼肝体比、肝脏脂肪含量和血清理化指标的影响  
Tab.5 Effects of stickwater meal and fish oil on hepatosomatic index, liver fat content and serum indicators of grass carps for 72 d

| 指标<br>indices                                 | 处理组 treatments            |                           |                           |                           |                           |                           |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|   | 6P                        | 3P3SW                     | 6SW                       | 3P3SW2O                   | 6SW2O                     | 6F                        |
| 肝体比/% HSI                                     | 1.17 ± 0.24 <sup>ab</sup> | 1.08 ± 0.20 <sup>a</sup>  | 1.22 ± 0.27 <sup>ab</sup> | 1.10 ± 0.26 <sup>a</sup>  | 1.29 ± 0.22 <sup>b</sup>  | 1.13 ± 0.25 <sup>ab</sup> |
| 肝脏粗脂肪/% hepatopancreas crude fat              | 14.27 ± 1.26 <sup>a</sup> | 11.77 ± 0.59 <sup>a</sup> | 14.5 ± 0.99 <sup>a</sup>  | 14.72 ± 2.98 <sup>a</sup> | 20.09 ± 1.78 <sup>b</sup> | 11.96 ± 0.47 <sup>a</sup> |
| 总胆汁酸/(mmol/L) total bile acids, TBA           | 3.10 ± 0.80 <sup>ab</sup> | 3.80 ± 1.35 <sup>bc</sup> | 3.15 ± 0.45 <sup>ab</sup> | 3.75 ± 0.45 <sup>bc</sup> | 4.70 ± 0.40 <sup>c</sup>  | 2.03 ± 0.64 <sup>a</sup>  |
| 胆固醇/(mmol/L) cholesterol, CHOL                | 6.02 ± 0.38 <sup>ab</sup> | 5.47 ± 0.51 <sup>a</sup>  | 5.45 ± 0.74 <sup>a</sup>  | 6.09 ± 0.09 <sup>ab</sup> | 6.84 ± 0.01 <sup>b</sup>  | 5.32 ± 0.53 <sup>a</sup>  |
| 高密度脂蛋白/(mmol/L) high-density lipoprotein, HDL | 2.36 ± 0.10 <sup>a</sup>  | 2.38 ± 0.07 <sup>a</sup>  | 2.37 ± 0.06 <sup>a</sup>  | 2.41 ± 0.09 <sup>ab</sup> | 2.52 ± 0.06 <sup>b</sup>  | 2.29 ± 0.03 <sup>a</sup>  |
| 低密度脂蛋白/(mmol/L) low-density lipoprotein, LDL  | 2.73 ± 0.25 <sup>ab</sup> | 2.52 ± 0.18 <sup>ab</sup> | 2.56 ± 0.33 <sup>ab</sup> | 2.84 ± 0.14 <sup>b</sup>  | 3.36 ± 0.01 <sup>c</sup>  | 2.34 ± 0.19 <sup>a</sup>  |

## 2.4 饲料中游离氨基酸和生物胺与 FCR 和 SGR 的相关性分析

将 6P、3P3SW、6SW 和 6F 组饲料中的总游离氨基酸(TFAA)、牛磺酸(Tau)、组氨酸(His)、赖氨酸(Lys)、鸟氨酸(Orn)、组胺(Hise)、尸胺(Cad)、腐胺(Put)(生物胺以原料为基础的估算值)与 FCR 和 SGR 做 Pearson 相关性分析,检验双侧显著性,样本量  $n=4$ ,结果见表 6。可以看出,这些因子与 FCR 和 SGR 的相关性显著水平(双侧)检测值  $P$  都大于 0.05,但在相关系数  $R^2 >$

0.80 的因子中,与 FCR 相关性大小顺序为  $Lys > Put > Tau > Orn > TFAA > Hise$ ;与 SGR 的相关性大小顺序为  $Tau > Lys > Put$ 。

在对相关系数  $R^2 > 0.80$  的因子(前 3 个)作回归分析后发现,它们对 FCR 的影响以二次函数关系拟合度最高,赖氨酸和腐胺的拟合度  $R^2$  都在 0.97 以上(图 2);对 SGR 的影响也以二次函数关系拟合度最高,赖氨酸和腐胺的拟合度  $R^2$  在 0.94 以上(图 3)。

表 6 游离氨基酸和生物胺与 FCR 和 SGR 的相关性分析  
Tab.6 Correlation analysis of free amino acids,biogenic amines with feed conversion ratio and specific growth rate

| Pearson 分析结果<br>Pearson analysis result |       | 游离氨基酸 free amino acids |         |         |         |         | 生物胺 biogenic amines |        |        |
|---|-------|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------------------|--------|--------|
|   |       | 总游离氨基酸 TFAA            | 牛磺酸 Tau | 组氨酸 His | 赖氨酸 Lys | 鸟氨酸 Orn | 组胺 Hise             | 尸胺 Cad | 腐胺 Put |
| FCR                                     | $R^2$ | 0.853                  | 0.892   | 0.568   | 0.901   | 0.861   | 0.820               | 0.597  | 0.893  |
|   | $P$   | 0.077                  | 0.056   | 0.246   | 0.072   | 0.094   | 0.227               | 0.055  |        |
| SGR                                     | $R^2$ | 0.750                  | 0.826   | 0.462   | 0.814   | 0.768   | 0.775               | 0.594  | 0.805  |
|   | $P$   | 0.134                  | 0.091   | 0.320   | 0.124   | 0.120   | 0.229               | 0.103  |        |

注: $R^2$  相关系数; $P$ . 双侧显著性

Notes: $R^2$ . Pearson correlation coefficients; $P$ . Bilateral significant

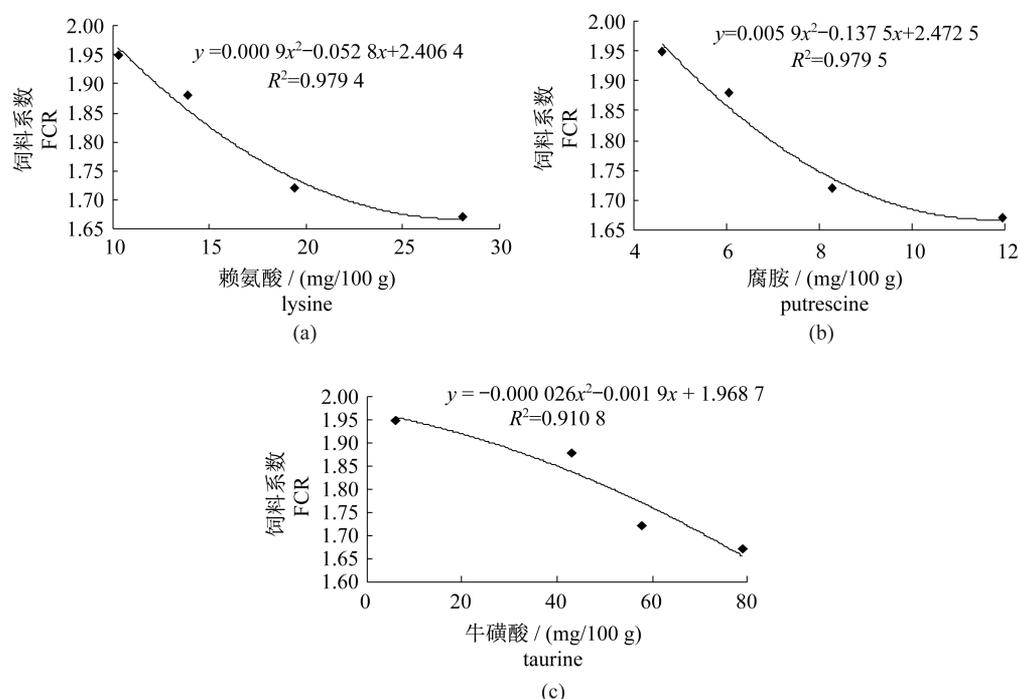


图 2 赖氨酸、腐胺和牛磺酸与饲料系数的关系

Fig.2 Relationship between feed conversion ratio and lysine,putrescine and taurine

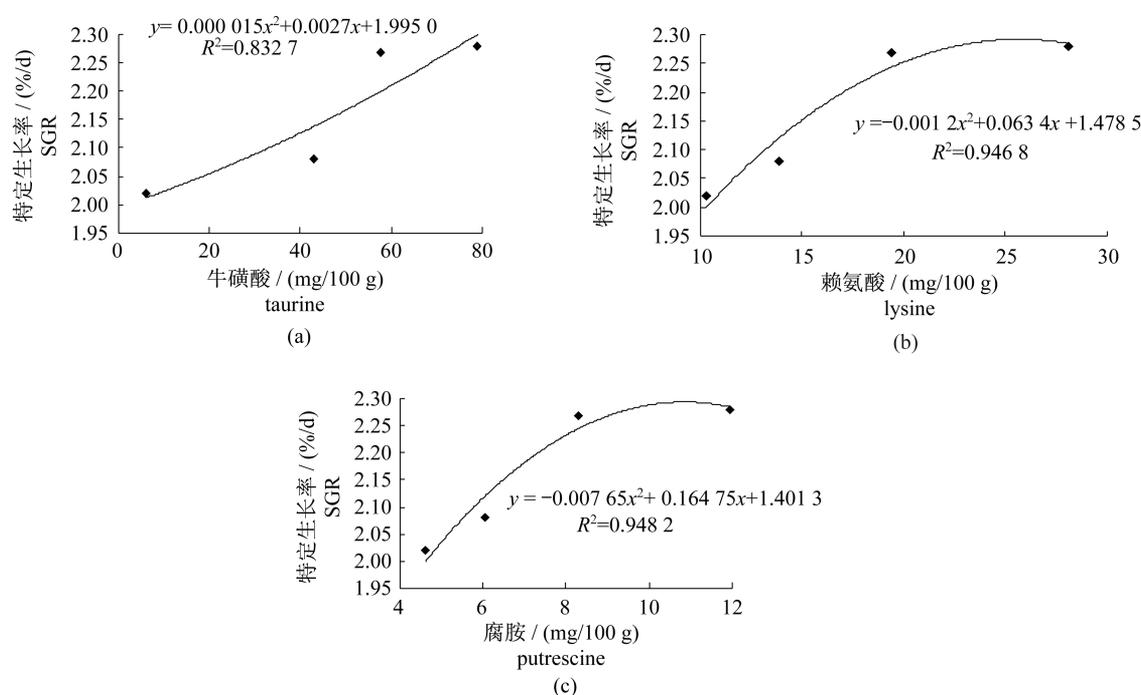


图3 牛磺酸、赖氨酸和腐胺与特定生长率的关系

Fig. 3 Relationship between specific growth rate and lysine, putrescine and taurine

### 3 讨论

#### 3.1 鱼溶浆粉对草鱼生长有促进作用

6SW 比 6F 的 SGR 提高了 9.6%, FCR 下降了 11.2%, PRR、FRR 和 ERR 均有一定程度上升,说明鱼溶浆粉对草鱼生长的促进作用优于鱼粉;同时 3P3SW 与 6F 组比,SGR 显著升高,FCR 显著降低,饲料效率提高,表明在以无鱼粉动物蛋白和植物蛋白满足草鱼日常蛋白质需求的饲料中,添加少量鱼溶浆粉补充一些特殊营养成分,既能保证养殖效果,又能起到节约鱼粉的目的。为何鱼溶浆粉对草鱼的生长有较强促进作用呢?主要原因有以下两点。

鱼溶浆粉中游离氨基酸和小肽等对草鱼生长的促进 Kousoulaki 等<sup>[8]</sup>在商品鱼粉中添加不同水平的鱼溶浆粉,再用 10% 的上述鱼粉添加到鲑(*Salmo salar*)日粮中,以 30% 的商品鱼粉作为对照组,养殖鲑 74 d,结果表明,当鱼溶浆粉在鱼粉中添加量为 50% 时,即与对照组达到相同养殖效果,他认为促生长作用与牛磺酸和羟基脯氨酸有关,但不明确是由于它们的直接作用造成的,还是与它们相关未知成分造成的。本实验中鱼溶浆粉中含有牛磺酸 1 390 mg/100 g,是鱼粉的 2.7 倍、猪肉粉的 26 倍,可能是造成鱼溶浆粉促生长

作用强的原因之一。同时鱼溶浆粉中含有更多的小肽、游离氨基酸等生物活性成分,具有更好的诱食性和利于生物消化吸收的特性<sup>[9]</sup>,也起到促进草鱼生长的作用。李岁寒<sup>[10]</sup>、梁树华<sup>[11]</sup>等用鱼浆蛋白在仔猪上替代鱼粉的研究中也得出相同结果,说明鱼溶浆粉对于动物生长具有较广泛的促进作用。

鱼溶浆粉中低剂量的生物胺对草鱼生长的促进 生物胺是由微生物作用下蛋白质腐败变质的产物<sup>[12]</sup>,能引起动物中毒<sup>[13]</sup>,具有潜在的毒性;生物胺在水产品变质过程中变化明显,可以作为水产品新鲜度和变质程度的指标<sup>[14-15]</sup>。水产品变质后,组胺、尸胺、腐胺和酪胺 4 种生物胺的变化最为明显,能作为变质的敏感性指标<sup>[16]</sup>。本实验鱼溶浆粉中组胺、尸胺和腐胺含量最高,且其对应的前体氨基酸(组氨酸、赖氨酸和鸟氨酸)含量也是最高的,但它们的存在并没有对草鱼的生长造成不良影响。这可能的原因主要有 3 点:首先,草鱼属于无胃鱼类,也就不具备组胺发挥作用的  $H_2$  受体,从而降低组胺对于草鱼的毒性作用;其次,本实验饲料中组胺最高含量为 1.5 mg/100 g,远达不到 Watanabe 等<sup>[17]</sup>在 1987 年添加到虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)饲料中能引起虹鳟病变的组胺含量 500 mg/100 g 的水平;最后,鱼溶浆

粉中的生物胺属于混合生物胺,Opstvedt 等<sup>[18]</sup>认为它们混合后可能存在一个毒性削减作用,从而降低了生物胺的毒性作用。因而,生物胺对于草鱼的生长抑制作用无法体现。相反,有诸多的研究表明,少量的生物胺对鱼类具有一定的促生长作用,并且对鱼体健康不会产生有害影响。如 Opstvedt 等<sup>[18]</sup>研究发现,给鲑添加不同水平的混合生物胺,并没有造成其生长下降,反而有一定程度的促进趋势。在 Tapia-Salazar 等<sup>[19]</sup>对蓝对虾 (*Litopenaeus stylirostris*) 的研究中也得出类似的结果。生物胺对于生物的作用机制还有待进一步的研究,但结合本研究相关性分析结果看,少量的生物胺(如腐胺)对于草鱼的生长具有一定的促进作用。

### 3.2 鱼油对草鱼生长具有副作用

**鱼油氧化对草鱼生长的抑制** 2 个添加 2% 的鱼油组(3P3SW2O 和 6SW2O)和未添加组(3P3SW 和 6SW)相比,特定生长率显著下降,饲料系数显著上升,6SW2O 组甚至成为全实验组生长最差的组别,这可能是由于鱼油容易氧化变质而产生有害物质造成的。酸价(AV)和过氧化值(POV)是油脂氧化过程中的敏感性指标<sup>[20]</sup>,从鱼油和豆油实测的结果看,鱼油的 AV 和 POV 都比豆油高出 20 倍左右。任泽林等<sup>[21]</sup>在对鲤 (*Cyprinus carpio*) 日粮中添加 3% 氧化程度不同的鱼油研究时发现,当鱼油过氧化值为 59.28 meq/kg 时(与本实验鱼油 POV 值 57.09 meq/kg 近似,说明其已经氧化),显著降低了鲤鱼的生长性能。在叶仕根等<sup>[22]</sup>对鲤、彭士明等<sup>[23]</sup>对黑鲟 (*Acanthopagrus schlegeli*)、Hung 等<sup>[24]</sup>对虹鳟添加氧化鱼油的研究中也得出类似的结果。丙二醛(MDA)是油脂氧化变质产物之一<sup>[25]</sup>,它能对草鱼肠道黏膜细胞的细胞膜完整性造成损伤,导致细胞凋亡<sup>[26]</sup>。本实验中鱼油 MDA 含量 2.23 mg/kg,是豆油的 25 倍,可能导致草鱼肠道黏膜受损,降低草鱼消化吸收能力,从而导致其生长速度下降。

**鱼油加快脂肪在体内和肝脏的沉积** 添加 2% 鱼油后,6SW2O 与 6SW 比,草鱼的脂肪沉积率和肝脏粗脂肪含量都显著上升,肝体比增大,这表明鱼油的添加加快了脂肪在鱼体和肝脏的沉积速度,引起肝脏功能性增生。胆固醇是动物必需的一种营养物质,高密度脂蛋白(HDL)和低密度

脂蛋白(LDL)是胆固醇在血清中存在的两种主要形式,分别担任着将胆固醇运入和运出肝脏的任务<sup>[27]</sup>,血清胆固醇、高密度脂蛋白(HDL)和低密度脂蛋白(LDL)都是 6SW2O 组最高,也从侧面反映了鱼体内肝脏脂肪过度积累的状况。血清总胆汁酸(TBA)是由肝脏合成并分解代谢,当肝细胞发生病变或患胆管疾病时可引起胆汁的代谢障碍,使进入血液中的胆汁酸含量显著升高,血清总胆汁酸升高与肝细胞损伤程度成正比<sup>[28]</sup>,6SW2O 组的血清总胆汁酸出现明显增高,说明鱼油对草鱼肝脏已经造成一定损伤。

### 3.3 饲料中游离氨基酸和生物胺与 FCR 和 SGR 的相关性

对饲料中游离氨基酸和生物胺与 FCR 和 SGR 的相关性分析中,虽然 Pearson 显著性(双侧)检验值  $P$  都大于 0.05,但与 FCR 和 SGR 相关性系数  $R^2 > 0.80$  的因子中都有赖氨酸 Lys、牛磺酸 Tau 和腐胺 Put,且它们与 FCR 和 SGR 的关系都呈现一种二次函数关系(除了牛磺酸与 SGR 以外,拟合度  $R^2$  都在 0.91 以上),因此可以认为游离赖氨酸 Lys、牛磺酸 Tau 和腐胺 Put 是与草鱼生长关系密切的因素。同时,从回归分析结果中得出,Tau 在饲料中含量为 6.1 ~ 78.9 mg/100 g、Lys 含量为 10.3 ~ 26.4 mg/100 g、Put 含量为 4.6 ~ 10.8 mg/100 g 时,它们与 FCR 成负相关,与 SGR 成正相关,且当 Lys 含量为 26.4 mg/100 g、Put 含量为 10.8 mg/100 g 时草鱼的 SGR 达到最大值,说明这 3 种物质在上述添加量对草鱼的生长有促进作用。

## 4 结论

综上所述,6% 鱼溶浆粉对草鱼生长促进作用优于等量鱼粉;并且在以无鱼粉动物蛋白和植物蛋白满足草鱼日常蛋白质需求的饲料中,添加少量鱼溶浆粉补充一些特殊营养成分,既能保证养殖效果,又能达到节约鱼粉的目的;同时发现,这种促进作用与饲料中游离赖氨酸 Lys、牛磺酸 Tau 和腐胺 Put 的关系密切,且符合二次函数关系。鱼油虽然是一种很好的脂肪来源,但其加速了脂肪在草鱼体和肝脏的积累,加重肝脏负担;加上易氧化的特性及氧化产物对机体的损伤,导致草鱼生长受阻,因而使用受到限制。

## 参考文献:

- [ 1 ] Marki B. Effects of process parameters and raw material freshness on fish meal quality [ C ]. Alaska: International By-Products Conference, 1990: 105 - 108.
- [ 2 ] Huang G P, Lin J G. Development and utilization of fish paste protein [ J ]. Feed Industry, 2008, 29 ( 24 ): 54 - 56. [ 黄国平, 林建国. 鱼浆蛋白的开发利用. 饲料工业, 2008, 29 ( 24 ): 54 - 56. ]
- [ 3 ] Chen Y F. Evaluating nutritive value of fish soluble protein [ D ]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006. [ 陈宜芳. 鱼浆蛋白营养价值评定研究. 武汉: 华中农业大学, 2006. ]
- [ 4 ] Bauersfeld P E, Soares J H. Fish solubles as a partial substitute for milk and milk by-products in liquid rations for neonatal animals [ J ]. Fishery Bulletin, 1972, 70 ( 4 ): 1275 - 1279.
- [ 5 ] Jia Y J, Yang H, Hou J L, et al. Effects of dietary supplementation of squid liver meal and soluble fish protein concentrates on growth performance and liver function of pelodiscus sinensis [ J ]. Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Sciences, 2014, 40 ( 3 ): 348 - 354. [ 贾艳菊, 杨虹, 侯金良, 等. 饲料中添加乌贼肝粉和鱼浆蛋白对中华鳖生长性能和肝功能的影响. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2014, 40 ( 3 ): 348 - 354. ]
- [ 6 ] Sheng Y X, Zhang C H. Aquatic food science [ M ]. Beijing: China Agriculture Press, 2000. [ 沈月新, 章超桦. 水产食品学. 北京: 中国农业出版社, 2000. ]
- [ 7 ] Zeng X S, Liu S C, Ou G Y, et al. Study on extraction of oil form wastes of fish surimi [ J ]. South China Fisheries Science, 2007, 3 ( 2 ): 60 - 65. [ 曾学熙, 刘书成, 欧广勇, 等. 从鱼糜下脚料中提取鱼油的研究. 南方水产科学, 2007, 3 ( 2 ): 60 - 65. ]
- [ 8 ] Kousoulaki K, Albrektsen S, Langmyhr E, et al. The water soluble fraction in fish meal ( stickwater ) stimulates growth in Atlantic salmon ( *Salmo salar* ) given high plant protein diets [ J ]. Aquaculture, 2009, 289 ( 1 ): 74 - 83.
- [ 9 ] Hu J R, Li J Y, Cao J M, et al. The effect of feeding promote substance on litopenaeus vannamei growth and biochemical composition of serum [ J ]. Feed Industry, 2009, 30 ( 18 ): 19 - 21. [ 胡俊茹, 李军勇, 曹俊明, 等. 摄食促进物对凡纳滨对虾生长及血清生化组成的影响. 饲料工业, 2009, 30 ( 18 ): 19 - 21. ]
- [ 10 ] Li S H. Effect of soluble fish protein concentrates substitute blood plasmatic protein powder to weaning piglets on performance, nutrition digestibility and serum biochemical parameters [ D ]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2006. [ 李岁寒. 鱼浆蛋白替代血浆蛋白对断乳仔猪生产性能、养分消化率及血液指标的影响. 保定: 河北农业大学, 2006. ]
- [ 11 ] Liang S H, Jiang K C, Li Y G. Comparative tests of fish paste complex protein meal substitute imported fish meal in piglet diets [ J ]. Animal Science and Veterinary Medicine, 2002, 19 ( 12 ): 54 - 55. [ 梁树华, 蒋克纯, 李义刚. 鱼浆复合蛋白替代仔猪日粮中进口鱼粉的对比实验. 动物科学与动物医学, 2002, 19 ( 12 ): 54 - 55. ]
- [ 12 ] Zhang J B. Survival, growth and tissue histamine accumulation of the *Eriocheir sinensis*, fed biogenic amines from several common trash fish [ D ]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012. [ 张金彪. 常见野杂鱼中的生物胺分析及其对中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 存活, 生长和体内累积的影响. 上海: 上海海洋大学, 2012. ]
- [ 13 ] Li M Y, Zhou G H, Wei F S, et al. Relationship between chilled pork microorganisms and biological amines [ J ]. Zhejiang Agricultural Sciences, 2008, 3: 365 - 367. [ 李苗云, 周光宏, 魏法山, 等. 冷却猪肉中微生物与生物胺的关系研究. 浙江农业科学, 2008, 3: 365 - 367. ]
- [ 14 ] Bodmer S, Imark C, Kneubühl M. Biogenic amines in foods: Histamine and food processing [ J ]. Inflammation Research, 1999, 48 ( 6 ): 296 - 300.
- [ 15 ] Vinci G, Antonelli M L. Biogenic amines: Quality index of freshness in red and white meat [ J ]. Food Control, 2002, 13 ( 8 ): 519 - 524.
- [ 16 ] Zhang J B, Yang X Z, Fan P, et al. Changes in total volatile basic nitrogen and biogenic amines in two common species of marine fish at high temperature [ J ]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36 ( 2 ): 284 - 290. [ 张金彪, 杨筱珍, 范朋, 等. 两种常见海水鱼高温贮存过程中挥发性盐基氮和生物胺含量变化. 水生生物学报, 2012, 36 ( 2 ): 284 - 290. ]
- [ 17 ] Watanabe T, Takeuchi T, Satoh S, et al. Effect of dietary histidine or histamine on growth and development of stomach erosion in rainbow trout [ J ]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1987, 53 ( 7 ): 1207 - 1214.
- [ 18 ] Opstvedt J, Mundheim H, Nygård E, et al. Reduced growth and feed consumption of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed fish meal made from stale fish is not due to increased content of biogenic amines [ J ]. Aquaculture, 2000, 188 ( 3 ): 323 - 337.

- [19] Tapia-Salazar M, Cruz-Suárez L E, Ricque-Marie D, *et al.* Effect of fishmeal made from stale versus fresh herring and of added crystalline biogenic amines on growth and survival of blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*) fed practical diets [J]. *Aquaculture*, 2004, 242(1): 437 - 453.
- [20] Yao S B, Ye Y T, Li J, *et al.* Fish oil during oxidation, oxidation indicators and their fatty acid composition of change [J]. *Feed Research*, 2012, 74(6): 74 - 76. [姚仕彬, 叶元土, 李洁, 等. 鱼油在氧化过程中氧化指标及其脂肪酸组成的变化. 饲料研究, 2012, 74(6): 74 - 76.]
- [21] Ren Z L, Huo Q G. Effect of oxidized fish oil on the performance and muscular histological structure of carps [J]. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 2001, 13(1): 59 - 64. [任泽林, 霍启光. 氧化鱼油对鲤鱼生产性能和肌肉组织结构的影响. 动物营养学报, 2001, 13(1): 59 - 64.]
- [22] Ye S G, Wang K Y, He X R. Pathological changes in common carp (*Cyprinus carpi*) fed oxidized fish oil [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2006, 21(1): 1 - 6. [叶仕根, 汪开毓, 何显荣. 鲤摄食含氧化鱼油的饲料后其病理学的变化. 大连水产学院学报, 2006, 21(1): 1 - 6.]
- [23] Peng S M, Chen L Q, Ye J Y, *et al.* Effects of dietary oxidized fish oils on growth performance of juvenile black seabream (*Acanthopagrus schlegeli*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2007, 31(suppl. 1): 109 - 115. [彭士明, 陈立侨, 叶金云, 等. 饲料中添加氧化鱼油对黑鲷幼鱼生长的影响. 水产学报, 2007, 31(增刊1): 109 - 115.]
- [24] Hung S S O, Cho C Y, Slinger S J, *et al.* Effect of oxidized fish oil, DL- $\alpha$ -tocopheryl acetate and ethoxyquin supplementation on the vitamin E nutrition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fed practical diets [J]. *Journal of Nutrition*, 1981, 111: 648 - 657.
- [25] Krohne T U, Kaemmerer E, Holz F G, *et al.* Lipid peroxidation products reduce lysosomal protease activities in human retinal pigment epithelial cells via two different mechanisms of action [J]. *Experimental Eye Research*, 2010, 90(2): 261 - 266.
- [26] Yao S B, Ye Y T, Cai C F, *et al.* Damage of MDA on intestinal epithelial cells *in vitro* of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, 39(1): 137 - 146. [姚仕彬, 叶元土, 蔡春芳, 等. 丙二醛对离体草鱼肠道黏膜细胞的损伤作用. 水生生物学报, 2014, 39(1): 137 - 146.]
- [27] Cong R H. Effect of breed and maternal dietary protein level on hepatic cholesterol metabolism in piglets and mechanisms involved [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011. [丛日华. 品种和母猪日粮蛋白水平对仔猪肝脏胆固醇代谢的影响及其机制. 南京: 南京农业大学, 2011.]
- [28] An H X. Serum total bile acid (TBA) value of detection and clinical significance [J]. *Chinese Community Doctors: Medical Professional*, 2012, 14(27): 190 - 191. [安红霞. 血清总胆汁酸(TBA)检测价值及临床意义探讨. 中国社区医师: 医学专业, 2012, 14(27): 190 - 191.]

## Effects of adding stickwater meal and fish oil into basal diets on grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) growth, liver fat content and serum indicators

LUO Qigang<sup>1</sup>, YE Yuantu<sup>1\*</sup>, CAI Chunfang<sup>1</sup>, WU Ping<sup>1</sup>, ZHOU Yaqin<sup>1</sup>, LIN Xiuxiu<sup>1</sup>,  
ZHU Jianming<sup>1</sup>, CHEN Kequan<sup>1</sup>, PENG Kan<sup>1</sup>, ZHANG Baotong<sup>2</sup>, XIAO Peizhen<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Aquatic Nutrition of Jiangsu Province, School of Biology and Basic Medical Sciences,  
Suzhou University, Suzhou 215123, China;

2. Open Laboratory for Aquatic Animal Nutrition, Beijing Research Institute for Nutritional Resources, Beijing 100069, China)

**Abstract:** In order to investigate the effects of grass carp diets, which were added with stickwater meal and fish oil to supplement fish required part of growth factor, on grass carp growth, liver fat content and serum indicators. In practical formulation mode, six experimental diets added 6% pork powder meal (6P), 3% pork powder meal + 3% stickwater meal (3P3SW), 6% stickwater meal (6SW), 3% pork powder meal + 3% stickwater meal + 2% fish oil (3P3SW2O), 6% stickwater + 2% fish oil (6SW2O), 6% fish meal (6F control) were prepared. All the experimental diets were isonitrogenous and isoenergetic. The diets were fed to grass carps [mean initial body weight of (80.0 ± 0.2) g] in pond cages for 72 d. The results showed that, there were no significant differences in SGR, FCR, PRR, ERR and HSI between 6F and 6P. After adding stickwater meal, SGR of 3P3SW and 6SW improved by 9.1% - 9.6% compared with 6F, when it comes to FCR, it decreased by 8.5% - 11.2%, the differences were significant ( $P < 0.05$ ), but there were no significant differences between 3P3SW and 6SW ( $P > 0.05$ ), while in PRR, FRR and ERR terms, 3P3SW, 6SW have some improvements. After adding fish oil, compared 3P3SW2O, 6SW2O with 3P3SW, 6SW, the SGR decreased by 9.7%, 15.4%, the FCR increased by 6.9%, 31.1%, the differences were significant ( $P < 0.05$ ), except the FCR of 3P3SW2O and 3P3SW. In terms of 3P3SW2O and 6SW2O, PRR and ERR declined; at the same time, FRR and liver fat content increased, and HSI, TBA, CHOL, HDL and LDL with liver fat showed the same trend, and the highest group of these indicators was 6SW2O which had significant differences ( $P < 0.05$ ), compared with all other groups. In the correlation analysis of free amino acids, biogenic amines with FCR and SGR, Pearson correlation coefficients of free lysine, taurine and putrescine were all greater than 0.8, and presented a quadratic function. So, in the effect of promoting growth, stickwater meal is better than fish meal. Adding small amount of stickwater meal to diets which have no fish meal can not only meet the needs of grass carp but also save the amount of fish meal, and this growth-promoting effect is closely related with free Lys, Tau and Put. Fish oil promotes fat deposition in the body and liver, burdens the lipid metabolism. Together with its easily oxidized characteristics, its use in aquaculture feed is limited.

**Key words:** grass carp; stickwater meal; fish oil; growth; liver; free amino acids; biogenic amines

**Corresponding author:** YE Yuantu. E-mail: yeyt@suda.edu.cn