

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15210

蚕豆、大巢菜籽及苦瓜籽饲料对草鱼生长、肌肉成分、组织生化指标和消化酶活性的影响

郑小森¹, 李小勤^{1, 2, 3, 4}, 魏静¹, 胡静¹, 孙文通¹, 徐怀兵¹, 冷向军^{1, 2, 3, 4}

1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学 农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306;

3. 上海市水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306;

4. 上海高校知识服务平台, 上海海洋大学 水产动物遗传育种中心(ZF1206), 上海 201306

摘要: 分别以常规配合饲料(配合饲料组)、浸泡蚕豆(浸泡蚕豆组)、含 75%蚕豆(蚕豆饲料组)、60%大巢菜籽(巢菜籽饲料组)、60%苦瓜籽(苦瓜籽饲料组)的饲料饲喂体重为(59.0±0.6) g 的草鱼(*Ctenopharyngodon idella*), 养殖 8 周后, 配合饲料的增重率显著高于其他各组($P<0.05$), 饲料系数显著低于其他各组($P<0.05$); 与浸泡蚕豆组相比, 蚕豆饲料组的增重率提高 56.9%, 而巢菜籽饲料组、苦瓜籽饲料组的增重率则分别下降 30.6%、21.2%($P<0.05$); 浸泡蚕豆组、蚕豆饲料组、巢菜籽饲料组、苦瓜籽饲料组的肌肉胶原蛋白含量较配合饲料组显著提高, 而肌肉脂肪含量显著下降($P<0.05$); 苦瓜籽饲料组的肌肉总氨基酸(TAA)、鲜味氨基酸(DAA)含量显著高于配合饲料组和浸泡蚕豆组($P<0.05$)。在生化指标方面, 与配合饲料组相比, 投喂蚕豆、巢菜籽饲料及浸泡蚕豆显著降低了肝胰脏超氧化物歧化酶(SOD)活性($P<0.05$), 提高了肝胰脏丙二醛(MDA)含量和肌肉肌酸激酶(CK)活性($P<0.05$), 但蚕豆饲料组的肝胰脏丙二醛(MDA)含量低于浸泡蚕豆组($P<0.05$); 在消化酶方面, 投喂蚕豆、巢菜籽、苦瓜籽饲料和浸泡蚕豆显著降低了前肠脂肪酶活性($P<0.05$), 提高了 α -淀粉酶活性($P<0.05$), 蚕豆饲料组、巢菜籽饲料组及浸泡蚕豆组的碱性蛋白酶活性较对照组显著降低($P<0.05$)。上述结果表明, 饲喂以蚕豆、大巢菜籽、苦瓜籽为主要成分的配合饲料及浸泡蚕豆可改变草鱼肌肉组成, 但也降低了草鱼生长性能; 综合生长性能和肌肉组成, 蚕豆饲料较巢菜籽饲料、苦瓜籽饲料和浸泡蚕豆在脆化草鱼生产养殖上更具有可行性。

关键词: 草鱼; 蚕豆; 巢菜籽; 苦瓜籽; 生长性能; 生化指标; 肌肉成分; 消化酶

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)02-0370-12

投喂蚕豆(*Vicia faba* L.)可使草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)肉质变得结实而爽脆, 不易煮烂^[1], 口感独特, 称“脆肉鲩”或“脆化鲩”。目前, 脆肉鲩的养殖已成为广东中山等地的一大特色^[2]。然而, 投喂蚕豆使草鱼肉质改变的机理还未被揭示。蚕豆中含有多种活性成分和抗营养因子, 如: 缩合单宁、蚕豆甙、植酸、蛋白酶抑制剂和血球凝集素^[3-4]等, 均有可能与草鱼肉质脆化有关。研究表

明, 草鱼脆化后红细胞葡萄糖六磷酸脱氢酶^[5](G6PD)和血红蛋白^[6]含量显著下降, 进而导致红细胞出现功能性障碍, 这与人类的“蚕豆病”^[7-8]症状类似, 而蚕豆甙是导致该病发生的主要原因, 可使 G6PD 缺乏或者正常个体红细胞中还原型谷胱甘肽(GSH)和 ATP 快速减少, 或与 GSH 形成复合物, 造成钾离子流失和脂质过氧化, 使红细胞膜受损破裂发生溶血现象^[9]。根据这些现象推测,

收稿日期: 2015-5-20; 修订日期: 2015-09-07.

基金项目: 上海市自然科学基金项目(13ZR1419600).

作者简介: 郑小森(1989—), 男, 硕士, 研究方向为水产动物营养与饲料. E-mail: xmzheng19890417@163.com

通信作者: 冷向军, 教授, 博士生导师. E-mail: xjleng@shou.edu.cn

有可能是蚕豆甙在草鱼肉质的改变中发挥了重要作用。

除蚕豆中富含蚕豆甙^[10]外,大巢菜(*Vicia sativa* L.)籽^[11]、苦瓜(*Momordica charantia*)籽^[12]中也有较高含量的蚕豆甙。因此,本实验以蚕豆、大巢菜籽、苦瓜籽作为主要饲料原料制成颗粒饲料,同时以单一蚕豆(浸泡变软后)饲喂草鱼 8 周,以考察蚕豆、大巢菜籽及苦瓜籽对草鱼生长、肌肉成分、组织生化指标及肠道消化酶活性的影响,为开发改善草鱼肉质的饲料提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计与试验饲料

本次实验共设 5 个处理组:配合饲料;以 75%的蚕豆替代配合饲料中豆粕、棉粕、麦麸、次粉、面粉等原料,并在其中添加微囊蛋氨酸(含 DL-蛋氨酸 49%)以补偿其蛋氨酸缺乏^[13],得蚕豆饲料(broad bean diet, BBD);分别以 60%的大巢菜籽、苦瓜籽替代配合饲料中的豆粕、棉粕、麦麸、面粉等原料,计为巢菜籽饲料(common vetch seed diet, CVD)与苦瓜籽饲料(bitter melon seed diet, BMD)(在不同梯度添加量的预试验中,含 75%大巢菜籽、苦瓜籽的饲料适口性差,草鱼采食量低,有吐食现象,且制粒性能差,水中有散失,故结合适口性和制粒性能,确定该两组饲料中大巢菜籽、苦瓜籽用量为 60%);同时,将干蚕豆浸泡 24 h 后,切成适合鱼体口径的碎块,计为浸泡蚕豆(soaked broad bean, SBB),直接投喂。

干蚕豆购于上海市惠南滨海镇农贸市场,大巢菜籽采摘于上海市浦东新区临港新城郊区,均为当年产;苦瓜籽购于上海市惠南镇华泰药店。

在饲料制作前,将蚕豆、大巢菜籽及苦瓜籽风干处理,充分粉碎(常规成分见表 1)。各主要原料过 40 目(苦瓜籽过 20 目),混合均匀,以颗粒机(浙江新昌城关陈氏机械厂 KL 系列 105A-4-2 型)制成粒径 2 mm 沉性颗粒,制粒温度为 80℃。饲料组成及营养水平见表 2。

1.2 实验用鱼与饲养管理

在正式实验前,草鱼鱼种放入暂养池驯化 1 周以适应试验饲料及养殖环境,选取 375 尾体质健壮,规格整齐的草鱼鱼种(体重 59.0 g±0.6 g)随机移入 15 口网箱(2.5 m×1.2 m×1.2 m),共 5 个处理组,每处理 3 平行(网箱),网箱置于水泥池(5.0 m×3.0 m×1.2 m)中,每网箱 25 尾。每天按体重 3 %左右分 3 次(09:00, 13:00, 17:00)投喂,根据水温、摄食情况进行调整,以投饲后 15 min 内无残饵为宜(浸泡蚕豆组的投饲量则以投饲 1 h 内无残饵为宜)。昼夜充气,每周更换 1/3 水量;养殖期间水位 0.85~0.90 m,水温 20~30℃,DO>4.5 mg/L,氨氮<0.2 mg/L。养殖试验在上海海洋大学滨海水产养殖场进行,共持续 8 周。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生长指标和形体指标 养殖试验结束后,鱼体饥饿 24 h,计数并称量各网箱鱼体重,计算增重率(WGR)、饲料系数(FCR)和成活率(SR);各网箱随机取鱼 6 尾,测量体重、体长,解剖后取出内脏,称量内脏重、肝胰脏重,计算肝胰脏指数(HSI)、内脏指数(VSI)和肥满度(CF)。

增重率(%)=100×[终末体重(g)–初始体重(g)]/初始体重(g);

饲料系数=摄食量(g)/[终末体重(g)–初始体重(g)];

表 1 蚕豆、大巢菜籽及苦瓜籽常规成分
Tab. 1 Proximate composition of broad bean, common vetch seed and bitter melon seed

项目 item	蚕豆 broad bean	大巢菜籽 common vetch seed	苦瓜籽 bitter melon seed
水分 moisture	12.5±0.4	7.4±0.1	10.2±0.2
粗蛋白质 crude protein	29.2±0.3	25.3±0.2	27.4±0.2
粗脂肪 crude lipid	3.5±0.6	3.0±0.2	11.3±0.5
灰分 ash	3.5±0.0	3.1±0.0	11.0±0.1

表 2 饲料组成及营养水平
Tab. 2 Composition and nutrient levels of diets

%, 饲喂基础 at fed basis					
项目 item	对照饲料 control diet	浸泡蚕豆 SBB	蚕豆饲料 BBD	巢菜籽饲料 CVD	苦瓜籽饲料 BMD
鱼粉 fish meal	3.0		3.0	3.0	3.0
豆粕 soybean meal	10.0		-	-	-
棉粕 cottonseed meal	16.0		-	-	-
菜粕 rapeseed meal	16.0		8.0	11.0	19.0
小麦麸 wheat bran	9.50		-	-	-
米糠 rice bran	15.0		9.9	10.5	2.5
次粉 wheat middling	22.0		-	12.0	12.0
面粉 wheat flour	5.0		-	-	-
干蚕豆 dry broad bean	-	100.0	75.0	-	-
大巢菜籽 common vetch seed	-		-	60.0	-
苦瓜籽 bitter melon seed	-		-	-	60.0
大豆油 soybean oil	0.5		0.5	0.5	0.5
氯化胆碱 choline chloride	0.5		0.5	0.5	0.5
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.5		1.5	1.5	1.5
维生素预混料 ¹⁾ vitamin premix ¹⁾	0.5		0.5	0.5	0.5
矿物元素预混料 ²⁾ mineral premix ²⁾	0.5		0.5	0.5	0.5
微囊蛋氨酸 micro-encapsulated Met	-		0.6	-	-
合计 total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
营养成分 nutrient level					
水分 moisture	8.6	59.5	9.4	9.8	9.3
粗蛋白质 crude protein	28.4	13.5	28.2	26.7	28.1
粗脂肪 crude lipid	4.8	1.6	4.4	4.4	6.8
灰分 ash	6.7	1.6	5.7	5.4	6.5

注: 1) 维生素预混料向每千克饲料提供: V_A 6000 IU, V_C 200 mg, V_D 2000 IU, V_E 50 mg, V_K 5 mg, V_{B1} 15 mg, V_{B2} 15 mg, V_{B3} 30 mg, V_{B5} 35 mg, V_{B6} 6 mg, 生物素 0.2 mg, 叶酸 3 mg, V_{B12} 0.03 mg, 肌醇 200 mg. 2) 矿物元素预混料向每千克饲料提供: Zn 80 mg, Fe 150 mg, Cu 4 mg, Mn 20 mg, I 0.4 mg, Co 0.1 mg, Se 0.1 mg, Mg 100 mg.
Note: 1) The vitamin premix provided the following per kg of diets: retinyl acetate A 6000 IU, ascorbic acid 200 mg, cholecalciferol 2000 IU, tocopherol 50 mg, menadione 5 mg, thiamin 15 mg, riboflavin 15 mg, niacin 30 mg, pantothenic acid 35 mg, pyridoxamine 6 mg, biotin 0.2 mg, folic acid 3 mg, cobalamin 0.03 mg, inositol 200 mg. 2) The mineral premix provided the following per kg of diets: zinc 80 mg, iron 150 mg, copper 4 mg, manganese 20 mg, iodine 0.4 mg, cobalt 0.1mg, selenium 0.1 mg, magnesium 100 mg.

成活率(%)=100×终末尾数(尾)/初始尾数(尾);
肝胰脏指数(%)=100×终末肝胰脏重(g)/终末
体重(g);
内脏指数(%)=100×终末内脏重(g)/终末体重(g);
肥满度(g·cm⁻³)=100×终末体重(g)/终末体长³
(cm³);
其中, 浸泡蚕豆组的饲料系数以折算为干蚕
豆计算。

1.3.2 前肠消化酶、肝胰脏及血清生化指标 饲养
实验结束后, 每网箱取鱼 6 尾, 尾静脉处采血

(0.1%肝素钠抗凝), 3000 r/min 离心 5 min, 取上清
液于-80℃冻存, 测定谷草转氨酶(AST)、谷丙转
氨酶(ALT)、免疫球蛋白 M(IgM)含量及碱性磷酸
酶(ALP)。ALT、AST 活性采用赖氏法测定, IgM
采用生物素双抗体夹心酶联免疫吸附法(ELISA)
测定(南京建成生物技术研究所提供测试盒); ALP
采用紫外-乳酸脱氢酶法测定(迈瑞公司提供测试
盒), 于迈瑞 BS-200 全自动生化分析仪上测定。
上述实验鱼在采血后, 解剖, 取其第一截点
之前的肠道(前肠)、肝胰脏于-80℃冻存备测。测

定相关指标时, 取适量样品剪碎, 加入预冷的生理盐水(重量/体积=1/9)进行冰水浴匀浆 4 min, 4℃下离心 10 min (2500 r/min), 取上清液, 测定前肠碱性蛋白酶、脂肪酶、 α -淀粉酶, 肝胰脏超氧化物歧化酶(SOD)活性、丙二醛(MDA)含量及总蛋白含量(prot)。碱性蛋白酶采用福林酚法测定, 1 mL 液体酶在 40℃、pH 10.5 条件下, 1 min 水解酪素产生 1 μ g 酪氨酸为 1 个酶活力单位(U)。脂肪酶采用乳胶分解法测定, 在 37℃条件下, 1 g 组织蛋白在本反应体系中与底物反应 1 min, 每消耗 1 μ mol/L 底物为 1 个酶活力单位(U); α -淀粉酶采用碘-淀粉比色法测定, 组织中 1 mg 蛋白在 37℃与底物作用 30 min, 水解 10 mg 淀粉为 1 个酶活力单位(U); SOD 采用黄嘌呤氧化酶法测定; MDA 采用硫代巴比妥酸法测定; 总蛋白采用考马斯亮蓝法测定(南京建成生物技术研究提供测试盒)。

1.3.3 肌肉、原料及饲料成分 上述实验鱼在解剖后, 取两侧背部肌肉于-80℃冻存。测定肌肉、原料及饲料水分、粗蛋白质、粗脂肪、灰分。水分测定采用 105℃烘干法; 粗蛋白质测定采用凯氏定氮法; 粗脂肪测定采用氯仿甲醇法; 灰分测定采用 550℃灼烧法。同时测定肌肉胶原蛋白含量、氨基酸组成和肌酸激酶活性; 胶原蛋白测定采用羟脯氨酸法(南京建成生物技术研究提供测试盒), 其原理为羟脯氨酸在氧化剂的作用下所

产生的氧化产物与二甲氨基苯甲醛作用呈现紫红色, 根据呈色深浅可测算羟脯氨酸含量, 再乘以换算系数 11.1 得胶原蛋白含量^[14]。

每网箱 6 尾鱼各取 1 g 肌肉合并为一个样本(每处理 3 个样本), 于 60℃下烘至恒重, 称取 50 mg 左右样品, 以 6 mol/L 盐酸于真空状态下 110℃水解 24 h, 经冷却、过滤、烘干及稀释后, 以 Sykam S-433D 氨基酸自动分析仪(赛卡姆, 德国)测定肌肉氨基酸组成。在水解过程中, 蛋氨酸及半胱氨酸部分被破坏, 而色氨酸则全部降解。

取-80℃冻存的肌肉样品, 加入预冷的生理盐水(重量/体积=1/9)于冰水浴匀浆 4 min, 4℃下离心 10 min(2500 r/min), 取上清液测定肌肉肌酸激酶(CK)活性和总蛋白含量(prot)。总蛋白采用考马斯亮蓝法测定; 肌酸激酶采用钼酸铵法测定(南京建成生物技术研究提供测试盒)。

1.4 数据分析与处理

试验所得数据以平均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm SD$)表示, 以 SPSS 17.0 统计软件中的 ANOVA 过程进行单因子方差分析, $P < 0.05$ 为差异显著。差异显著者进行 Duncan's 多重比较检验。

2 结果与分析

2.1 蚕豆、大巢菜籽及苦瓜籽饲料对草鱼生长性能和形体指标的影响

由表 3 可见, 配合饲料组的增重率、饲料干

表 3 蚕豆、大巢菜籽及苦瓜籽饲料对草鱼生长指标和形体指标的影响
Tab. 3 Effects of BBD, CVD and BMD diets on growth and physical indicators of grass carp

$n=3; \bar{x} \pm SD$

项目 item	组别 group				
	对照 control	浸泡蚕豆 SBB	蚕豆饲料 BBD	巢菜籽饲料 CVD	苦瓜籽饲料 BMD
初均体重/g IBW	59.0 $\pm$ 0.1	58.7 $\pm$ 0.2	58.9 $\pm$ 0.9	59.6 $\pm$ 0.6	58.9 $\pm$ 0.4
末均体重/g FBW	126.3 $\pm$ 0.6 ^a	91.0 $\pm$ 1.8 ^c	109.1 $\pm$ 1.9 ^b	81.6 $\pm$ 0.4 ^d	84.2 $\pm$ 1.1 ^d
饲料干物质日摄入量/g FI	2.28 $\pm$ 0.03 ^a	1.78 $\pm$ 0.11 ^c	1.95 $\pm$ 0.04 ^b	1.11 $\pm$ 0.02 ^c	1.43 $\pm$ 0.04 ^d
增重率/% WGR	114.2 $\pm$ 1.4 ^a	54.3 $\pm$ 3.0 ^c	85.2 $\pm$ 5.9 ^b	37.7 $\pm$ 1.6 ^d	42.8 $\pm$ 2.1 ^d
饲料系数 FCR	2.00 $\pm$ 0.12 ^a	3.29 $\pm$ 0.33 ^d	2.40 $\pm$ 0.09 ^b	3.08 $\pm$ 0.04 ^c	3.51 $\pm$ 0.25 ^d
成活率/% SR	100	100	100	100	100
肝胰脏指数/% HSI	2.40 $\pm$ 0.39 ^a	2.25 $\pm$ 0.40 ^{ab}	1.88 $\pm$ 0.40 ^{cd}	2.10 $\pm$ 0.39 ^{bc}	1.81 $\pm$ 0.38 ^d
内脏指数/% VSI	9.43 $\pm$ 0.87 ^a	9.74 $\pm$ 1.29 ^a	8.18 $\pm$ 1.20 ^b	8.33 $\pm$ 1.43 ^b	7.55 $\pm$ 0.67 ^b
肥满度/(g $\cdot$ cm ⁻³) CF	1.98 $\pm$ 0.09	1.92 $\pm$ 0.11	1.93 $\pm$ 0.09	1.94 $\pm$ 0.08	1.97 $\pm$ 0.06

注: 同行无字母或数据上标相同表示差异不显著($P > 0.05$), 不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$).
Note: In the same row, values with no letter or the same superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$), while with different superscripts mean significant difference ($P < 0.05$).

物质日摄入量显著高于其他各组($P<0.05$), 饲料系数显著低于其他各组($P<0.05$)。与浸泡蚕豆组相比, 蚕豆饲料组的增重率提高 56.9%, ($P<0.05$), 饲料系数下降 27.1% ($P<0.05$), 而巢菜籽饲料组、苦瓜籽饲料组的增重率分别下降 30.6%、21.2% ($P<0.05$)。巢菜籽饲料组与苦瓜籽饲料组在增重率上无显著差异($P>0.05$)。

在形体指标方面, 蚕豆饲料组、巢菜籽饲料组及苦瓜籽饲料组的肝胰脏指数、内脏指数均较对照组显著下降($P<0.05$), 而浸泡蚕豆组与对照组在肝胰脏指数、内脏指数上无显著差异

($P>0.05$), 此外, 各处理组在肥满度上无显著差异($P>0.05$)。

2.2 蚕豆、大巢菜籽及苦瓜籽饲料对草鱼血清、肝胰脏生化指标的影响

从表 4 可知, 浸泡蚕豆组、蚕豆饲料组血清 ALT 活性显著高于对照组 ($P<0.05$), 除苦瓜籽饲料组外, 其他各组在 AST 活性上无显著差异 ($P>0.05$), 苦瓜籽饲料组的 ALT ($P>0.05$)、AST ($P<0.05$)、ALP ($P<0.05$)活性最低, 与对照组相比, 其他各组血清 ALP 显著降低($P<0.05$), 各处理组在 IgM 含量上无显著差异($P>0.05$)。

表 4 蚕豆、大巢菜籽及苦瓜籽饲料对草鱼血清、肝胰脏及肌肉生化指标的影响
Tab. 4 Effects of BBD, CVD and BMD diets on biochemical indicators in serum, hepatopancreas and muscle of grass carp
 $n=3$; $\bar{x} \pm SD$

项目 item	组别 group				
	对照 control	浸泡蚕豆 SBB	蚕豆饲料 BBD	巢菜籽饲料 CVD	苦瓜籽饲料 BMD
血清 ALT/(U·L ⁻¹)	5.1±1.7 ^a	8.8±2.9 ^{bc}	9.5±1.7 ^c	6.0±1.3 ^{ab}	4.7±0.8 ^a
血清 AST/(U·L ⁻¹)	34.6±5.7 ^a	35.3±5.8 ^a	36.0±3.3 ^a	29.7±0.9 ^a	20.2±4.1 ^b
血清 ALP/(U·L ⁻¹)	22.1±2.9 ^a	13.4±2.6 ^b	14.6±2.2 ^b	13.9±3.1 ^b	9.7±1.5 ^c
血清 IgM/(mg·mL ⁻¹)	0.78±0.10	0.79±0.18	0.89±0.02	0.87±0.21	0.86±0.09
肝胰脏 SOD/(U·mg ⁻¹ prot)	161.1±2.1 ^c	92.3±7.4 ^a	100.9±8.1 ^a	134.9±3.9 ^b	208.4±10.2 ^d
肝胰脏 MDA/(nmol·mg ⁻¹ prot)	1.63±0.19 ^a	2.54±0.23 ^c	2.11±0.42 ^b	2.62±0.32 ^c	1.27±0.15 ^a
肌肉 CK/(U·mg ⁻¹ prot)	41.8±0.4 ^a	55.7±4.6 ^b	60.5±1.0 ^b	61.8±3.8 ^b	40.0±8.4 ^a

注: 同行无字母或数据上标相同表示差异不显著($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$).
Note: In the same row, values with no letter or the same superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different superscripts mean significant difference ($P<0.05$).

与对照组相比, 浸泡蚕豆组、蚕豆饲料组、巢菜籽饲料组肝胰脏 SOD 活性显著下降($P<0.05$), 肝胰脏 MDA 含量、肌肉肌酸激酶活性显著升高 ($P<0.05$), 而苦瓜籽饲料组肝胰脏 SOD 显著升高 ($P<0.05$), 但肌酸激酶活性及 MDA 含量与对照组无显著差异($P>0.05$)。此外, 蚕豆饲料组的肝胰脏 MDA 含量低于浸泡蚕豆组($P<0.05$)。

2.3 蚕豆、大巢菜籽及苦瓜籽饲料对草鱼肠道消化酶的影响

由表 5 可见, 与对照组相比, 其他各组前肠脂肪酶活性显著降低($P<0.05$), 而 α -淀粉酶活性则显著上升($P<0.05$); 浸泡蚕豆组、蚕豆饲料组、巢菜籽饲料组肠道碱性蛋白酶活性较对照组显著下降($P<0.05$), 而苦瓜籽饲料组与对照组无显著差异($P>0.05$)。

2.4 蚕豆、大巢菜籽及苦瓜籽饲料对草鱼肌肉成分的影响

由表 6 可知, 与对照组相比, 其他各组肌肉水分显著增加 ($P<0.05$), 而粗脂肪显著下降 ($P<0.05$); 对照组、蚕豆饲料组、巢菜籽饲料组粗蛋白质较浸泡蚕豆组显著提高($P<0.05$), 苦瓜籽饲料组与浸泡蚕豆组在粗蛋白质含量上无显著差异($P>0.05$); 在胶原蛋白方面, 浸泡蚕豆组、蚕豆饲料组、巢菜籽饲料组、苦瓜籽饲料组较对照组分别提高 29.6%、29.6%、33.3%、44.4%($P<0.05$)。各处理组在灰分上无显著差异($P>0.05$)。

2.5 蚕豆、大巢菜籽及苦瓜籽饲料对草鱼肌肉氨基酸组成的影响

由表 7 可见, 苦瓜籽饲料组 Asp、Glu、Val、Ile、Phe、TAA 及 DAA 较对照组、浸泡蚕豆组显

表 5 蚕豆、巢菜籽及苦瓜籽饲料对草鱼前肠消化酶的影响
Tab. 5 Effects of BBD, CVD and BMD diets on intestinal digestive enzymes of grass carp

$n=3$; $\bar{x} \pm SD$

项目 item	组别 group				
	对照 control	浸泡蚕豆 SBB	蚕豆饲料 BBD	巢菜籽饲料 CVD	苦瓜籽饲料 BMD
碱性蛋白酶/(U·mg ⁻¹ prot) protease	22.1±2.5 ^a	14.1±2.7 ^b	16.9±3.5 ^b	16.7±0.7 ^b	25.0±2.0 ^a
脂肪酶/(U·g ⁻¹ prot) lipidase	12.9±1.5 ^a	7.1±1.3 ^b	6.9±1.9 ^b	5.9±0.8 ^b	5.8±0.8 ^b
α-淀粉酶/(U·g ⁻¹ prot) amylase	18.9±5.6 ^a	31.7±1.9 ^c	31.3±1.3 ^c	23.8±4.1 ^b	32.4±2.0 ^c

注: 同行无字母或数据上标相同表示差异不显著($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$).

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

表 6 蚕豆、巢菜籽及苦瓜籽饲料对草鱼肌肉成分的影响
Tab. 6 Effects of BBD, CVD and BMD diets on muscle composition of grass carp

%, 鲜重 wet basis; $n=3$; $\bar{x} \pm SD$

项目 item	组别 group				
	对照 control	浸泡蚕豆 SBB	蚕豆饲料 BBD	巢菜籽饲料 CVD	苦瓜籽饲料 BMD
水分 moisture	76.96±0.52 ^a	78.88±0.34 ^c	78.00±0.27 ^b	78.60±0.33 ^c	78.96±0.18 ^c
粗蛋白质 crude protein	19.94±0.25 ^a	18.78±0.37 ^c	19.88±0.59 ^a	19.28±0.26 ^b	18.87±0.16 ^c
粗脂肪 crude lipid	2.04±0.37 ^a	1.41±0.17 ^{bc}	1.58±0.17 ^b	1.35±0.10 ^{bc}	1.32±0.20 ^c
灰分 ash	1.47±0.17	1.44±0.07	1.39±0.12	1.40±0.15	1.43±0.12
胶原蛋白 collagen	0.27±0.09 ^a	0.35±0.06 ^b	0.35±0.03 ^b	0.36±0.01 ^b	0.39±0.06 ^b

注: 同行无字母或数据上标相同表示差异不显著($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$).

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

表 7 蚕豆、巢菜籽及苦瓜籽饲料对草鱼肌肉氨基酸组成的影响
Tab. 7 Effects of BBD, CVD and BMD diets on muscle amino acid composition of grass carp

%, 干物质基础 dry basis; $n=3$; $\bar{x} \pm SD$

项目 item	组别 group				
	对照 control	浸泡蚕豆 SBB	蚕豆饲料 BBD	巢菜籽饲料 CVD	苦瓜籽饲料 BMD
天门冬氨酸 Asp*	8.98±0.01 ^a	8.96±0.00 ^a	9.06±0.11 ^a	9.29±0.20 ^{ab}	9.40±0.14 ^b
苏氨酸 Thr**	3.83±0.04	3.79±0.07	3.71±0.14	3.87±0.17	3.74±0.02
丝氨酸 Ser	3.61±0.03	3.61±0.08	3.54±0.14	3.69±0.20	3.53±0.00
谷氨酸 Glu*	12.79±0.40 ^a	13.08±0.18 ^a	13.66±0.69 ^{ab}	13.87±0.59 ^{ab}	14.73±0.21 ^b
甘氨酸 Gly*	4.33±0.20 ^b	4.05±0.10 ^a	4.42±0.02 ^b	4.49±0.11 ^b	4.42±0.07 ^b
丙氨酸 Ala*	5.28±0.06	5.26±0.06	5.17±0.11	5.32±0.18	5.24±0.08
缬氨酸 Val**	4.13±0.12 ^a	4.12±0.06 ^a	4.19±0.06 ^a	4.36±0.10 ^{ab}	4.51±0.13 ^b
异亮氨酸 Ile**	3.76±0.10 ^{ab}	3.70±0.01 ^a	3.73±0.01 ^a	3.92±0.01 ^{bc}	3.99±0.15 ^c
亮氨酸 Leu**	7.40±0.01	7.35±0.07	7.31±0.18	7.58±0.26	7.45±0.12
酪氨酸 Tyr	2.76±0.07	2.79±0.08	2.83±0.08	2.79±0.21	2.95±0.12
苯丙氨酸 Phe**	3.68±0.08 ^{ab}	3.64±0.02 ^a	3.70±0.06 ^{ab}	3.82±0.06 ^{bc}	3.90±0.06 ^c
组氨酸 His	3.68±0.04 ^a	3.78±0.01 ^a	3.28±0.17 ^b	3.62±0.13 ^a	3.53±0.15 ^{ab}
赖氨酸 Lys**	8.13±0.22	8.28±0.41	8.21±0.07	7.97±0.77	8.41±0.17
精氨酸 Arg	4.83±0.07 ^a	4.89±0.00 ^{ab}	4.91±0.09 ^{ab}	5.05±0.15 ^{ab}	5.12±0.03 ^b
脯氨酸 Pro	2.15±0.15	2.28±0.08	2.11±0.18	2.18±0.14	2.15±0.03
总氨基酸 TAA	79.29±1.34 ^a	79.57±0.72 ^a	79.82±0.13 ^{ab}	81.82±0.57 ^{bc}	83.08±1.23 ^c
必需氨基酸 EAA	30.90±0.48	30.87±0.47	30.85±0.28	31.53±0.44	32.01±0.65
鲜味氨基酸 DAA	31.37±0.65 ^a	31.35±0.34 ^a	32.31±0.72 ^{ab}	32.96±0.67 ^b	33.78±0.50 ^b

注: *鲜味氨基酸; **人类必需氨基酸. 同行无字母或数据上标相同表示差异不显著($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$).

Note: * delicious amino acids. **means essential amino acids for human. In the same row, values with no letter or the same superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$).

著上升($P<0.05$)。与对照组、浸泡蚕豆组相比,巢菜籽饲料组 TAA、DAA 显著增加,蚕豆饲料组 His 显著下降($P<0.05$)。浸泡蚕豆组 Gly 显著低于其他各组($P<0.05$),各处理组在 Thr、Ser、Ala、Leu、Tyr、Lys、Pro 及 EAA 含量上无显著差异($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 蚕豆、大巢菜籽及苦瓜籽饲料对草鱼生长的影响

研究表明,以蚕豆投喂草鱼会降低鱼体的生长性能^[15-18],表现为增重率和饲料效率下降,这与本实验草鱼摄食蚕豆的结果相一致,并且本实验还发现,摄食蚕豆、巢菜籽及苦瓜籽饲料的鱼体生长性能也显著降低。其原因与蚕豆、大巢菜籽及苦瓜籽含有较高浓度的蚕豆甙(干物质中分别为 6.68 g/kg^[10]、7.13 g/kg^[11]、5.24 g/kg^[12])有关。蛋鸡摄食含 10 g/kg 蚕豆甙的饲料后,摄食量、蛋重、孵化率均下降,并出现血脂过氧化和红细胞溶血现象^[9],这与人类的“蚕豆病”症状^[7-8]类似;Vilarino 等^[19]以含 10.1 g/kg 蚕豆甙的饲料饲喂肉鸡,显著降低了饲料的表现代谢能与总消化能。此外,蚕豆、巢菜籽及苦瓜籽中还含有较多的其他抗营养因子,如缩合单宁、凝集素、蛋白酶抑制剂和植酸等^[20],这些物质一方面能使饲料表现出苦涩味,导致饲料适口性下降,降低鱼体摄食,另一方面也会阻碍消化酶与蛋白质等营养物质接触或者降低消化酶的活性^[17, 21],从而影响肠道对营养物质的消化吸收。本实验中,草鱼对蚕豆、蚕豆饲料、巢菜籽饲料及苦瓜籽饲料的采食量显著下降,以巢菜籽、苦瓜籽饲料最为明显。本实验室的前期工作发现,对于含 75%巢菜籽或苦瓜籽的饲料,草鱼的摄食量很小,经常表现出摄食后吐食的现象,这表明高含量的巢菜籽或苦瓜籽严重影响了饲料的适口性,故在本次实验中,巢菜籽、苦瓜籽的用量设计为 60%。在消化酶方面,浸泡蚕豆组、蚕豆饲料组、巢菜籽饲料组及苦瓜籽饲料组的脂肪酶活性显著下降,浸泡蚕豆组、蚕豆饲料组、巢菜籽饲料组的碱性蛋白酶也显著降低,尽管浸泡蚕豆组、蚕豆饲料组、巢菜

籽饲料组及苦瓜籽饲料组的 α -淀粉酶活性升高了,这可能是蚕豆、巢菜籽及苦瓜籽中含较多的淀粉及糖类诱导引起的 α -淀粉酶活性上升,但总体上来看,与配合饲料相比,75%的蚕豆、60%的巢菜籽与苦瓜籽饲料及浸泡蚕豆影响了草鱼对饲料中蛋白质及脂肪的消化吸收,降低了草鱼的生长性能。

本实验中,以蚕豆为主要原料,辅以鱼粉、菜粕、米糠、豆油等其他原料,并补充蛋氨酸,制粒成蚕豆颗粒饲料投喂草鱼,发现鱼体增重率、饲料利用率较均较浸泡蚕豆组显著提高,这与草鱼对蚕豆饲料的采食量上升及该饲料能够提供较为均衡的营养物质有关;当然,蚕豆颗粒饲料组的草鱼生长性能仍显著低于配合饲料组,这与蚕豆用量高于 36%~37%时显著降低罗非鱼^[13, 22]增重率、饲料效率相一致。然而毛盼等^[23]用含 80%的蚕豆饲料饲喂草鱼 20 周,并不影响草鱼的生长性能,这可能与该实验所用草鱼规格较大(860 g)有关,大规格的个体,发育较完善,对营养素的需求较低,对抗营养因子的耐受性也更高。

当饲料中巢菜籽用量超过 20%时,新西兰白兔增重率下降 13.0%,饲料系数上升 7.1%^[24],这与本实验投喂草鱼巢菜籽饲料的结果相一致。在苦瓜籽的研究上,国内外主要集中在苦瓜籽生物活性成分的鉴别与提取上,如蚕豆甙^[12]、胰蛋白酶抑制剂^[25]、黄酮^[26]及 α -苦瓜素^[27]等,尚未见以苦瓜籽作为饲料原料的研究报道。本实验结果表明,以苦瓜籽作为饲料原料,导致了草鱼生长性能的严重下降,这与苦瓜籽中苦瓜素^[27]产生特有的苦涩味使采食量下降有关。

3.2 蚕豆、大巢菜籽及苦瓜籽饲料对草鱼机体组织生化指标的影响

血液中酶活性的改变通常意味着机体组织的病理损伤^[28]。当肝通透性改变或者肝细胞破裂时,ALT、AST 及 ALP 会溢出细胞进入血液循环,导致血液中三者活性上升。本实验中,草鱼摄食蚕豆及蚕豆饲料后,血清 ALT 活性升高,这与李忠铭等^[17]投喂草鱼蚕豆及毛盼等^[23]投喂草鱼蚕豆饲料的研究结果一致;此外,浸泡蚕豆组、蚕豆饲

料组血清 AST 活性变化不大, Teschke^[29]认为 AST 是区域性酶, 60%位于线粒体内, 40%处于胞质中, 肝的轻微损伤并不会使血清 AST 活性上升。上述现象表明蚕豆中的多种抗营养因子可能对肝功能有损伤作用。

ALP 是锌金属酶, 锌元素的缺乏会使 ALP 活性降低^[30]。在本研究中, 相对于对照组, 其他各组血清 ALP 活性均显著下降, 可能原因在于蚕豆中锌元素含量较低有关 (子叶 37.9 mg/kg, 种皮 13.3 mg/kg^[31]); 此外, 尽管在蚕豆、巢菜籽及苦瓜籽饲料配方中添加了 80 mg/kg 锌, 但蚕豆、巢菜籽及苦瓜籽中高浓度的植酸, 可使锌的可利用性下降^[32], Azaza 等^[13]以鱼粉、豆粕及蚕豆等为主要原料配制蚕豆含量为 0~36% 的 4 种饲料饲喂罗非鱼, 其植酸含量由 0.52% 升至 1.97%。这些可能是血清 ALP 活性下降的主要原因。

当机体处于氧化损伤时, 会产生丙二醛、4-羟基壬烯醛(4-hydroxynonenal)等脂质过氧化产物^[33-34], 抑制蛋白质的合成和酶活性^[35], 如腹腔注射醋氨酚可使新西兰兔肝细胞丙二醛含量显著增加^[36]。本实验中, 草鱼摄食浸泡蚕豆、蚕豆饲料及巢菜籽饲料后, 肝胰脏 MDA 浓度显著增加, SOD 活性显著下降, 表明肝细胞可能受到了较大的氧化损伤, 蚕豆和巢菜籽均含有较高含量的蚕豆甙, Mager 等^[7]研究认为, 蚕豆甙在蚕豆自身或者人体消化道内 β -糖苷酶作用下, 水解生成的糖苷配基蚕豆嘧啶是导致人体正常或者 G6PD 缺陷型红细胞中还原型谷胱甘肽(GSH)含量下降, 出现氧化损伤的主要原因; 另外, 草鱼摄食蚕豆饲料后的肝胰脏 MDA 含量较浸泡蚕豆显著降低, 从表 3 可知, 折算后, 浸泡蚕豆组和蚕豆饲料组的蚕豆干物质日摄入量分别为 1.78 g、1.46 g, 浸泡蚕豆组的毒物累积效应较为明显, 并且蚕豆饲料较浸泡蚕豆能够提供较为均衡的营养物质, 从而表现出蚕豆饲料对肝胰脏的负面影响较浸泡蚕豆的小; 但在苦瓜籽饲料组, 草鱼血清 AST 及肝胰脏 MDA 均低于对照组, 而 SOD 显著升高, 这可能与苦瓜籽中黄酮^[26]及 α -苦瓜素^[27]提高了草鱼机体免疫能力有关。肌酸激酶(CK)能够催化磷

酸基在二磷酸腺苷 ADP 和磷酸肌酸间的可逆性转移, 在肌肉组织的能量代谢中起重要作用^[37], 如参与能量缓冲与转运、调节胞内 ATP 水平。本试验中, 浸泡蚕豆组、蚕豆饲料组及巢菜籽饲料组肌酸激酶活性较对照组显著上升, 可能是蚕豆、巢菜籽存在的一些抗营养因子或活性物质提高了草鱼肌肉组织对能量的需求, 以此来适应饲料的变化。

3.3 蚕豆、大巢菜籽及苦瓜籽饲料对草鱼肌肉成分的影响

鱼类肌肉基本组成、质构、色泽及脂肪含量在一定程度上可反映其肌肉的营养价值^[38]。在饲喂蚕豆或含蚕豆的饲料对草鱼肌肉脂肪含量影响方面, 既有增加脂肪含量的报道^[24, 39-40], 也有减少脂肪含量的报道^[15-17, 21], 出现这些不同结果, 可能与养殖方式、养殖时间、不同生长阶段等因素有关。Azaza 等^[13]和 Gaber^[22]发现, 罗非鱼摄食含 36%~37% 蚕豆的饲料后, 其体脂肪含量显著下降。在本实验中, 草鱼摄食蚕豆、巢菜籽、苦瓜籽饲料及蚕豆后肌肉脂肪含量显著降低, 水分含量显著上升, 其原因可能与抗营养因子导致前肠脂肪酶活性显著下降(表 5)有关, 也可能是蚕豆、巢菜籽及苦瓜籽中的某些生理活性成分作用于肝胰脏, 影响了脂肪在肝胰脏中转运, 致使肌肉脂肪沉积量减小。另一方面, 肌肉脂肪的含量下降, 会影响到肌肉品质: 肌肉粗脂肪含量越低, 肌束之间摩擦力越大, 肌肉嫩度就越低、硬度就越大, 咀嚼性增加^[39, 41-42]。

肌肉品质和胶原蛋白含量有一定的关联性。胶原蛋白含量越高, 肌肉硬度增加^[43-44], 胶原纤维耐折力及保持肌肉结构稳定性的能力越强^[45]。研究表明, 饲喂蚕豆草鱼的肌肉胶原蛋白含量显著增加^[15-16, 18, 21, 41]。本次实验也得到了类似结果: 投喂蚕豆、大巢菜籽、苦瓜籽饲料及浸泡蚕豆, 均使草鱼肌肉胶原蛋白显著增加, 其原因可能是蚕豆、大巢菜籽及苦瓜籽的未知因子促进了胶原相关基因的表达如 I 型胶原基因^[46], 或增加了脯氨酸羟化酶、赖氨酸羟化酶^[47]的活性, 使肌肉中胶原合成能力增强。此外, 在甘承露等^[40]及毛盼等^[23]的

研究中,投喂蚕豆、蚕豆饲料提高了草鱼肌肉总氨基酸、必需氨基酸以及呈味氨基酸含量,但在本次研究中,饲喂蚕豆、蚕豆饲料并未改变草鱼肌肉氨基酸的组成及含量(组氨酸、甘氨酸除外),而饲喂巢菜籽及苦瓜籽饲料提高了肌肉总氨基酸及呈味氨基酸含量,这表明在对肌肉品质影响方面,蚕豆、巢菜籽、苦瓜籽可能具有各自不同的活性因子,这有待于进一步研究。

4 结论

饲喂以蚕豆、巢菜籽、苦瓜籽为主要成分的配合饲料及浸泡蚕豆可提高草鱼肌肉胶原蛋白含量,降低肌肉脂肪含量,但也降低了草鱼生长性能;综合生长性能和肌肉组成,蚕豆饲料较巢菜籽饲料、苦瓜籽饲料和浸泡蚕豆在脆化草鱼养殖生产中更具有可行性。

参考文献:

- [1] Lin W L, Zeng Q X, Zhu Z W. Different changes in mastication between crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V) and grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) after heating: The relationship between texture and ultrastructure in muscle tissue[J]. Food Res Int, 2009, 42(2): 271–278.
- [2] Tan Q K, Li H S. Effects of diets dose and water quality on the transformation of common grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V) to crisped grass carp[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(7): 2409–2415. [谭乾开, 黎华寿. 食物与水环境因子对草鱼(*Ctenopharyngodon idellus* C. et V)脆化过程的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(7): 2409–2415.]
- [3] Jiao L M, Yuan W. Anti-nutritional factors in broad bean[J]. Machinery for Cereals Oil and Food Processing, 2004(2): 51–53. [焦凌梅, 袁唯. 蚕豆中抗营养因子的研究[J]. 粮油加工与食品机械, 2004(2): 51–53.]
- [4] Li X Q, Qiu A Y. Advances of physiologically beneficial substances from broad bean[J]. Cereals & Oils, 2002(7): 34–35. [李雪琴, 裘爱泳. 蚕豆生理活性物质研究进展[J]. 粮食与油脂, 2002(7): 34–35.]
- [5] Kuang X M, Zhang H, Chen B, et al. Comparison on the content of the nutrient composition in grass carp's muscle and the Glucose-6-Phosphodehydrogenase in its erythrocyte from the beginning to the end of making grass carp's meat crisp to the taste[J]. Natural Science Journal of Hainan University, 2004, 22(3): 258–261. [邝雪梅, 张环, 陈斌, 等. 草鱼脆化前后肌肉营养成分及其红细胞中葡萄糖-6-磷酸脱氢酶含量的比较[J]. 海南大学学报: 自然科学版, 2004, 22(3): 258–261.]
- [6] Tan Q K, Li H S. Preliminary study on the ecology and pathology of crisped grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(8): 2749–2756. [谭乾开, 黎华寿. 脆化草鱼(*Ctenopharyngodon idellus* C. et V)的病理生理生态学[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2749–2756.]
- [7] Mager J, Glaser G, Razin A, et al. Metabolic effects of pyrimidines derived from fava bean glycosides on human erythrocytes deficient in glucose-6-phosphate dehydrogenase[J]. Biochem Biophys Res Commun, 1965, 20(2): 235–240.
- [8] Sartori E. On the pathogenesis of favism[J]. J Med Genet, 1971, 8(4): 462–467.
- [9] Muduuli D S, Marquardt R R, Guenter W. Effect of dietary vicine and vitamin E supplementation on the productive performance of growing and laying chickens[J]. Brit J Nutr, 1982, 47(1): 53–60.
- [10] Wanga P X, Ueberscharb K H. The estimation of vicine, convicine and condensed tannins in 22 varieties of faba-beans(*Vicia faba* L.)[J]. Anim Feed Sci Technol, 1990, 31(1–2): 157–165.
- [11] Farran M T, Darwish A H, Uwayjan M G, et al. Vicine and convicine in common vetch (*Vicia sativa*) seeds enhance beta-cyanoalanine toxicity in male broiler chicks[J]. Int J Toxicol, 2002, 21(3): 201–209.
- [12] Zhang H X, Wang Y W, Zhang X Y, et al. Analysis of vicine in bitter melon with high performance liquid chromatography[J]. Analyt Lett, 2003, 36(8): 1597–1605.
- [13] Azaza M S, Wassim K, Mensi F, et al. Evaluation of faba beans(*Vicia faba* L. var. *minuta*) as a replacement for soybean meal in practical diets of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*[J]. Aquaculture, 2009, 287 (1–2): 174–179.
- [14] Shen T, Wang J Y. Biochemistry (2nd edition)[M]. Beijing: Higher Education Press, 1990: 154–160. [沈同, 王镜岩. 生物化学: 第2版[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990: 154–160.]
- [15] Li B S, Leng X J, Li X Q, et al. Effects of feeding broad bean on growth and flesh quality of grass carp *Ctenopharyngodon idellus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(6): 1042–1049. [李宝山, 冷向军, 李小勤, 等. 投喂蚕豆对草鱼生长和肌肉品质的影响[J]. 中国水产科学, 2008, 15(6): 1042–1049.]
- [16] Lun F, Leng X J, Li X Q, et al. Effect of feeding broad bean on growth and flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J]. Freshwater Fisheries, 2008, 38(3): 73–76. [伦峰, 冷向军, 李小勤, 等. 投喂蚕豆对草鱼生长和肉质影响的初步研究[J]. 淡水渔业, 2008, 38(3): 73–76.]
- [17] Li Z M, Leng X J, Li X Q, et al. Differential analysis of

- growth performance, muscle quality, serum biochemical indicators and digestive enzymes of crisped grass carp[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(3): 186–189.[李忠铭, 冷向军, 李小勤, 等. 脆化草鱼生长性能、肌肉品质、血清生化指标和消化酶活性分析[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(3): 186–189.]
- [18] Qin Z Q. Effects of feeding different raw material on growth and flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. Journal of Fujian Fisheries, 2010(1): 81–85.[秦志清. 不同饲料原料对草鱼生长和肌肉品质的影响[J]. 福建水产, 2010(1): 81–85.]
- [19] Vilarino M, Metayer J P, Crepon K, et al. Effects of varying vicine, convicine and tannin contents of fababean seeds (*Vicia faba* L.) on nutritional values for broiler chicken[J]. Anim Feed Sci Technol, 2009, 150(1–2): 114–121.
- [20] Francis G, Makkar H P, Becker K. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish[J]. Aquaculture, 2001, 199(3–4): 197–227.
- [21] Li B S, Leng X J, Li X Q, et al. Effect of feeding broad bean on growth, muscle composition and intestine protease activity of different sizes of grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2008, 17(3): 310–315.[李宝山, 冷向军, 李小勤, 等. 投饲蚕豆对不同规格草鱼生长、肌肉成分和肠道蛋白酶活性的影响[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(3): 310–315.]
- [22] Gaber M M. Partial and complete replacement of fish meal by broad bean meal in feeds for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, L., fry[J]. Aqu Res, 2006, 37(10): 986–993.
- [23] Mao P, Hu Y, Xun Z L, et al. Effects of feeding broad bean and dehulling broad bean diets on growth performance, muscle quality and blood physiological-biochemical indices of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(3): 803–811.[毛盼, 胡毅, 邹志利, 等. 投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料对草鱼生长性能、肌肉品质及血液生理生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2014, 26(3): 803–811.]
- [24] Yalsin S, Tuncer I, Yalsin S, et al. The use of different levels of common vetch seed (*Vicia sativa* L.) in diets for fattening rabbits[J]. Livest Prod Sci, 2003, 84(1): 93–97.
- [25] Wong R C H, Fong W P, Ng T B. Multiple trypsin inhibitors from *Momordica cochinchinensis* seeds, the Chinese drug *Mubiezhizi*[J]. Peptides, 2004, 25(2): 163–169.
- [26] Xiao F G, Sun J T, Wang D G. Study on extraction and antioxidant activity of flavonoids from bitter melon seed[J]. Food Research and Development, 2014, 35(10): 20–23.[肖付刚, 孙军涛, 王德国. 苦瓜籽黄酮对油脂的抗氧化研究[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(10): 20–23.]
- [27] Liu S B, Wu M H, Huang W H, et al. Preparation of α -momorcharins from *Momordica charantia* and study on biological activity[J]. West China Journal of Pharmaceutical Sciences, 2010, 25(6): 700–702.[刘盛邦, 吴民沪, 黄文虎, 等. 苦瓜籽 α -苦瓜素的分离纯化及其生物活性的研究[J]. 华西药理学杂志, 2010, 25(6): 700–702.]
- [28] Benjamin M N. Outline of Veterinary Clinical Pathology[M]. Iowa: Iowa University Press, 1978: 229–232.
- [29] Teschke R. Bereits alcoholbedingte fettleber behandeln?[J]. Klinikarzt, 1983, 12: 610–616.
- [30] Lumeng L, Li T K. Characterization of the pyridoxal 5'-phosphate and pyridoxamine 5'-phosphate hydrolase activity in rat liver. Identity with alkaline phosphatase[J]. J Biol Chem, 1975, 250(20): 8126–8131.
- [31] Liu M, Tan H Z, Tian X H, et al. Correlation analysis of mineral content and cooking quality from 20 broad bean varieties[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(8): 2269–2273.[刘明, 谭洪卓, 田晓红, 等. 20种代表性主产区蚕豆样品矿物元素含量及其与烹煮品质的相关性分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(8): 2269–2273.]
- [32] Kumar V, Sinha A K, Makkar H P S, et al. Phytate and phytase in fish nutrition[J]. J Anim Physiol Anim Nutr, 2012, 96(3): 335–364.
- [33] Melin A M, Perromat A, Deleris G. Pharmacologic application of fourier transform IR spectroscopy: in vivo toxicity of carbon tetrachloride on rat liver[J]. Biopolymers, 2000, 57(3): 160–168.
- [34] Michiels C, Raes M, Toussaint O, et al. Importance of Se-glutathione peroxidase, catalase, and Cu/Zn-SOD for cell survival against oxidative stress[J]. Free Radic Biol Med, 1994, 17(3): 235–248.
- [35] Szymonik L, Czechowska G, Stryjecka Z M, et al. Catalase, superoxide dismutase, and glutathione peroxidase activities in various rat tissues after carbon tetrachloride intoxication[J]. J Hepato-Biliary-Pancreatic Surg, 2003, 10(4): 309–315.
- [36] Cigermis Y, Turel H, Adiguzel K, et al. The effects of acute acetaminophen toxicity on hepatic mRNA expression of SOD, CAT, GSH-Px, and levels of peroxynitrite, nitric oxide, reduced glutathione, and malondialdehyde in rabbit[J]. Mol Cell Biochem, 2014, 391(1–2): 257.
- [37] Yamashita K, Yoshioka T. Activities of creatine kinase isoenzymes in single skeletal muscle fibres of trained and untrained rats[J]. Pflugers Arch, 1992, 421(2): 270–273.
- [38] Benoit F, Helene A D, Michel L, et al. Growth and meat quality relations in carp[J]. Aquaculture, 1995, 129(1–4): 265–297.

- [39] Lin W L, Guan R, Zeng Q X, et al. Factors affecting textural characteristics of dorsal muscle of crisped grass carp[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2009, 37(4): 134–137. [林婉玲, 关熔, 曾庆孝, 等. 影响脆肉鲩鱼背肌质构特性的因素[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2009, 37(4): 134–137.]
- [40] Gan C L, Guo S S, Rong J H, et al. Analysis of the main nutritional components of crisp grass carp[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2010, 32(5): 513–515. [甘承露, 郭姗姗, 荣建华, 等. 脆肉鲩肌肉主要营养成分的分析[J]. 营养学报, 2010, 32(5): 513–515.]
- [41] Guan L, Zhu R J, Li X Q, et al. Muscle characteristics comparison between grass carp and crisped grass carp [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(5): 748–753. [关磊, 朱瑞俊, 李小勤, 等. 普通草鱼与脆化草鱼的肌肉特性比较[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(5): 748–753.]
- [42] Grigorakis K, Alexis M N. Effects of fasting on the meat quality and fat deposition of commercial-size farmed gilt-head sea bream(*Sparus aurata*, L.) fed different dietary regimens[J]. Aqu Nutr, 2005, 11(5): 341–344.
- [43] Gaston T, Armida S E, Begona G, et al. Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics[J]. Meat Sci, 2003, 64(1): 85–91.
- [44] Salem M, Kenney P B, Rexroad C E, et al. Microarray gene expression analysis in atrophying rainbow trout muscle: a unique non mammalian muscle degradation model[J]. Physiology Genom, 2006, 28(1): 33–45.
- [45] Kenji S, Reiji Y, Yoshiaki I, et al. Molecular species of collagen in the intramuscular connective tissue of fish[J]. Compar Biochem Physiol. Part B: Biochem Molec Biol, 1989, 92(1): 87–91.
- [46] Yu E M, Liu B H, Wang G J, et al. Molecular cloning of type I collagen cDNA and nutritional regulation of type I collagen mRNA expression in grass carp[J]. J Anim Physiol Anim Nutr, 2014, 98(4): 755–765.
- [47] Gelse K, Poschl E, Algner T. Collagens—structure, function, and biosynthesis[J]. Adv Drug Deliv Rev, 2003, 55(12): 1531–1546.

Effects of broad bean, common vetch seed and bitter melon seed diets on the growth, flesh composition, tissue indices and digestive enzymes of grass carp

ZHENG Xiaomiao¹, LI Xiaoqin^{1,2,3,4}, WEI Jing¹, HU Jing¹, SUN Wentong¹, XU Huaibing¹, LENG Xiangjun^{1,2,3,4}

1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Key Laboratory of Freshwater Fishery Germplasm Resources, Ministry of Aquaculture; Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai 201306, China;

4. Shanghai University Knowledge Service Platform, Aquatic Animal Breeding Center (ZF1206), Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: Five diets, including complete formula diet (control), soaked broad bean (SBB, fed as crumbled pieces after immersion in water), broad bean, common vetch seed and bitter melon seed diets (BBD, CVD, BMD), which included 75% broad bean, 60% common vetch seed and 60% bitter melon seed in formula diet, respectively, were fed to juvenile grass carps with an initial body weight of (59.0±0.6) g. After 8 weeks of feeding, the control fish had the highest weight gain (WG) and lowest feed conversion ratio (FCR) among all groups ($P<0.05$). Compared with the SBB group, the WG was 56.9% in the BBD group, and -30.6% and -21.2% in the CVD and BMD groups ($P<0.05$), respectively. Muscle collagen contents of the SBB, BBD, CVD and BMD groups were significantly higher, while muscle lipid contents were significantly lower than those of the control ($P<0.05$). The BMD group had higher total amino acids and delicious amino acids contents in muscle than those of the control and SBB groups ($P<0.05$). The hepatopancreatic superoxide dismutase (SOD) activities of fish fed the BBD, CVD and SBB diets were significantly lower ($P<0.05$), and hepatopancreatic malonaldehyde (MDA) content and muscle creatine kinase (CK) activity were higher than those of fish fed the control diet ($P<0.05$). However, fish fed the BBD diet had lower hepatopancreatic MDA than fish fed the SBB diet. Fish fed the BBD, CVD, BMD and SBB diets had a lower lipase activities and a higher amylase activities in their intestines compared with the control fish ($P<0.05$). The fish fed the BBD, CVD and SBB diets also showed lower protease activities than the control ($P<0.05$). In conclusion, soaked broad bean and high levels of dietary broad bean, common vetch seeds and bitter melon seed altered the muscle composition of grass carp, and significantly decreased their growth performance. For growth and muscle composition, a broad bean diet has more advantages in the culture of crisped grass carp than common vetch seed, bitter melon seed and soaked broad bean diets.

Key words: grass carp; broad bean; common vetch seed; bitter melon seed; growth performance; biochemical indices; muscle composition; digestive enzyme

Corresponding author: LENG Xiangjun. E-mail: xjleng@shou.edu.cn