

大豆蛋白对草鱼肠道组织及血液主要生化指标的影响

吴莉芳,王洪鹤,秦贵信,张东鸣,孙泽威,朱 丹,孙 玲

(吉林农业大学 动物科技学院,吉林 长春 130118)

【摘 要】 【目的】研究大豆蛋白对草鱼肠道组织及血液主要生化指标的影响,为草鱼人工配合饲料的合理优化提供依据。【方法】以初始体质量为 (50.63 ± 0.43) g 的健康草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)为试验对象,在室内单循环控温养殖系统中进行 8 周生长试验。以鱼粉为动物蛋白源,用去皮豆粕为植物蛋白源,用去皮豆粕分别替代 0%(CK),15%,30%,45%和 60%的鱼粉,配制成 5 种等蛋白(约 300 g/kg)、等能(15.6 MJ/kg)的日粮,分别饲喂各组草鱼,研究大豆蛋白对草鱼肠道组织及血液主要生化指标的影响。【结果】60%大豆蛋白替代组草鱼的前肠、后肠皱襞高度极显著低于对照组($P < 0.01$),中肠皱襞高度显著低于对照组($P < 0.05$)。同时,45%和 60%大豆蛋白替代组前肠和后肠肠道结构组织完整性均被破坏,部分肠绒毛脱落,部分上皮细胞与固有层分离,固有层结缔组织疏松,固有层变宽。各组草鱼血液中血糖、尿素氮、总胆固醇、甘油三酯、总蛋白、白蛋白和球蛋白浓度及谷草转氨酶、谷丙转氨酶活性差异均不显著($P > 0.05$)。【结论】在本试验条件下,体质量 50~100 g 草鱼的配合饲料蛋白水平为 300 g/kg,大豆蛋白适宜替代量为 45%,过量添加大豆蛋白会使草鱼肠道完整性被破坏。

【关键词】 草鱼;大豆蛋白;肠道;血液生化指标

【中图分类号】 S965.112.31⁺2

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)02-0025-06

Effects of soybean protein on intestinal morphology and main blood biochemical parameters of *Ctenopharyngodon idellus*

WU Li-fang, WANG Hong-he, QIN Gui-xin, ZHANG Dong-ming,
SUN Ze-wei, ZHU Dan, SUN Ling

(College of Animal Science and Technology, Jilin Agriculture University, Changchun, Jilin 130118, China)

Abstract: 【Objective】 The effects of dietary soybean protein on intestinal morphology and main blood biochemical parameters were investigated to offer basis to optimize the artificially formulated feed of *Ctenopharyngodon idellus* in this study. 【Method】 A growth trial was conducted on juvenile fish with initial body weight of (50.63 ± 0.43) g for 8 weeks at controlled temperature in single recirculating system. Fish meal and dehulled soybean meal were used as protein source. Five isonitrogenous (300 g/kg) and isoenergetic (15.6 MJ/kg) diets, with dehulled soybean meal replacing level 0%(CK), 15%, 30%, 45% and 60% of fish meal protein, were formulated to feed juveniles to investigate the effects of dietary soybean protein level on intestinal tissue and main biochemical parameters in blood of *C. idellus*. 【Result】 The results indicated that, when soybean protein replaced fish meal by 60%, the entero-plica height of anterior intestine and posterior intestine significantly decreased ($P < 0.01$), the entero-plica height of mid-intestine in 60%

* [收稿日期] 2009-06-05

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(30430520)

[作者简介] 吴莉芳(1970—),女,吉林农安人,副教授,博士,主要从事水产动物营养与饲料学研究。

E-mail: wulifang2915@yahoo.com.cn

[通信作者] 秦贵信(1956—),男,吉林长春人,教授,博士,博士生导师,主要从事动物营养与饲料学研究。

E-mail: guixin@public.cc.jl.cn

group was significantly lower than that in control group in *C. idellus* ($P < 0.05$). Meanwhile, the intact morphology of anterior intestine and posterior intestine in 45% and 60% group of *C. idellus* were damaged. The part of intestinal villi was shed, the part of epithelial cells and proper layer were separated, and the proper layer became wider. In addition, the contents of blood sugar, urea nitrogen, total cholesterol triglyceride, glutamic-oxal(o)acetic transaminase, glutamic-pyruvic transaminase, total protein, albumen and globulin in blood had no significant differences in each group of *C. idellus* ($P > 0.05$). 【Conclusion】 Therefore, the protein content was 300 g/kg in the formula of *C. idellus* (50—100 g) and the proper replacement level was 45%. Over supplementation of soybean protein would damage the structural integrity of epithelial cells.

Key words: *Ctenopharyngodon idellus*; soybean protein; intestine; blood biochemical parameter

鱼粉(Fish meal, FM)是水产饲料中应用最广泛的蛋白源^[1],其氨基酸组成平衡,并具有良好的适口性和极高的消化利用率。随着人们对水产品需求的增加和集约化水产养殖业的发展,以及受全球性乱捕滥获和环境污染等因素的影响,鱼粉的产量逐年下降,世界鱼粉的供应已不能满足日益增长的水产养殖需求,鱼粉将成为一种世界范围内越来越短缺的资源。因此,寻求适宜的植物蛋白源替代鱼粉蛋白以降低饲料成本,已成为水产界研究的热点之一。

大豆蛋白源具有消化吸收率高、氨基酸组成好、营养全面、价格合理、资源丰富等特点,是水产饲料应用最多的植物蛋白源之一。但是,大豆蛋白含有抗营养因子(Antinutritional factors, ANF),在饲料中过量添加,不仅会影响鱼类的摄食和生长,而且会引起鱼类死亡。目前,关于大豆蛋白对鱼类的影响已有不少研究报道,内容主要集中在大豆蛋白替代鱼粉蛋白后对鱼类生长^[2-4]、消化率^[5]、肠道组织^[6]等的影响方面;研究的鱼类主要集中在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[7-8]、大西洋鲑(*Salmo salar* L.)^[9-10]和军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[2]等肉食性鱼类上。

草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)隶属于鲤形目(Cypriniformes)鲤科(Cyprinidae)雅罗鱼亚科(Leuciscinae)草鱼属(*Ctenopharyngodon*),是我国四大家鱼之一,具有生长快、肉味鲜美、养殖成本低、市场容量大等特点。在中国,草鱼是一种有巨大经济价值的优良养殖品种,产量位居淡水养殖之首。吴莉芳等^[11]研究了大豆蛋白对草鱼生长及饲料利用的影响。目前,关于大豆蛋白对草鱼肠道组织及血液主要生化指标的影响,尚未见系统报道。为此,本研究以我国重要的经济鱼类——草鱼幼鱼为试验对象,研究大豆蛋白对草鱼肠道组织及血液主要生

化指标的影响,以期对草鱼人工配合饲料的合理优化提供资料,为大豆蛋白在水产饲料中的合理开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 草鱼 试验草鱼鱼种来自吉林省农安县太平池水库渔场,试验前挑选体质健壮、规格整齐、鳞片完整的草鱼鱼种 700 尾,暂养于吉林农业大学动物室的室内控温单循环养殖系统中,该系统由 56 个 230(型号)缸组成,每缸加水 3/4 体积,用循环泵进行水质过滤,暂养时饱食投喂蛋白含量为 300.6 g/kg 的试验对照组饲料,驯化 15 d。

1.1.2 试验日粮 以鱼粉为动物蛋白源,去皮豆粕(主要抗营养因子含量分别为:蛋白酶抑制因子 0.30 TUI/mg,大豆凝集素 1.14 mg/g,大豆球蛋白 48.34 mg/g,β-伴大豆球蛋白 12.45 mg/g)为植物蛋白源,用去皮豆粕分别替代鱼粉蛋白的 0%(CK),15%,30%,45%和 60%,配制成 1~5 共 5 种等蛋白含量(约 300 g/kg)、等能(15.6 MJ/kg)的半精制饲料(表 1)。试验饲料原料粉碎后过 0.246 mm(60 目)筛,按配方称其质量,混合均匀,挤压成直径 2.5 mm 的颗粒,晒干后置于-4℃冰柜中保存备用。

1.2 试验设计及草鱼的饲养管理

本试验采用单因子随机试验设计,设 5 个处理组,分别饲喂 5 种日粮,每个处理组设置 3 个重复,每重复放养 30 尾鱼,试验开始之前停止投喂 24 h,然后称量鱼体质量,可知供试鱼初始体质量为(50.63±0.43)g。饲养试验自 2007-07-08—2007-09-02,为期 8 周。放养前用 20 mg/L 的高锰酸钾水溶液药浴 10 min,整个试验期保持水质稳定,水温控制在(22±3)℃,各项理化指标维持在:溶解氧(DO)5.0~8.0 mg/L,pH 7.0~8.0,氨态氮<0.3 mg/L。日投饵率

视鱼群摄食情况变动于 3%~6%,日投饵 2 次(9:00, 16:00),投饵方法为人工手撒。

表 1 供试日粮配方及其营养含量

Table 1 Ingredient composition and nutrient levels of the diets

日粮组成 Diet composition	日 粮 Diets				
	1	2	3	4	5
鱼粉/(g·kg ⁻¹) Fish meal	469.0	393.0	320.0	247.0	187.0
去皮豆粕/(g·kg ⁻¹) Dehulled soyabean meal	—	98.0	196.0	294.0	392.0
糊精/(g·kg ⁻¹) Dextrin	386.0	364.8	340.6	315.4	279.0
玉米油/(g·kg ⁻¹) Corn oil	10.0	11.6	13.2	14.8	16.0
鱼油/(g·kg ⁻¹) Fish oil	10.0	11.6	13.2	14.8	16.0
氯化胆碱/(g·kg ⁻¹) Choline chloride	5	5	5	5	5
维生素预混料/(g·kg ⁻¹) Vitamin premix	10	10	10	10	10
无机盐预混料/(g·kg ⁻¹) Mineral premix	20	20	20	20	20
纤维素/(g·kg ⁻¹) Cellulose microcrystalline	85.0	81.0	77.0	74.0	70.0
黏合剂/(g·kg ⁻¹) Binder	5	5	5	5	5
营养组成 Nutrient contents					
粗蛋白/(g·kg ⁻¹) Crude protein	300.6	300.5	300.5	300.4	300.9
粗脂肪/(g·kg ⁻¹) Crude lipid	45.9	45.9	46.0	46.1	46.1
粗纤维/(g·kg ⁻¹) Crude fiber	70.3	70.2	70.1	70.7	70.7
灰分/(g·kg ⁻¹) Crude ash	53.1	49.5	45.9	42.3	40.1
总能/(MJ·kg ⁻¹) Gross enery	16.2	15.6	16.3	16.5	16.4

注:①维生素预混料向每 kg 饲料提供:叶酸 15 mg,烟酸 800 mg,泛酸钙 280 mg,肌醇 400 mg,生物素 6 mg,盐酸硫胺素 60 mg,盐酸吡哆醇 40 mg,核黄素 200 mg,V_A 1.2 mg, V_{D₃} 0.05 mg,V_E 200 mg,V_K 40 mg,V_C 600 mg,V_{B₁₂} 0.1 mg;②无机盐预混料向每 kg 饲料提供:MnSO₄·7H₂O 60 mg,MgSO₄·7H₂O 3.1 g,ZnSO₄·7H₂O 180 mg,CuSO₄·5H₂O 8 mg,FeSO₄·7H₂O 0.8 g,AlCl₃·6H₂O 3 mg,KI 3.4 mg,CaCO₃ 5 g,NaH₂PO₄·2H₂O 13.6 g,CoCl₂·6H₂O 0.5 mg,Na₂Se₂O₃ 0.2 mg,KCl 4.4 g。

Note:①Vitamin premix supplied the following per kilogram of diet:folic acid 15 mg,nicotinic acid 800 mg,calcium pantothenate 280 mg,inositol 400 mg,biotin 6 mg,thiamin HCl 60 mg,pyridoxine HCl 40 mg,riboflavin 200 mg,retinal acetate 1.2 mg,chelecalcifero 0.05 mg,vitamin E 200 mg,V_K 40 mg,ascorbic acid 600 mg,cynocobalamin 0.1 mg;②Mineral premix supplied the following per kilogram of diet:MnSO₄·7H₂O 60 mg,MgSO₄·7H₂O 3.1 g,ZnSO₄·7H₂O 180 mg,CuSO₄·5H₂O 8 mg,FeSO₄·7H₂O 0.8 g,AlCl₃·6H₂O 3 mg,KI 3.4 mg,CaCO₃ 5 g,NaH₂PO₄·2H₂O 13.6 g,CoCl₂·6H₂O 0.5 mg,Na₂Se₂O₃ 0.2 mg,KCl 4.4 g。

1.3 草鱼肠道组织的观测

生长试验结束前停食 24 h 后,从每个处理组随机取鱼 30 尾,测量体长、体质量、肠长、肠质量,并计算肠道指标:肠体指数=肠质量/体质量;肠长指数=肠长/体长。另从每缸随机取鱼 3 尾,活体解剖,观察其肠道形态,去除脂肪,用 6.5 g/L NaCl 溶液冲洗后,迅速取出前肠、中肠、后肠组织块各 1.0 cm×1.0 cm,钉在标记好的小纸片上,于 40 g/L 缓冲多聚甲醛中固定。按常规组织切片制备程序进行修块与冲洗、脱水与透明、透蜡、包埋、切片和 H-E 染色,细胞核被苏木精染成蓝色,细胞质被伊红染成粉红色。使用 Olympus 摄影显微镜进行图像采集,用 Image-pro Plus5.02 软件对草鱼的前肠、中肠、后肠的皱襞高度进行测量。

1.4 草鱼血液主要生化指标的测定

生长试验结束前停食 24 h 后,每缸随机取鱼 5 尾采血,用 5 mL 一次性无菌注射器从尾静脉取血样,将血液注入玻璃采血管中,待血液凝固分层后,用日本 HITACHI-21 离心机 2 000 r/min 离心 10

min,直到分层完全,用移液枪将上层澄清透明的血清转入 PT 离心管中密封,于-80 ℃保存备用。

血糖(Serum glucose,SG)、尿素氮(Urinary nitrogen,UN)、总胆固醇(Cholesterol,CHOL)、甘油三酯(Triglyeride,TG)、总蛋白(Total protein,TP)、白蛋白(Albumin,ALB)和球蛋白(Globin,GLB)浓度及谷草转氨酶(Glutamic oxalacetic transaminase,GOT)、谷丙转氨酶(Glutamic pyruvic transaminase,GPT)活性,均采用 MD100 型半自动生化分析仪测定。

1.5 数据的统计与分析

试验数据采用 SPSS(12.0)软件进行方差分析,若差异显著,再进行 Duncan's 多重比较,以分析组间的差异显著性程度。

2 结果与分析

2.1 大豆蛋白对草鱼肠道组织的影响

本试验结果(表 2)表明,60%大豆蛋白替代组草鱼的前肠、后肠皱襞高度均极显著低于对照组

($P<0.01$),中肠皱襞高度显著低于对照组($P<0.05$);各大豆蛋白替代组草鱼的肠质量、肠长、肠体指数、肠长指数与对照组差异均不显著($P>0.05$)。

表 2 大豆蛋白替代鱼粉蛋白对草鱼肠道生长指标的影响

Table 2 Effects of replacement of fish meal by soybean protein on intestinal growth parameters of <i>C. idellus</i>								
大豆蛋白替代比例/% Percent of soybean protein	肠质量/g Intestine weight	肠长度/cm Intestine length	肠体指数/% Intestine body weight index	肠长指数 Intestine body length index	皱襞高度/ μm Fold height			
					前肠 Proximal intestine	中肠 Middle intestine	后肠 Distal intestine	
0(CK)	4.27 $\pm$ 0.18 a	34.67 $\pm$ 2.15 a	4.24 $\pm$ 0.29 a	1.90 $\pm$ 3.06 ab	414.19 $\pm$ 7.18 bB	227.54 $\pm$ 2.03 b	211.19 $\pm$ 2.48 bB	
15	4.24 $\pm$ 0.67 a	34.64 $\pm$ 1.85 a	4.26 $\pm$ 0.50 a	1.96 $\pm$ 5.00 b	413.66 $\pm$ 6.79 bB	226.15 $\pm$ 1.59 ab	208.61 $\pm$ 0.65 bB	
30	3.19 $\pm$ 0.50 a	32.99 $\pm$ 2.31 a	3.21 $\pm$ 0.27 a	1.83 $\pm$ 10.73 ab	408.22 $\pm$ 2.70 bB	226.98 $\pm$ 4.00 ab	207.60 $\pm$ 5.81 bB	
45	3.29 $\pm$ 0.39 a	31.31 $\pm$ 3.59 a	4.26 $\pm$ 0.57 a	1.97 $\pm$ 7.29 b	406.97 $\pm$ 3.89 bB	224.96 $\pm$ 3.12 ab	203.83 $\pm$ 6.34 bB	
60	3.93 $\pm$ 0.16 a	30.53 $\pm$ 2.96 a	4.02 $\pm$ 0.09 a	1.78 $\pm$ 12.94 a	368.04 $\pm$ 5.80 aA	221.64 $\pm$ 3.18 a	185.99 $\pm$ 1.49 aA	

注:同列数据后标不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note:Data in a column with different capital letter indicate difference at $P<0.01$,which with different small letter are different at $P<0.05$.

草鱼肠道组织结构可分为粘膜层、粘膜下层、肌层和浆膜。粘膜突起成皱襞,皱襞的数量由前肠到后肠逐渐减少。对照组草鱼前肠和后肠粘膜上皮细胞排列整齐,上皮结构完整性较好,肠绒毛发达,柱状上皮细胞排列紧密整齐,杯状细胞较多,粘膜下层较薄(见图 1-A,B);45%和 60%大豆蛋白替代组草鱼前肠和后肠肠道结构组织完整性均被破坏,部分肠绒毛脱落,部分上皮细胞与固有层分离,固有层结缔组织疏松,固有层变宽,而且上述结构的变化在 60%大豆蛋白替代组表现更为明显(图 1-C,D,E,F)。

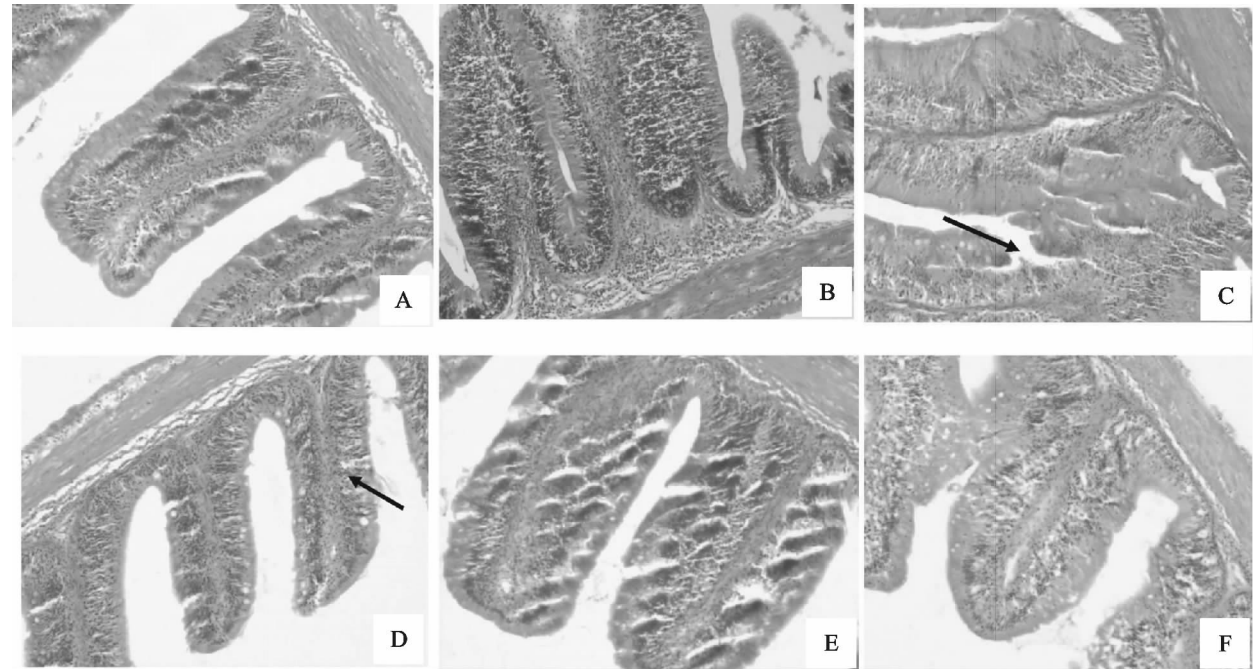


图 1 大豆蛋白对草鱼肠道形态结构的影响(100 $\times$)
A. 对照组前肠;B. 对照组后肠;C. 45%大豆蛋白替代组前肠,箭头示肠绒毛局部断裂;D. 45%大豆蛋白替代组后肠,箭头示固有层组织较疏松;E. 60%大豆蛋白替代组前肠;F. 60%大豆蛋白替代组后肠
Fig.1 Effects of soybean protein on intestinal tissues of *C. idellus*(100 $\times$)
A. The control group of anterior intestine in Grass Carp;B. The control group of posterior intestine in Grass Carp;
C. The 45% group of anterior intestine in Grass Carp,arrow indicates intestinal villi partly break;D. The 45% group of posterior intestine in Grass Carp,arrow indicates the tissue of lamina propria are loosened;E. The 60% group of anterior intestine in Grass Carp;
F. The 60% group of posterior intestine in Grass Carp

2.2 大豆蛋白对草鱼血液主要生化指标的影响

由表 3 可知,大豆蛋白替代组草鱼的血糖含量随替代比例的增大而呈上升趋势,其中 45%和 60%大豆蛋白替代组高于对照组,但与对照组差异不显

著($P>0.05$);尿素氮、总胆固醇、甘油三酯、谷草转氨酶、谷丙转氨酶、谷草转氨酶与谷丙转氨酶的比值、总蛋白、白蛋白、球蛋白、白蛋白与球蛋白的比值在各组草鱼之间差异均不显著($P>0.05$)。

表 3 大豆蛋白替代鱼粉蛋白对草鱼血液主要生化指标的影响

Table 3 Effects of replacement of fish meal by soybean protein on serum biochemical parameters in <i>C. idellus</i>						
大豆蛋白 替代比例/% Percent of soybean protein	血糖/ (mmol·L ⁻¹) SG	尿素氮/ (mmol·L ⁻¹) UN	总胆固醇/ (mmol·L ⁻¹) CHOL	甘油三酯/ (mmol·L ⁻¹) TG	谷草转氨酶/ (IU·L ⁻¹) GOT	谷丙转氨酶/ (IU·L ⁻¹) GPT
0(CK)	4.93±0.98	1.26±0.11	16.13±2.50	4.13±0.46	65.67±7.51	22.67±1.53
15	4.28±1.07	1.36±0.37	14.42±4.02	4.47±1.60	65.33±15.28	33.33±24.87
30	4.81±0.48	1.67±0.60	13.04±1.95	3.48±0.54	55.67±4.73	20.00±6.00
45	5.11±0.35	1.45±0.10	15.80±1.17	4.98±1.33	52.33±8.08	23.33±2.89
60	5.86±0.73	1.62±0.16	13.16±1.41	5.44±0.32	70.33±12.70	23.00±5.20
大豆蛋白 替代比例/% Percent of soybean protein	谷草转 氨酶/谷丙 转氨酶 GOT/GPT	总蛋白/ (g·L ⁻¹) TP	白蛋白/ (g·L ⁻¹) ALB	球蛋白/ (g·L ⁻¹) GLB	白蛋白/球蛋白 ALB/GLB	
0(CK)	2.91±0.43	46.83±6.08	17.77±1.17	28.73±5.99	0.61±0.14	
15	2.44±0.97	41.17±6.70	16.57±1.48	24.60±5.23	0.66±0.04	
30	2.97±0.93	45.47±1.80	18.90±1.15	26.83±1.78	0.71±0.07	
45	2.23±0.08	41.13±4.91	16.37±0.92	24.77±5.83	0.69±0.18	
60	2.89±0.07	49.17±2.71	17.00±1.39	32.17±1.33	0.53±0.02	

3 讨 论

3.1 大豆蛋白对草鱼肠道组织的影响

在本试验条件下,从肠道形态结构看,对照组草鱼肠道粘膜上皮细胞排列整齐,上皮结构完整性较好,肠绒毛发达,柱状上皮细胞排列紧密整齐,杯状细胞较多,粘膜下层较薄;60%大豆蛋白替代组草鱼的前肠和后肠肠道组织结构完整性被破坏,部分肠绒毛脱落,部分上皮细胞与固有层分离,固有层结缔组织疏松,固有层变宽。引起草鱼肠道形态结构完整性被破坏的主要原因是,去皮豆粕中含有抗营养因子,大豆抗营养因子中的大豆凝集素(Soybean agglutinin)和大豆抗原蛋白(Soybean antigen)均可引起动物肠道形态结构的变化。从本试验所用去皮豆粕中主要抗营养因子测试结果来看,去皮豆粕中胰蛋白酶抑制因子和大豆凝集素几乎被灭活,但β-伴大豆球蛋白和大豆球蛋白的含量仍然较高。因此,大豆抗原蛋白可能是引起草鱼肠道形态结构变化的主要因素。Rumsey 等^[12]研究发现,大豆抗原蛋白是引起动物肠道皱襞高度下降的主要因素。从肠道生长指标来看,60%大豆蛋白替代组草鱼的前肠、后肠皱襞高度极显著低于对照组,中肠皱襞高度显著低于对照组,说明草鱼前肠和后肠对大豆蛋白更敏感。张锦秀等^[13]研究发现,当饲料中去皮豆粕

(DSBM)替代鱼粉蛋白 50%后,幼建鲤前肠和后肠的皱襞高度下降,这与本研究结果相似。Krogdahl 等^[14]发现,全脂大豆(FFSB)对大西洋鲑后肠形态结构有一定影响,使后肠上皮杯状细胞数量增加,吸收液泡数量明显减少甚至缺失,肠上皮的微绒毛缩短,微绒毛囊泡形成增多。

3.2 大豆蛋白对草鱼血液主要生化指标的影响

血液生化指标可以反映动物营养物质代谢及器官病变的情况。通常情况下,血糖浓度较高时,鱼类摄食积极,健康状况良好^[15]。鱼类血清中尿素氮浓度的降低,意味着蛋白质分解速度降低,蛋白质合成速度增大。鱼类血液中的胆固醇 70%~80%来自肝脏,如果肝细胞功能障碍,则血液中胆固醇含量迅速升高。转氨酶是催化氨基酸与酮酸之间氨基转移的一类酶,其中以谷草转氨酶和谷丙转氨酶最重要,谷丙转氨酶在肝脏中活性最强,谷丙转氨酶活性增加反映肝功能障碍。谷草转氨酶活性在心脏中最强,测定谷草转氨酶活性有助于心脏病变的诊断。血清蛋白成分及其含量变化与机体健康、营养和疾病等有密切关系。

从本试验的研究结果来看,各组草鱼血清中的血糖、尿素氮、胆固醇浓度,谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性,总蛋白、白蛋白和球蛋白质量浓度,差异均不显著,这说明从血液主要生化指标来看,本研究添

加的大豆蛋白对草鱼健康尚未造成显著影响。

[参考文献]

- [1] Hardy R H. Aquaculture's rapid growth requirements for alternate protein sources [J]. Feed Mana,1999,50:25-28.
- [2] Chou R L,Her B Y,Su M S,et al. Substituting fish meal with soybean meal in diets of juvenile cobia *Rachycentron canadum* [J]. Aquaculture,2004,229:325-333.
- [3] Morris P C,Gallimore P,Handley J,et al. Full-fat soya for rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*) in freshwater:Effects on performance,composition and flesh fatty acid profile in absence of hind-gut enteritis [J]. Aquaculture,2005,248:147-161.
- [4] 吴莉芳,秦贵信,张东鸣,等. 饲料大豆蛋白对鲤鱼生长及肌肉营养成分的影响 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2008,36(10):67-73,80.
- Wu L F,Qin G X,Zhang D M,et al. Effect of dietary soybean protein level on the growth performance of carp and nutritional components in the muscle [J]. Journal of Northwest A&F University:Natural Science Edition,2008,36(10):67-73,80. (in Chinese)
- [5] Glencross B D,Carter C G,Duijster N,et al. A comparison of the digestibility of a range of lupin and soybean protein products when fed to either Atlantic salmon(*Salmo salar*) or rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture,2004,237:333-346.
- [6] Buttle L G,Burrells A C,Good J E,et al. The binding of soybean agglutinin (SBA) to the intestinal epithelium of Atlantic salmon,*Salmo salar* and rainbow trout,*Oncorhynchus mykiss*, fed high levels of soybean meal [J]. Veterinary Immunology and Immunopathology,2001,80:237-244.
- [7] Refstie Ståle,KorsØenØyvind J,Storebakken Tond,et al. Differing nutritional responses to dietary soybean meal in rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon(*Salmo salar*) [J]. Aquaculture,2000,190:49-63.
- [8] Refstie S,Helland S J,Storebakken T. Adaptation to soybean meal in diets for rainbow trout,*Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquaculture,1997,153:263-272.
- [9] Mundheim H,Aksnes A,Hope B. Growth,feed efficiency and digestibility in salmon(*Salmo salar* L.) fed different dietary proportions of vegetable protein sources in combination with two fish meal qualities [J]. Aquaculture,2004,237:315-331.
- [10] Bakke-Mckellep A M,Sanden M,Danieli A,et al. Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) Parr fed genetically modified soybeans and maize:Histological,digestive,metabolic,and immunological investigations [J]. Research in Veterinary Science,2008,84:395-408.
- [11] 吴莉芳,王洪鹤,张东鸣,等. 饲料中大豆蛋白对草鱼生长及饲料利用的影响 [J]. 华南农业大学学报,2009,30(2):78-81.
- Wu L F,Wang H H,Zhang D M,et al. Effects of different levels of dietary soybean protein on growth performance and feed utilization of *Ctenopharyngodon idellus* [J]. Journal of South China Agricultural University,2009,30(2):78-81. (in Chinese)
- [12] Rumsey G L,Siwicki A K,Anderson D P,et al. Effect of soybean protein on serological response,non-specific defense mechanisms,growth,and protein utilization in rainbow trout [J]. Veterinagy Immunology and Immunopathology,1994,41:323-329.
- [13] 张锦秀,周小秋,刘 扬. 去皮豆粕对幼建鲤生长性能和肠道的影响 [J]. 中国水产科学,2007,14(2):315-320.
- Zhang J X,Zhou X Q,Liu Y. Effects of dehulled soybean meal on growth performance and intestine of juvenile *Cyprinus carpio* var jian [J]. Journal of Fishery Sciences of China,2007,14(2):315-320. (in Chinese)
- [14] Krogdahl A M,Bakke M,Baeverfjord G. Feeding Atlantic salmon *Salmo salar* L. soybean products:Effects on disease resistance (furunculosis),and lysozyme and IgM levels in the inrestinal mucosa [J]. Aquaculture Nutrition,2000,6:77-84.
- [15] Imsland A K,Foss A,Gunnarson S,et al. The interaction of temperature and salinity on growth and food conversion in juvenile turbot (*Soopthalmus maximum*) [J]. Aquaculture,2001,198:353-367.