

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

毛盼 胡毅* 郁志利 黄云 余建波 肖调义*

(湖南农业大学动物科学技术学院, 长沙 410128)

摘要: 本试验旨在研究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。试验选取初始体重为(860±40) g的草鱼450尾,随机分为3组,分别为对照组、蚕豆组和去皮蚕豆组,每组设置3个重复,每个重复放养50尾草鱼。对照饲料参考草鱼商品饲料配方配制,蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料分别用蚕豆和去皮蚕豆部分替代对照饲料中的豆粕、菜籽粕及棉籽粕,蚕豆和去皮蚕豆的用量均为80%。试验期为20周。结果表明:与对照组相比,蚕豆组和去皮蚕豆组草鱼的增重率和饲料系数无显著变化($P>0.05$),但脏器指数和肝体指数显著降低($P<0.05$);投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料显著提高了草鱼的血液红细胞和白细胞数量,血清葡萄糖、总胆固醇、尿素氮含量以及谷草转氨酶活性($P<0.05$),显著降低了血清超氧化物歧化酶活性($P<0.05$);与对照组相比,蚕豆组和去皮蚕豆组草鱼的肌肉水分含量和失水率显著降低($P<0.05$),粗脂肪含量显著升高($P<0.05$),肌原纤维长度和肌纤维直径显著提高($P<0.05$),鲜味氨基酸和必需氨基酸含量显著增加($P<0.05$)。由此得出,投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料对草鱼的生长性能无负面影响,并均能改变草鱼的肌肉品质,且肌肉品质的改变与蚕豆皮没有必然联系。

关键词: 蚕豆;去皮蚕豆;草鱼;生长性能;肌肉品质;血液生理生化指标

中图分类号: S963

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2014)03-0803-09

给草鱼投喂蚕豆可改变其肌肉品质,使其变得紧硬而爽脆,不易煮烂,口感独特,这种脆化后的草鱼被称为“脆肉鲩”^[1]。目前,已有关于脆化草鱼和普通草鱼在生长性能、肉质、消化酶活性等方面不同的报道^[2-3]。本课题组于2004年开始针对蚕豆改变草鱼肌肉品质的现象开展一系列研究,分析比较了“脆肉鲩”和普通草鱼的肌肉营养成分、肌肉超微结构以及肌肉游离氨基酸、肝胰脏游离氨基酸和血清游离氨基酸含量^[4-7]。蚕豆虽然可以使草鱼的肌肉品质发生改变,但关于蚕豆改变草鱼肌肉品质的机理尚不清楚,有研究者推测这可能是蚕豆中的某种因子激活了草鱼的一些

相关基因,从而导致基因的表达产物发生了变化^[8];也有研究者认为这可能与蚕豆中的抗营养因子,如缩合单宁(蚕豆皮的主要成分)、植酸或某些毒素(毒性氨基酸类等)等有关,并且直接投喂会使草鱼生长性能下降^[9],长期投喂还会使机体产生病理现象。本试验拟以蚕豆和去皮蚕豆替代饲料中的豆粕、菜籽粕以及棉籽粕等蛋白质源饲料喂草鱼,评价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,并确定蚕豆皮是否是影响草鱼肌肉品质的主要因子,旨在为改良草鱼肌肉品质饲料的研制开发提供理论依据。

收稿日期:2013-09-06

基金项目:国家星火计划重大专项(2011GA770007);国家自然科学基金(31272675)

作者简介:毛盼(1989—),女,土家族,湖南张家界人,硕士研究生,研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: 625235924@qq.com

*通讯作者:胡毅,副教授,硕士生导师,E-mail: huyi740322@163.com;肖调义,教授,博士生导师,E-mail: Tyx1128@aliyun.com.cn

1 材料与方 法

1.1 试验设计与饲料配方

试验用鱼为购自湖南农业大学水产基地同龄同批的草鱼,蚕豆和去皮蚕豆为来自同一公司的同一品种。养殖试验在室外水泥池中进行,水泥池规格为 14 m × 10 m,水深 1.5 m。试验分为 3 个组,分别为对照组、蚕豆组和去皮蚕豆组,每组设置 3 个重复,每个重复放养 50 尾平均初始重为 (860 ± 40) g 的草鱼,所用试验草鱼体质健壮活泼、规格均匀。

试验饲料组成及营养水平见表 1。其中,对照饲料参考草鱼商品饲料配方,以豆粕、菜籽粕及棉籽粕为主要蛋白质源配制,粗蛋白质含量为 28.75%;蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料分别用蚕豆和去皮蚕豆部分替代对照饲料中的豆粕、菜籽粕及棉籽粕,蚕豆和去皮蚕豆的用量均为 80%,粗蛋白质含量分别为 28.28% 和 28.36%。饲料原料经粉碎过 40 目筛,微量成分采用逐级扩大法混合均匀,于湖南省畜牧研究所饲料厂加工成粒径为 4 mm 的饲料颗粒,颗粒加工时经过 80 °C 蒸汽调制。

表 1 试验饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)

%

项目 Items	对照饲料 Control diet	蚕豆饲料 Broad bean diet	去皮蚕豆饲料 Dehulling broad bean diet
原料 Ingredients			
豆粕 Soybean meal	8.00	2.00	2.00
菜籽粕 Rapeseed meal	24.00	6.00	6.00
棉籽粕 Cottonseed meal	24.00	6.00	6.00
蚕豆 Broad bean		80.00	
去皮蚕豆 Dehulling broad bean			80.00
次粉 Wheat midding	29.30	0.79	0.79
豆油 Soybean oil	2.00	2.51	2.51
统糠 Chaff	10.00		
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.50	1.50	1.50
氯化胆碱 Choline chloride	0.20	0.20	0.20
预混料 Premix	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels			
粗蛋白质 Crude protein	28.75	28.28	28.36
粗脂肪 Crude lipid	4.17	4.07	4.77
粗灰分 Ash	5.73	5.76	5.81
总能 Gross energy/(MJ/kg)	17.11	16.85	16.96

预混料可为每千克饲料提供 Premix provides the following per kg of diets: VA 6 000 IU, VD 2 000 IU, VE 50 mg, VK 5 mg, VB₁ 15 mg, VB₂ 15 mg, VB₃ 25 mg, VB₅ 30 mg, VB₆ 10 mg, VB₇ 0.2 mg, VB₁₁ 3 mg, VB₁₂ 0.03 mg, VC 100 mg, 肌醇 inositol 100 mg, 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。

1.2 饲养管理

每天投喂 2 次(08:00—09:00、17:00—18:00),日投饵量为体重的 3%~5%,并根据实际摄食情况调整。试验期间水温 21~29 °C, pH 6.7~7.7,日开增氧机 6 h,溶解氧 >5 mg/L。每天记录投喂量并观察试验鱼活动状况。养殖试验持续 20 周。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生长性能指标的测定

养殖试验结束后,饥饿 24 h,记录每个重复草鱼的总尾数,并称取鱼体总重,计算增重率(WGR)和饲料系数(FCR)。每重复随机取 3 尾草鱼,按顺序称量其体重,解剖后称取内脏重、肝脏重,计算脏体指数(VSI)和肝体指数(HSI)。上述指标计算公式如下:

增重率(%) = [(末重 - 初重) / 初重] × 100;

饲料系数 = 投喂量 / 增重;

脏体指数(%) = (内脏重 / 鱼体重) × 100;

肝体指数(%) = (肝脏脏重 / 鱼体重) × 100。

1.3.2 血液生理生化指标的测定

每重复随机取3尾草鱼,用5 mL 无菌注射器尾静脉取血,采取的血液合并置于10 mL 无菌离心管中,立即用移液枪吸取部分血液进行红细胞、白细胞计数。红细胞计数时将血液用红细胞稀释液作200倍稀释,白细胞计数时将血液用白细胞稀释液作20倍稀释,采用Neubauer计数板进行计数。其余血液于4℃冰箱中静置过夜后,5 000 r/min离心10 min,取上层血清于-80℃超低温冰箱保存备用。血清葡萄糖(GLU)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、尿素氮(UN)含量以及谷草转氨酶(GOT)、谷丙转氨酶(GPT)、溶菌酶(LSZ)、超氧化物歧化酶(SOD)活性均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒进行测定。

1.3.3 肌肉品质指标的测定

1.3.3.1 肌肉基本成分的测定

每重复随机取3尾草鱼,参考伦峰等^[10]的方法将鱼体鳃盖后缘至背鳍第1鳍条的侧线以上部位去皮,剪取白肌60 g左右,置于-20℃保存,用于测定肌肉的水分、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分含量。水分含量采用105℃烘箱干燥恒重法测定,粗蛋白质含量采用凯氏定氮法测定,粗脂肪含量采用索氏抽提法测定,粗灰分含量采用550℃马福炉灼烧法测定。

1.3.3.2 肌肉特性指标的测定

每重复随机取3尾草鱼,剪取鱼体一侧第1~3背鳍之间背肌约10 g,参考任泽林等^[11]的方法测肌肉失水率、肌原纤维耐折力、肌纤维直径。

肌肉失水率:剪取背肌3~5 g,80目纱布包裹后在沸水中煮5 min,冷却后滤纸吸干表面水分,称重。

肌肉失水率(%) = [(初重 - 末重) / 初重] × 100。

肌原纤维耐折力:剪取0.5 g背肌,加5 mL的A液(2 L蒸馏水中溶解氯化钾14.90 g,乙二酸四乙酸二钠3.44 g,硼酸4.78 g, pH 7.0),6 000 r/min准确匀浆2 min,置于数码可视显微镜下测定肌原纤维长度,用以代表肌原纤维耐折力,随机记录100个数据。

肌纤维直径:沿肌纤维走向,剪取1.0 cm ×

0.3 cm × 0.3 cm 大小的肌纤维束,用线捆绑于载玻片上,置于20%的硝酸溶液中24 h,然后用针挑取部分于载玻片上,滴加1滴甘油,置于数码可视显微镜下测定肌纤维直径,随机记录100个数据。

1.3.3.3 肌肉氨基酸含量的测定

样品前处理参考孙盛明等^[12]的方法,即每重复取相同部位的肌肉肉泥1 g,加10 mL 6 mol/L的盐酸,放入105℃烘箱24 h,取出转入25 mL容量瓶中定容,再过滤,取1 mL滤液放入水浴锅蒸干,用0.02 mol/L的盐酸把蒸干后的残渣洗于10 mL容量瓶中定容,将定容液过滤至进样瓶。采用Hetach L-8800氨基酸自动分析仪在湖南农业大学生命科学楼分析测试中心测定各氨基酸含量。

1.4 数据处理

试验数据采用SPSS 13.0软件进行单因素方差分析处理,当差异显著($P < 0.05$)时,则采用Duncan氏法进行多重比较。分析结果用平均值 ± 标准差(mean ± SD)表示。

2 结果与分析

2.1 投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料对草鱼生长性能的影响

由表2可知,与对照组相比,蚕豆组和去皮蚕豆组草鱼的增重率和饲料系数均无显著变化($P > 0.05$);蚕豆组和去皮蚕豆组草鱼的脏体指数和肝体指数均较对照组显著降低($P < 0.05$),但蚕豆组和去皮蚕豆组之间差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料对草鱼血液生理生化指标的影响

由表3可知,与对照组相比,蚕豆组和去皮蚕豆组草鱼的血液红细胞和白细胞数量以及血清葡萄糖、总胆固醇和尿素氮含量均显著增加($P < 0.05$),而血清甘油三酯含量在各组之间则无显著差异($P > 0.05$);投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料对草鱼的血清溶菌酶活性无显著影响($P > 0.05$),但显著降低了血清超氧化物歧化酶活性($P < 0.05$);投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料均能使草鱼的血清谷草转氨酶活性显著升高($P < 0.05$),同时,投喂去皮蚕豆饲料后草鱼的血清谷丙转氨酶活性亦显著升高($P < 0.05$)。

表2 投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料对草鱼生长性能的影响

Table 2 Effects of feeding broad bean and dehulling broad bean diets on growth performance of grass carp ($n=3$)

项目 Items	组别 Groups		
	对照 Control	蚕豆 Broad bean	去皮蚕豆 Dehulling broad bean
初重 IBW/g	848.01 ± 10.58	879.30 ± 22.12	864.70 ± 33.61
末重 FBW/g	1 775.03 ± 35.36	1 850.10 ± 42.43	1 913.30 ± 25.17
增重率 WGR/%	110.63 ± 3.73	110.76 ± 2.64	115.48 ± 2.18
饲料系数 FCR	2.45 ± 0.45	2.12 ± 0.21	2.25 ± 0.23
脏体指数 VSI/%	9.69 ± 0.34 ^b	8.37 ± 0.37 ^a	8.52 ± 0.17 ^a
肝体指数 HSI/%	1.75 ± 0.17 ^b	1.32 ± 0.03 ^a	1.40 ± 0.03 ^a

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$). The same as below.

表3 投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料对草鱼血液生理生化指标的影响

Table 3 Effects of feeding broad bean and dehulling broad bean diets on blood physiological-biochemical indices of grass carp ($n=3$)

项目 Items	组别 Groups		
	对照 Control	蚕豆 Broad bean	去皮蚕豆 Dehulling broad bean
红细胞 RBC/ $10^{12} L^{-1}$	2.89 ± 0.38 ^a	4.08 ± 0.32 ^c	3.35 ± 0.10 ^b
白细胞 WBC/ $10^9 L^{-1}$	7.75 ± 0.35 ^a	8.93 ± 0.22 ^b	9.13 ± 0.06 ^b
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	7.61 ± 0.25 ^a	8.13 ± 0.05 ^b	9.76 ± 0.19 ^b
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.77 ± 0.13	0.85 ± 0.16	0.83 ± 0.11
总胆固醇 TC/(mmol/L)	5.39 ± 0.33 ^a	6.61 ± 0.25 ^b	6.89 ± 0.76 ^b
尿素氮 UN/(mmol/L)	0.89 ± 0.05 ^a	1.32 ± 0.15 ^b	1.31 ± 0.25 ^b
溶菌酶 LSZ/(U/mL)	33.29 ± 0.27	34.85 ± 1.55	34.23 ± 0.24
超氧化物歧化酶 SOD/(U/L)	102.21 ± 0.40 ^b	88.47 ± 5.60 ^a	93.65 ± 4.35 ^a
谷草转氨酶 GOT/(U/L)	822.28 ± 15.42 ^a	1 095.80 ± 73.27 ^b	1 222.50 ± 18.01 ^b
谷丙转氨酶 GPT/(U/L)	308.02 ± 20.62 ^a	301.44 ± 11.21 ^a	354.97 ± 26.51 ^b

2.3 投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料对草鱼肌肉品质的影响

由表4可知,与对照组相比,蚕豆组和去皮蚕豆组草鱼的肌肉失水率和水分含量显著降低 ($P < 0.05$),且去皮蚕豆组草鱼的肌肉失水率还显著低于蚕豆组 ($P < 0.05$);蚕豆组和去皮蚕豆组草鱼的肌肉粗脂肪含量均较对照组显著升高 ($P < 0.05$),且去皮蚕豆组草鱼的肌肉粗脂肪含量还显著高于蚕豆组 ($P < 0.05$);各组草鱼的肌肉粗蛋白质和粗灰分含量均差异不显著 ($P > 0.05$);蚕豆组和去皮蚕豆组草鱼的肌原纤维长度(肌原纤维耐折力)和肌纤维直径较对照组显著提高 ($P < 0.05$),而蚕豆组和去皮蚕豆组之间则差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.4 投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料对草鱼肌肉氨基酸含量的影响

由表5可知,与对照组相比,蚕豆组和去皮蚕

豆组草鱼的肌肉总氨基酸、鲜味氨基酸和必需氨基酸含量均显著提高 ($P < 0.05$),其中总氨基酸含量分别提高了10.90%和9.13%,鲜味氨基酸含量分别提高了13.64%和12.80%,必需氨基酸含量分别提高了7.55%和7.97%。

3 讨论

3.1 投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料对草鱼生长性能的影响

本试验结果表明,投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料对草鱼的增重率和饲料系数均无显著影响,这与伦峰等^[13]得出的直接投喂蚕豆降低草鱼生长性能的结果不一致。分析其原因:一方面,与蚕豆作为单一饲料源相比,蚕豆与豆粕、菜籽粕和棉籽粕等混合在一起配制成饲料可使饲料的氨基酸更加平衡,如蚕豆中赖氨酸、精氨酸含量较丰富,而

蛋氨酸、苏氨酸含量较低^[14],而豆粕、菜籽粕和棉籽粕含有相对较高的蛋氨酸、苏氨酸;另一方面,蚕豆中的抗营养因子能与鱼体肠道消化酶结合,降低其活性,而本试验中蚕豆饲料中的植物凝集素、胰蛋白酶抑制剂、脲酶等热敏性抗营养因子^[15]

经过高温调制后大部分被消除,从而提高了肠道对营养物质的消化吸收^[16]。此外,氯化胆碱、磷酸二氢钙等物质的添加也可能是草鱼生长效果得到改善的因素之一。

表 4 投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料对草鱼肌肉品质的影响

Table 4 Effects of feeding broad bean and dehulling broad bean diets on muscle quality of grass carp ($n=3$)

项目 Items	组别 Groups		
	对照 Control	蚕豆 Broad bean	去皮蚕豆 Dehulling broad bean
水分 Moisture/%	79.71 ± 0.42 ^b	78.56 ± 0.32 ^a	78.80 ± 0.12 ^a
粗蛋白质 Crude protein/%	16.24 ± 0.12	16.83 ± 0.29	16.58 ± 0.36
粗脂肪 Crude lipid/%	0.50 ± 0.06 ^a	0.85 ± 0.10 ^b	1.36 ± 0.24 ^c
粗灰分 Ash/%	1.11 ± 0.04	1.25 ± 0.16	1.19 ± 0.07
失水率 Water loss rate/%	24.01 ± 1.26 ^c	21.06 ± 0.43 ^b	19.46 ± 0.66 ^a
肌原纤维长度 Myofibril length/ μm	232.63 ± 2.66 ^a	260.13 ± 3.30 ^b	262.24 ± 3.77 ^b
肌纤维直径 Muscular fiber diameter/ μm	197.67 ± 3.77 ^a	234.57 ± 3.22 ^b	235.81 ± 4.55 ^b

表 5 投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料对草鱼肌肉氨基酸含量的影响(鲜重基础)

Table 5 Effects of feeding broad bean and dehulling broad bean diets on muscle amino acid contents of grass carp ($n=3$, fresh weight basis)

氨基酸 Amino acids	组别 Groups			%
	对照 Control	蚕豆 Broad bean	去皮蚕豆 Dehulling broad bean	
天冬氨酸 Asp ^{*△}	1.95 ± 0.00 ^a	2.16 ± 0.01 ^b	2.15 ± 0.02 ^b	
苏氨酸 Thr [*]	0.90 ± 0.00 ^a	0.98 ± 0.00 ^b	0.97 ± 0.01 ^b	
丝氨酸 Ser	0.86 ± 0.00 ^a	0.95 ± 0.01 ^b	0.95 ± 0.02 ^b	
谷氨酸 Glu [△]	2.98 ± 0.02 ^a	3.20 ± 0.02 ^b	3.22 ± 0.03 ^b	
脯氨酸 Pro	1.10 ± 0.01 ^a	1.37 ± 0.01 ^c	1.23 ± 0.01 ^b	
甘氨酸 Gly [△]	0.99 ± 0.01 ^a	1.33 ± 0.03 ^c	1.19 ± 0.02 ^b	
丙氨酸 Ala [△]	1.19 ± 0.01 ^a	1.39 ± 0.04 ^b	1.37 ± 0.08 ^b	
胱氨酸 Cys	0.06 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.05 ± 0.00	
缬氨酸 Val [*]	0.90 ± 0.01 ^a	0.95 ± 0.01 ^b	0.96 ± 0.02 ^b	
蛋氨酸 Met [*]	0.71 ± 0.01 ^a	0.76 ± 0.01 ^b	0.76 ± 0.01 ^b	
异亮氨酸 Ile [*]	0.72 ± 0.00 ^a	0.76 ± 0.01 ^b	0.76 ± 0.01 ^b	
亮氨酸 Leu [*]	1.64 ± 0.01 ^a	1.76 ± 0.01 ^b	1.78 ± 0.03 ^b	
酪氨酸 Tyr	0.96 ± 0.01	0.98 ± 0.04	0.98 ± 0.04	
苯丙氨酸 Phe [*]	0.77 ± 0.01 ^a	0.83 ± 0.01 ^b	0.82 ± 0.00 ^b	
赖氨酸 Lys [*]	1.82 ± 0.02 ^a	1.93 ± 0.01 ^b	1.95 ± 0.01 ^b	
组氨酸 His	0.59 ± 0.01 ^a	0.70 ± 0.00 ^c	0.63 ± 0.02 ^b	
精氨酸 Arg	1.13 ± 0.01 ^a	1.27 ± 0.01 ^b	1.24 ± 0.01 ^b	
鲜味氨基酸 DAA	7.11 ± 0.03 ^a	8.08 ± 0.06 ^b	8.02 ± 0.10 ^b	
必需氨基酸 EAA	9.41 ± 0.03 ^a	10.12 ± 0.01 ^b	10.16 ± 0.02 ^b	
总氨基酸 TAA	19.27 ± 0.05 ^a	21.37 ± 0.11 ^c	21.03 ± 0.06 ^b	

* 为必需氨基酸;△为鲜味氨基酸。* is essential amino acid; △ is flavor amino acid.

李宝山等^[3]研究发现,直接投喂蚕豆将导致草鱼内脏指数显著降低,这可能与蚕豆中某些毒素或抗营养因子使肝脏脆化、肝细胞膜破裂、细胞核浓缩或溶解消失、肝细胞坏死等有关,其具体原因还有待进一步研究。在本试验中,蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料均显著降低了草鱼的脏体指数和肝体指数,但降低的幅度远不如李宝山等^[3]的研究结果,可能与本试验所用饲料中的热敏性抗营养因子经高温调制后大部分被消除有关。

3.2 投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料对草鱼血液生理生化指标的影响

血细胞是反映鱼类免疫能力的一个重要指标,在鱼类防御反应中发挥重要作用^[17],其中,红细胞具有运输营养物质和氧气的功能,可反映机体代谢水平,白细胞在吞噬异物产生抗体、抵抗病原入侵等防御反应中发挥着重要的作用。本研究结果显示,蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料均能使草鱼血液中红细胞和白细胞数量显著升高,这与唐湘北等^[7]的研究结果相似。谭乾开等^[9]认为,投喂蚕豆会导致草鱼耐低氧能力降低,机体一方面通过增加红细胞数量来加强供氧量,另一方面通过提高白细胞数量来增强机体免疫功能。本试验中草鱼红细胞数量的增加可能与草鱼摄食蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料后机体的内环境处于缺氧状态,机体需要通过“代偿”作用增加红细胞的数量来加强氧合血红蛋白(HbO₂)对水体溶解氧的亲合力有关。同时,白细胞数量的增加可能是为了保护机体免疫系统不被破坏或者防止机体进入生理病态。血清葡萄糖、甘油三酯和总胆固醇含量的变化与机体新陈代谢、机能状态和营养状况密切相关,在机体生命活动中起着重要作用^[18]。本试验中,蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料均能不同程度地提高血清葡萄糖、甘油三酯和总胆固醇的含量,分析其原因可能与蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料与对照饲料的成分不同有关,这与李忠铭等^[19]的研究结果相反,说明投喂蚕豆饲料与直接投喂蚕豆对草鱼的糖脂代谢会有不同的影响。血清尿素氮是蛋白质代谢的终末产物,由肾小球滤过,大部分排泄出体外,小部分可被肾小管重吸收返回血液,是反映肾小球滤过功能的重要指标^[20]。在本试验中,蚕豆组和去皮蚕豆组草鱼的血清尿素氮含量显著高于对照组,可能与草鱼肾功能受到一定程度的损伤有关。

溶菌酶是一种能水解致病菌细胞壁黏多糖的碱性酶,具有抗菌、抗病毒的作用。超氧化物歧化酶是广泛分布在各种生物体中重要的抗氧化酶,能阻断与修复机体内氧自由基对细胞的损伤,增强吞噬细胞的吞噬能力、促进免疫球蛋白的产生^[21]。在本试验中,蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料对草鱼血清溶菌酶活性无显著影响,但显著降低了血清超氧化物歧化酶活性,说明摄食蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料降低了草鱼的抗氧化反应,且蚕豆皮不是影响草鱼抗氧化反应的关键因子,其具体原因有待进一步研究。

血清中谷草转氨酶和谷丙转氨酶是反映肝功能状态的重要指标^[22-23]。在正常情况下,肝细胞内的转氨酶仅有少量被释放到血浆中,当肝脏发生坏死或破坏时,会有大量的谷草转氨酶和谷丙转氨酶从细胞内逸出进入血液,使血清中转氨酶的活性升高^[24]。在本试验中,蚕豆组和去皮蚕豆组草鱼血清谷草转氨酶活性显著高于对照组,谷丙转氨酶活性在去皮蚕豆组中亦显著升高,说明蚕豆饲料对草鱼肝功能产生了一定程度的损伤,而这种现象在李忠铭等^[19]的研究中也得到了证实。这可能与蚕豆中的抗营养因子对草鱼肝细胞膜结构的破坏有关,因为很多抗营养因子可以氧化膜结构中的不饱和脂肪酸^[25]。

3.3 投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料对草鱼肌肉品质的影响

草鱼肌肉基本营养成分的组成和含量在一定程度上可反映其肌肉的营养价值。在本试验中,摄食蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料的草鱼肌肉粗脂肪含量显著高于对照组,这与本课题组前期开展的试验^[4]以及伦峰^[26]对草鱼、秦志清等^[27]对罗非鱼的研究结果一致,但与李宝山等^[28-29]在草鱼和异育银鲫、朱耀强等^[30]在斑点叉尾鲷上的研究结果相反,这种差异一方面可能与鱼的种类及食性有关,另一方面可能与养殖时间的长短及养殖方式有关。

通常情况下,肌肉失水率、肌原纤维耐折力和肌纤维直径可在一定程度上反映肌肉的特性。肌肉失水率是肌原纤维之间及肌质之间致密性的一个间接指标,可反映肌肉水分的保持度和所存在的状态^[31];肌原纤维耐折力可反映肌原纤维韧性和强度,肌原纤维的长度越大,其耐折力就越强,韧性越好^[32];肌纤维直径的增加可使肌纤维束变

粗,肌肉硬度增大,弹性增大^[33]。本试验中,蚕豆组和去皮蚕豆组草鱼的肌原纤维长度和肌纤维直径与对照组相比有了显著增加,但肌肉失水率显著降低,以去皮蚕豆组肌肉失水率降低更为明显,说明投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料可增强草鱼肌肉的耐折力和韧性,同时提高肌肉的硬度,改善草鱼的品质。同时,蚕豆组和去皮蚕豆组之间草鱼肌肉品质无显著差异,说明缩合单宁(蚕豆皮的主要成分)可能不是影响草鱼肌肉品质的主要因子。

从肌肉氨基酸含量的变化可以看出,摄食蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料的草鱼肌肉总氨基酸含量显著提高,这与本课题组前期开展的试验^[5-7]所测得的脆化草鱼的肌肉、肝胰脏和血清游离氨基酸含量的变化趋势一致。有研究认为,肌肉中游离氨基酸含量的增加可能是蚕豆中氨基酸不平衡所致,但作者认为,一般来说鱼体氨基酸的组成及含量与饲料氨基酸的组成无相关性^[34],本试验中肌肉氨基酸含量的改变可能是由于蚕豆中的某种因子使得氨基酸的代谢途径发生了改变,从而肌肉中氨基酸含量发生了变化,而蚕豆组和去皮蚕豆组肌肉总氨基酸含量差异不显著,说明缩合单宁并非影响氨基酸代谢的关键因子。同时,摄食蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料的草鱼肌肉鲜味氨基酸含量也显著高于对照组,这与别鹏等^[35]的研究结果相似,表明草鱼肌肉的风味在一定程度上得到了改善。

4 结 论

① 投喂蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料不会影响草鱼的生长性能,但在一定程度上影响了肝功能和免疫机能。

② 蚕豆饲料和去皮蚕豆饲料均能改变草鱼的肌肉品质,提高草鱼肌肉鲜味氨基酸含量,且肌肉品质的改变与蚕豆皮没有必然联系。

参考文献:

- [1] 谢骏,王广军,郁二蒙,等. 脆肉鲩无公害养殖技术[J]. 科学养鱼,2012(2):19-20.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 肖调义,刘建波,陈清华,等. 脆肉鲩肌肉营养特性分析[J]. 淡水渔业,2004,34(3):28-30.
- [5] 陈清华,肖调义,吴松山,等. 脆肉鲩肌肉游离氨基酸初步分析[J]. 水利渔业,2004,24(6):8-10.
- [6] 赵玉蓉,金宏,王红权,等. 普通草鱼与脆肉鲩肝胰脏游离氨基酸的差异[J]. 湖南农业大学学报,2004,30(3):295-297.
- [7] 唐湘北,肖调义,彭正宁. 脆肉鲩血常规及血清游离氨基酸分析[J]. 内陆水产,2004,29(5):36-37.
- [8] HSIEH S L, LIAO W L, KUO C M. Molecular cloning and sequence analysis of stearyl-CoA desaturase in milkfish, *Chanos chanos* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 2001, 130(4):467-477.
- [9] 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.
- [10] 伦峰,冷向军,孟晓林,等. 蚕豆对罗非鱼肉质影响的初步研究[J]. 上海水产大学学报,2007,16(1):83-86.
- [11] 任泽林,李爱杰. 饲料组成对中国对虾肌肉组织中胶原蛋白、肌原纤维和失水率的影响[J]. 中国水产科学,1998,5(2):40-44.
- [12] 孙盛明,叶金云,陈建明,等. 配合饲料中豆粕、菜粕替代鱼粉对青鱼种生长、体组成的影响[J]. 浙江海洋学院学报:自然科学版,2009,28(1):25-31.
- [13] 伦峰,冷向军,李小勤,等. 投饲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.
- [14] AROLA K. Chemistry and biochemistry of beans [M]. Beijing: Science Press, 1987:33-34.
- [15] 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.
- [16] 米海峰. 不同蛋白源和大豆抗营养因子对牙鲆蛋白消化酶的活性与基因表达的影响[D]. 硕士学位论文. 青岛:中国海洋大学,2008.
- [17] YILDIRIMA M, LIMA C, WANB P J, et al. Growth performance and immune response of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed diets containing graded levels of gossypolacetic acid[J]. Aquaculture, 2003, 219(1/2/3/4):751-768.
- [18] 沈同,王镜岩. 生物化学[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,1996:193-201.
- [19] 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.
- [20] 吴莉芳,秦贵信,刘春力,等. 饲料大豆蛋白对鲤鱼

- 消化酶活力和血液主要生化指标的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,37(8):63-69.
- [21] 刘云,孔伟丽,姜国良,等. 2种免疫多糖对刺参组织主要免疫酶活性的影响[J]. 中国水产科学,2008,15(5):787-793.
- [22] 聂国兴,明红,郑俊林,等. 木聚糖酶对尼罗罗非鱼血液生理生化指标的影响[J]. 大连水产学院学报,2007,22(5):361-365.
- [23] 李清,肖调义,毛华明,等. 生物活性肽对鲤鱼血液生理生化指标的影响[J]. 长江大学学报:自然科学版,2005,2(5):27-29.
- [24] 孟兆娜,陈玉春,管雪婷,等. 复方中草药对镜鲤(*Cyprinus carpio* L)血清转氨酶及红细胞抗氧化酶活性的影响[J]. 东北农业大学学报,2010,41(8):75-80.
- [25] 隗黎丽. 微囊藻毒素-LR对草鱼肝脏超微结构的亚急性毒性影响[J]. 江西农业大学学报,2009,31(5):812-817.
- [26] 伦峰. 蚕豆脆化草鱼、罗非鱼肉质的研究[D]. 硕士学位论文. 上海:上海水产大学,2006.
- [27] 秦志清,林建斌,朱庆国,等. 脆化专用饲料对罗非鱼生长和肌肉品质的影响[J]. 淡水渔业,2012,42(2):84-87.
- [28] 李宝山,冷向军,李小勤,等. 投饲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):1042-1048.
- [29] 李宝山,冷向军,李小勤,等. 投饲蚕豆对异育银鲫生长、肉质及肠道蛋白酶活力的影响[J]. 动物营养学报,2007,19(5):631-635.
- [30] 朱耀强,李道友,赵思明,等. 饲喂蚕豆对斑点叉尾鲷生长性能和肌肉品质的影响[J]. 华中农业大学学报,2012,31(6):771-777.
- [31] CHIU S W, WANG Z M, LEUNG T M. Moore nutritional value of canoderma extract and assessment of its genotoxicity and antigenotoxicity using comet assay of mouse lymphocytes[J]. Food and Chemical Toxicology,2000,38(2/3):173-178.
- [32] 李小勤,李星星,冷向军,等. 盐度对草鱼生长和肌肉品质的影响[J]. 水产学报,2007,31(3):343-348.
- [33] PERIAGO M J, AYALA M D, LÓPEZ-ALBORS O, et al. Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass, *Dicentrarchus labrax* L [J]. Aquaculture,2005,249(1/2/3/4):175-188.
- [34] 彭士明,施兆鸿,孙鹏,等. 饲料组成对银鲳幼鱼生长率及肌肉氨基酸、脂肪酸组成的影响[J]. 海洋渔业,2012,34(1):51-56.
- [35] 别鹏,时彦民,张超,等. 投喂蚕豆对草鱼生长及肌肉营养特性分析[J]. 水产养殖,2012,33(7):40-43.

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*)

MAO Pan HU Yi* HUAN Zhili HUANG Yun YU Jianbo XIAO Tiaoyi*

(College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of feeding broad bean (BB) and dehulling broad bean (DBB) diets on growth performance, muscle quality and blood physiological-biochemical indices of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). A total of 300 grass carp with the initial body weight of (860 ± 40) g were randomly divided into 3 groups, which were control, BB and DBB groups, respectively. There were 3 replicates in each group and each group had 50 fish. A commercial feed formula was used as the control diet, and the BB and DBB diets were formulated with 80% BB and 80% DBB which stead of soybean meal, cottonseed meal and rapeseed meal on the control diet basis, respectively. The experiment lasted for 20 weeks. The results showed as follows: compared with the control group, the weight gain rate and feed conversation ratio in BB and DBB groups were not significantly changed ($P > 0.05$), but the viscerosomatic index and hepatosomatic index were significantly reduced ($P < 0.05$). Feeding BB and DBB diets significantly increased the number of red blood cells and white blood cells, the contents of serum glucose, total cholesterol and urea nitrogen and the activity of serum glutamic-oxal(o)acetic transaminase ($P < 0.05$), but significantly reduced the activity of serum superoxide dismutase ($P < 0.05$). Compared with the control group, the muscle moisture content and water loss rate in BB and DBB groups were significantly decreased ($P < 0.05$), but the crude lipid content was significantly increased ($P < 0.05$), the myofibril length and muscular fiber diameter were significantly raised ($P < 0.05$), and the contents of delicious amino acids and essential amino acids were significantly increased ($P < 0.05$). The results indicate that feeding BB and DBB diets have no negative effects on the growth performance, but all can change the muscle quality of grass carp, and there is no necessary association between the change of muscle quality and broad bean skin. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26 (3):803-811]

Key words: broad bean; dehulling broad bean; grass carp; growth performance; muscle quality; blood physiological-biochemical indices

* Corresponding author, HU Yi, associate professor, E-mail: huyi740322@163.com; XIAO Tiaoyi, professor, E-mail: Tyx1128@aliyun.com.