

不同脱毒棉粕对尼罗罗非鱼幼鱼生长性能和生理代谢的影响

蒋 明^{1,2}, 仲维玮², 田 娟², 文 华²,
刘 波¹, 吴 凡², 刘 伟²

(1 中国水产科学研究院 淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081;

2 中国水产科学研究院 长江水产研究所, 湖北 武汉 430223)

【摘 要】 【目的】研究经硫酸亚铁和高温脱毒处理后的棉粕,以不同比例替代豆粕时对尼罗罗非鱼幼鱼生长、体内组织游离棉酚含量、体组成及血清转氨酶活性的影响。【方法】采用硫酸亚铁和高温 2 种方法对棉粕进行脱毒处理,以未处理及脱毒处理后的棉粕分别替代对照饲料中 1/3 和 2/3 豆粕,共配制 7 组等氮、等能的饲料,饲养尼罗罗非鱼幼鱼(初始体质量 (7.27 ± 0.25) g)70 d,测定体质量增长率、饲料系数、鱼体营养成分、体内组织游离棉酚含量和血清转氨酶活性等指标。【结果】各组尼罗罗非鱼幼鱼的体质量增长率、特定生长率、成活率及鱼体粗蛋白和粗脂肪含量均无显著差异($P > 0.05$),未经脱毒处理棉粕替代 2/3 豆粕组的饲料系数显著高于其他组($P < 0.05$);各试验组鱼体的肝体比均较对照组显著升高($P < 0.05$),各组脏体比之间无显著差异($P > 0.05$)。未处理棉粕组肝脏游离棉酚含量显著高于其他组($P < 0.05$),经硫酸亚铁或高温处理后游离棉酚含量均显著降低($P < 0.05$);未处理棉粕组肌肉中的游离棉酚含量与对照组无显著差异($P > 0.05$),且脱毒处理替代 2/3 豆粕组肌肉游离棉酚含量较未处理棉粕替代 2/3 组分别降低了 70.27%,82.43%($P < 0.05$)。未处理棉粕组鱼体血清中谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性显著高于脱毒处理组($P < 0.05$)。【结论】在本试验周期内,饲料中棉粕替代豆粕量不超过 2/3 时,并不影响尼罗罗非鱼幼鱼的生长性能;替代量为 2/3 时,会降低尼罗罗非鱼对饲料的利用效率。饲料棉酚对鱼体肝脏和肌肉游离棉酚含量以及血清转氨酶活性有显著影响,可引起肝功能异常。利用硫酸亚铁和高温 2 种方法处理棉粕后,可以有效降低游离棉酚在饲料和体内的含量,提高棉粕的利用率,降低游离棉酚对肝脏的损伤程度。

【关键词】 棉粕;脱毒方法;尼罗罗非鱼;生长性能;游离棉酚

【中图分类号】 S963.31⁺4

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2011)06-0037-07

Effect of detoxification cottonseed on growth performance, body composition and serum aminotransferase activities of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)

JIANG Ming^{1,2}, ZHONG Wei-wei², TIAN Juan², WEN Hua²,
LIU Bo¹, WU Fan², LIU Wei²

(1 Freshwater Fishery Research Center of Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi, Jiangsu 214081, China;

2 Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan, Hubei 430223, China)

Abstract: 【Objective】A feeding trial was conducted to study detoxification treated cottonseed meal to replace soybean meal on the contents of gossypol in diets, and growth performance, body composition, aminotransferase activities of Nile tilapia fingerlings. 【Method】The cottonseed meal used in this experiment

* [收稿日期] 2010-11-26

[基金项目] 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2009jbf28);2010 年公益性行业(农业)科研专项(201003020);2007 年公益性行业(农业)科研专项(nyhyzx07-044);农业部罗非鱼现代产业技术体系建设项目(nycyt4-48-9)

[作者简介] 蒋 明(1979—),男,湖北黄梅人,助理研究员,主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail:jiangming@yfi.ac.cn

[通信作者] 文 华(1965—),男,湖北荆州人,研究员,主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail:wenhua_hb@163.com

was treated with ferrous sulfate and heated for detoxification of gossypol, then was used to replace 1/3, 2/3 soybean meal. Seven isonitrogenous (protein) and isoenergetic diets were formulated. Each experimental diet was fed to triplicate groups of 30 Nile tilapia juveniles (initial body weight (7.27 ± 0.25) g) in 400 L aquaria for 10 weeks. 【Result】 The result showed that no significant differences were observed in weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR), and survival rate (SR) among dietary treatments ($P > 0.05$). Detoxification treatments had no significant effects on protein and lipid contents, while, the ash content of untreated group was significantly higher than that of control group ($P < 0.05$), the ash content of detoxification treated group was similar with the control group ($P > 0.05$). Detoxification treatment markedly reduced the free gossypol contents of liver and kidney ($P < 0.05$). Aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase activities of untreated group were significantly higher than detoxification treated and control groups ($P < 0.05$), which showed that the free gossypol content of cottonseed meal can result in the abnormality of liver function. 【Conclusion】 Excessive cotton meal less than 2/3 in diets would reduce the feed efficiency and the free gossypol content of cottonseed meal had significant effect on liver function, the detoxification treatment was beneficial to reduce the content of free gossypol.

Key words: cottonseed meal; detoxification method; *Oreochromis niloticus*; growth performance; free gossypol

棉粕因蛋白含量高、氨基酸组成较平衡,且富含 B 族维生素,故在鱼类饲料中得以大量应用,如尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*)^[1-4]、虹鳉 (*Onchorynchus mykiss*)^[5-6]、斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*)^[7-8] 等。但由于棉粕含游离棉酚,易刺激鱼类消化道,损害肝脏、肾脏等器官,干扰生殖机能^[9],长期饲喂棉粕会导致鱼体生长迟缓、繁殖力下降、组织病变甚至死亡^[10],因此选择适宜方法脱除或钝化棉粕中的游离棉酚,对有效利用棉粕蛋白和提高棉粕饲料的应用价值具有重大意义。目前,国内外对棉粕进行脱毒的方法主要有物理法(高温)、化学法(硫酸亚铁、碱性处理)和微生物发酵法等^[11]。

罗非鱼属杂食性鱼类,能很好地利用植物性蛋白原料,在罗非鱼中已有关于低鱼粉甚至无鱼粉饲料的研究^[12-13]。近年来,由于常用的罗非鱼饲料原料豆粕价格不断上涨,用价格相对低廉的、经过脱除或钝化游离棉酚处理的棉粕替代豆粕,具有很好的实践推广价值。El-Saidy 等^[2]研究发现,以棉粕为惟一蛋白源,在饲料中添加硫酸亚铁后,可以提高尼罗罗非鱼的生长性能和饲料利用率。但有关用不同脱毒方法处理后的棉粕替代豆粕对尼罗罗非鱼幼鱼生长及生理的影响研究,目前还未见报道。因此,本试验采用不同脱毒处理(硫酸亚铁、高温)的棉粕替代豆粕,探讨其对尼罗罗非鱼幼鱼生长性能、体成分、体内棉酚残留量及血清转氨酶活性的影响,以期棉粕在尼罗罗非鱼饲料中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

硫酸亚铁脱毒:按照棉粕中游离棉酚含量 (720.45 mg/kg) 的 5 倍添加硫酸亚铁^[14],将硫酸亚铁溶于水后,喷洒在棉粕表面,搅拌使之混匀,晾干;处理后棉粕中的游离棉酚为 189.24 mg/kg,脱毒率为 73.73%。

高温脱毒:将棉粕加水拌湿,用蒸汽蒸 3 h,晾干;处理后棉粕中的游离棉酚为 170.68 mg/kg,脱毒率为 76.63%。

试验设豆粕对照组 (G1)、未处理棉粕替代 1/3 (G2) 和 2/3 (G3) 豆粕组、硫酸亚铁处理棉粕替代 1/3 (G4) 和 2/3 (G5) 豆粕组、高温处理棉粕替代 1/3 (G6) 和 2/3 (G7) 豆粕组,各组饲料配方、营养组成和游离棉酚实测值见表 1。各原料粉碎过 0.18 mm 筛,称质量后逐级混匀,利用小型绞肉机制成直径为 2 mm 的颗粒饲料,常温条件下风干,储存于 -20°C 冰柜中。

1.2 方 法

供试鱼由中国水产科学研究院长江水产研究所尼罗罗非鱼保种基地提供,其原种于 2002 年从苏丹引进,初始体质量为 (7.27 ± 0.25) g。正式试验前先暂养于养殖桶中,经药浴消毒后,用对照组饲料驯养 2 周,使其适应试验环境与饲料。

1.2.1 养殖试验 养殖试验在长江水产研究所中华鲟实验基地进行。正式试验开始前,将试验鱼饥

饿处理 24 h,挑选规格一致的幼鱼,养殖在 21 个 400 L 的养殖桶中,每桶 30 尾,然后将其随机分成 7 组,每组设 3 个重复,分别投喂 7 组试验饲料,每天投喂 3 次(08:30,12:30,16:30 各 1 次),投喂量为体质量的 2%~4%,每 2 周称质量 1 次,根据体质

量的变化调整投喂量,每次投喂之前清除桶底的残饵和排泄物,并记录每日水温、摄食及死亡情况。养殖试验持续 10 周,养殖期间连续通气,保持常流水,养殖水温为19~23 ℃,pH 约为 7.0。

表 1 供试饲料的组成及营养成分

Table 1 Ingredients and proximate chemical composition of the experimental diets

成分 Ingredient	对照组 Control group	未处理组 Unsettled-group		硫酸亚铁处理组 FeSO ₄ -treated group		高温处理组 Heat-treated group	
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
鱼粉/% Fish meal	10	10	10	10	10	10	10
豆粕/% Soybean meal	45	30	15	30	15	30	15
菜粕/% Rapeseed meal	12	12	12	12	12	12	12
棉粕/% Cottonseed meal	0	19	37	19	37	19	37
次粉/% Wheat middling	10.5	6.5	3.5	6.5	3.5	6.5	3.5
米糠/% Rice bran	10	10	10	10	10	10	10
玉米油/% Corn oil	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
鱼油/% Fish oil	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
复合矿物质 ¹ / % Mineral mixture	4	4	4	4	4	4	4
复合维生素 ¹ / % Vitamin mixture	1	1	1	1	1	1	1
氯化胆碱/% Choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
羧甲基纤维素钠/% Sodium carboxymethyl cellulose	2	2	2	2	2	2	2
营养组成 (干物质) Nutrient (Dry material)	粗蛋白/% Crude protein	34.06	32.92	32.82	32.69	33.57	34.03
	粗脂肪/% Crude lipid	8.24	7.63	7.88	7.86	8.16	8.29
	粗灰分/% Crude ash	9.16	9.51	9.68	9.35	9.54	9.60
	能量 ² /(kJ·g ⁻¹)Energy	19.64	19.37	19.39	19.44	19.53	19.58
游离棉酚/(mg·kg ⁻¹) Free gossypol	0	198.14	267.02	44.80	70.02	32.43	43.23

注:1. 根据 Hsieh 公式配制无机盐预混料和维生素预混料^[15];
2. 根据蛋白质、脂肪、碳水化合物的能量(23.6,39.5 和 17.2 kJ/g)计算得到。
Note:1. Mineral premix and vitamin premix according to Hsieh formula^[15];
2. Dietary gross energy was calculated according to 23.6,39.5,17.2 kJ/g for protein,lipid and carbohydrate,respectively.

1.2.2 生长性能的测定 养殖 10 周后,鱼体饥饿 24 h,以桶为单位称鱼体质量,计算其体质量增长率(WGR)和特定生长率(SGR);每天投喂前后称量每个重复投喂饲料质量,试验结束后计算饲料系数(FCR);记录各组的死亡情况,计算成活率(SR);试验结束时,每组取 3 尾鱼,分别称全鱼、内脏和肝脏的质量。按以下公式计算各指标值:体质量增长率(WGR)=($W_t - W_0$)/ $W_0 \times 100\%$;特定生长率(SGR)=($\ln W_t - \ln W_0$)/ $t \times 100\%$;饲料系数(FCR)= $W_f/(TW_t - TW_0)$;成活率(SR)= $N_f/N_i \times 100\%$;脏体比(VSI)= W_v/W ,肝体比(HSI)= W_H/W 。式中: W_t 为试验第 t 天时的鱼体质量(g), W_0 为初始鱼体质量(g), t 为试验天数, W_f 为总摄食量(g), TW_t 为试验第 t 天时鱼体的总质量(g), TW_0 为初始鱼体总质量(g), N_f 为终末尾数, N_i 为初始尾数, W 为鱼体质量(g), W_v 为鱼体内脏质量(g), W_H 为鱼体肝脏质量(g)。

1.2.3 饲料、肌肉及肝脏中游离棉酚含量的测定

饲料中的游离棉酚含量采用苯胺法(GB 13086—91)、用紫外可见分光光度计(760CRT)测定^[16](表 1)。养殖试验结束后,每桶随机取 5 尾鱼,取出背部肌肉、肝脏,采用苯胺法(GB/T 5009.37—2003)^[17]测定肌肉和肝脏中的游离棉酚含量。

1.2.4 常规营养成分含量的测定 试验结束后,每桶随机取 5 尾尼罗罗非鱼幼鱼进行全鱼营养成分分析。采用直接干燥法测定水分(GB/T 5009.3—2003),凯氏定氮法测定粗蛋白(GB/T 5009.5—2003),灼烧称质量法测定粗灰分(GB/T 5009.4—2003),索氏抽提法测定粗脂肪(GB/T 5009.6—2003)^[16]。

1.2.5 血清中谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性的测定 养殖试验结束后,每桶随机取 5 尾鱼,断尾取血,4 ℃静置 4 h,3 000 r/min 离心 10 min,取血清样品,置-20 ℃冰箱中保存。采用赖氏法测定谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性,所用试剂购自南京建成生物工程研究所。

1.3 数据处理

试验数据用“平均值±标准差”表示,采用 STATISTICA 6.0 统计软件 one-way ANOVA 方差分析和 Duncan 氏均值多重比较对试验数据进行分析处理, $P<0.05$ 即认为有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 不同脱毒处理棉粕对尼罗罗非鱼生长性能的影响

不同脱毒处理棉粕对尼罗罗非鱼生长性能的影响

表 2 不同脱毒处理棉粕对尼罗罗非鱼生长性能的影响

Table 2 Effects of detoxification treated cottonseed meal on growth performance of <i>O. niloticus</i> fingerlings									
处理 Treatment		初始体质量/g Initial weight	终末体质量/g Final weight	体质量 增长率/% WGR	特定生长率/ (%·d ⁻¹) SGR	饲料系数 FCR	成活率/% SR	肝体比 HSI	脏体比 VSI
对照组 Control group	G1	7.72±0.43	38.17±0.31	395.52±32.21	2.28±0.09	1.48±0.10 a	100.00±0.00	1.55±0.18 c	6.95±3.12
	G2	7.85±0.24	38.13±0.67	385.62±10.54	2.25±0.03	1.51±0.12 a	100.00±0.00	1.94±0.19 ab	8.67±1.13
未处理组 Unsettled-group	G3	7.92±0.14	37.34±2.91	371.05±28.00	2.21±0.08	1.77±0.18 b	97.78±3.85	2.03±0.41 a	8.27±0.42
	G4	7.74±0.46	36.50±1.12	371.99±21.62	2.21±0.06	1.45±0.10 a	97.78±3.85	1.83±0.08 b	8.40±1.24
硫酸亚铁处理组 FeSO ₄ -treated group	G5	7.78±0.87	36.84±1.32	376.82±21.62	2.22±0.16	1.68±0.08 ab	100.00±0.00	1.84±0.32 b	8.27±0.51
	G6	7.78±0.57	37.25±0.60	380.17±38.91	2.23±0.11	1.48±0.09 a	100.00±0.00	1.86±0.30 b	8.18±0.75
高温处理组 Heat-treated group	G7	7.63±0.29	37.58±1.52	392.43±17.08	2.27±0.04	1.61±0.18 ab	97.43±4.44	1.77±0.34 b	8.00±0.65

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下表同。
Note: Values within the same row with different letters mean significant difference ($P<0.05$),the same as follows.

2.2 不同脱毒处理棉粕对尼罗罗非鱼幼鱼肝脏、肌肉中游离棉酚的影响

由表 3 可见,养殖 10 周后, G2、G3 组尼罗罗非鱼幼鱼肝脏中的游离棉酚含量均显著高于其他各组 ($P<0.05$);硫酸亚铁处理与高温处理组肝脏中的游离棉酚含量与对照组差异不显著 ($P>0.05$);G4 和 G6 组肝脏中游离棉酚含量较 G2 组分别降低

响见表 2。从表 2 可以看出,不同处理棉粕组尼罗罗非鱼的体质量增长率为 371.05%~395.52%,各组之间无显著差异。各组间特定生长率和成活率亦无显著差异 ($P>0.05$)。G3 组饲料系数显著高于其他组 ($P<0.05$);G5 和 G7 组的饲料系数亦有增高的趋势,但与 G1、G2、G4、G6 组差异不显著。G1 组肝体比显著低于其他各组 ($P<0.05$),其中 G3 组最高, G5 和 G7 组肝体比分别较 G3 组降低 9.36% 和 12.81% ($P<0.05$)。各组之间的脏体比无显著差异 ($P>0.05$)。

72.19%和 70.05%;G5 和 G7 组肝脏中的游离棉酚含量较 G3 组分别降低 69.44%和 70.83%。

G2、G3 组尼罗罗非鱼幼鱼肌肉中的游离棉酚含量均显著高于对照组 ($P<0.05$);脱毒处理组(G4~G7)与对照组相比无显著差异; G5 和 G7 组分别较 G3 组降低 70.27%,82.43% ($P<0.05$)。

表 3 不同脱毒处理棉粕对尼罗罗非鱼鱼体游离棉酚(湿质量)、营养成分(干质量)及血清转氨酶活性的影响

Table 3 The effects of detoxification treated cottonseed meal on the contents of free gossypol in body (wet weight), the content of body composition(dry weight) and aminotranferase activity of <i>O. niloticus</i> fingerlings									
处理 Treatment		游离棉酚含量/(mg·kg ⁻¹) Content of free gossypol		粗蛋白/% Crude protein	粗脂肪/% Crude lipid	粗灰分/% Crude ash	GOT/(U·L ⁻¹)	GPT/(U·L ⁻¹)	
		肝脏 Liver	肌肉 Muscle						
对照组 Control group	G1	0.00±0.00 d	0.00±0.00 a	52.88±1.18	28.39±0.46	11.58±1.29 a	289.33±10.69 a	52.00±3.61 a	
	G2	1.87±0.50 b	0.32±0.11 b	54.45±0.91	25.88±0.91	13.19±0.38 b	432.33±11.68 c	65.33±6.81 b	
未处理组 Unsettled-group	G3	2.88±0.07 a	0.74±0.07 c	53.85±0.51	28.24±0.90	13.31±0.27 b	469.67±28.51 c	93.50±3.54 c	
	G4	0.52±0.16 cd	0.20±0.11 ab	53.66±1.69	26.05±1.12	11.79±0.14 a	301.00±1.41 a	52.00±4.24 a	
硫酸亚铁处理组 FeSO ₄ -treated group	G5	0.88±0.10 cd	0.22±0.12 ab	54.58±0.86	26.61±0.42	12.37±0.08 ab	385.67±9.50 b	64.33±4.51 b	
	G6	0.56±0.20 cd	0.20±0.09 ab	53.89±2.06	26.44±1.19	12.54±0.57 ab	364.67±6.43 b	60.33±7.23 ab	
高温处理组 Heat-treated group	G7	0.83±0.12 cd	0.13±0.02 ab	53.21±1.49	28.03±2.89	12.83±0.59 ab	398.67±11.37 b	62.33±1.15 b	

2.3 不同脱毒处理棉粕对尼罗罗非鱼幼鱼鱼体营养成分的影响

由表 3 可以看出,未处理组、硫酸亚铁处理组和高温处理组尼罗罗非鱼幼鱼鱼体的粗蛋白和粗脂肪

含量均与对照组无显著差异 ($P>0.05$);G2、G3 组的粗灰分含量显著高于对照组,硫酸亚铁处理组和高温处理组的粗灰分含量与对照组无显著差异 ($P>0.05$)。

2.4 不同脱毒处理棉粕对尼罗罗非鱼幼鱼血清转氨酶活性的影响

表3显示,在谷草转氨酶(GOT)活性方面,G2、G3、G5、G6和G7组分别较对照组提高了85.02%,62.33%,33.30%,26.04%和37.79% ($P<0.05$),G4组与对照组差异不显著($P>0.05$)。G5组较G4组升高了28.12% ($P<0.05$)。经脱毒处理的4组(G4—G7)尼罗罗非鱼的GOT活性均显著低于未处理组(G2、G3) ($P<0.05$)。在谷丙转氨酶(GPT)活性方面,G2、G3、G5和G7组分别较对照组升高25.63%,79.81%,23.71%和19.87% ($P<0.05$),G4和G6组与对照组无显著差异($P>0.05$)。G5和G7组的GPT活性较G3组显著降低31.20%和33.37% ($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 不同脱毒处理棉粕对尼罗罗非鱼幼鱼生长性能的影响

棉粕富含蛋白质且来源广,已有大量关于将棉粕作为水产饲料蛋白源的研究报道,Yue等^[3]试验结果表明,在杂交罗非鱼幼鱼中,用33.76%棉粕替代对照饲料中60%的豆粕时,鱼体体质量增长率、饲料系数与对照组无显著差异($P>0.05$);Mbahinzireki等^[18]使用棉粕替代罗非鱼饲料中的鱼粉,发现当棉粕的替代量不超过50%时无不良影响;Barros等^[8]用27.5%的棉粕替代斑点叉尾鲷饲料中50%的豆粕,体质量增长率与对照组(45%豆粕组)无显著差异($P>0.05$);顾夕章等^[19]研究表明,在方正银鲫饲料中可以添加25.8%棉粕,但棉粕超过38.7%时会影响鱼体生长;Blom等^[20]在虹鳟饲料中以棉粕替代鱼粉,结果表明,棉粕不影响鱼体生长和成活率,但降低了雌性亲本的繁殖性能;Rinchard等^[21]以棉粕替代不同比例鱼粉饲喂虹鳟9个月,发现虹鳟的生长及繁殖力不受棉酚的影响。这表明在饲料中使用适量的棉粕是可行的,但比例不宜过高,饲料中过高的棉粕会影响尼罗罗非鱼的生长性能和繁殖力。

棉粕作为蛋白原料应用的主要限制因素是其中的游离棉酚^[18,22],有关饲料中棉酚限制量的研究结果尚存在差异。Robinson等^[23]报道,蓝罗非鱼饲料中游离棉酚的限量为180 mg/kg。富惠光等^[24]的研究结果表明,棉籽饼(粕)中的棉酚含量在300~500 mg/kg时不会影响尼罗罗非鱼的性腺发育和生殖功能。吉红^[22]研究认为,饲料棉酚低于290

mg/kg时,不会造成虹鳟生长性能下降,但饲料棉酚含量达到950 mg/kg时会导致虹鳟明显的病理变化,如肾脏的肾小球基膜变厚、肝脏坏死等^[22]。本试验饲料中的游离棉酚含量(最高剂量为207.62 mg/kg,饲养70 d)不影响尼罗罗非鱼的生长性能。这表明饲料中棉酚含量对鱼类的生长性能与繁殖功能的影响与鱼的种类、饲喂时间等有关。

El-Saidy等^[2]以棉粕为饲料惟一蛋白源,添加与饲料中游离棉酚等量的硫酸亚铁,发现尼罗罗非鱼特定生长率较未添加硫酸亚铁组提高了8.41% ($P<0.05$),饲料系数降低了16.13% ($P<0.05$),且与以鱼粉为惟一蛋白源的对照组无显著差异($P>0.05$)。在本试验中,以不同饲料饲养尼罗罗非鱼幼鱼70 d后发现,脱毒处理组的体质量增长率较未处理组有所改善,但与对照组无显著差异,且G7组的饲料系数较G3组降低9.04%。这表明对棉粕进行高温和硫酸亚铁处理,在一定程度上可以提高饲料的利用率。

3.2 不同脱毒处理棉粕对尼罗罗非鱼幼鱼鱼体营养成分和游离棉酚含量的影响

在鱼体营养成分方面,El-Saidy等^[2]的研究结果表明,棉粕对尼罗罗非鱼无显著影响($P>0.05$);Yue等^[3]研究表明,棉粕对尼罗罗非鱼的肌肉成分无显著影响($P>0.05$),但棉粕替代豆粕量超过60%时,全鱼和肝脏的脂肪含量显著提高($P<0.05$);本试验结果与上述研究结果一致,这表明对棉粕进行脱毒处理(硫酸亚铁、高温)和在饲料中添加棉粕不影响饲料的营养效价,且对罗非鱼的肉质无不良影响。

Rinchard等^[6]在虹鳟雄鱼中的研究结果表明,肝脏、血浆、精液和精子中的棉酚含量随饲料棉酚含量的增加而增大,肝脏约为血液的10倍,精液和精子中相对较低。Mbahinzireki等^[18]在罗非鱼(肝脏)的研究中得到类似结果。Robinson等^[25]以游离棉酚含量为400 mg/kg的饲料投喂大口鲶亲鱼,测得肝脏中的游离棉酚含量为4.4 mg/kg;富惠光等^[24]报道,用含棉酚1 000 mg/kg的饲料喂养罗非鱼4个月后,鱼体肌肉中的棉酚含量为10 mg/kg。在本试验中,各处理组(G2—G7)肌肉和肝脏中均有棉酚残留;当未处理组饲料中的游离棉酚含量为198.14和267.02 mg/kg时,尼罗罗非鱼肌肉和肝脏中的游离棉酚含量显著高于对照组($P<0.05$);脱毒处理组肝脏的游离棉酚含量显著低于未处理组,且与对照组无显著差异。这表明在饲料中使用

棉粕时会在体内有微量的棉酚残留,本研究所采用的 2 种脱毒处理方法均可降低体内的棉酚残留量。有关鱼体肌肉中含有微量棉酚对鱼体品质和人类健康是否有影响,还需要做更进一步的研究。

3.3 不同脱毒处理棉粕对尼罗罗非鱼幼鱼血清转氨酶活性的影响

在正常代谢过程中,血清中维持一定水平的转氨酶活性。当肝组织发生病变时,由于肝组织细胞肿胀、坏死,导致大量酶释放进血液中,而引起血清谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性升高,因此血清转氨酶活力大小可反映肝脏受损的程度。本试验结果表明,饲喂未处理棉粕组尼罗罗非鱼的转氨酶活性较其他组显著升高($P < 0.05$),其中用硫酸亚铁处理棉粕替代 1/3 豆粕组(G4)的转氨酶活性显著低于其他处理组($P < 0.05$),且与对照组无显著差异($P > 0.05$)。这说明脱毒处理可以降低棉粕中棉酚对鱼体肝脏的损害。顾夕章等^[19]的研究结果表明,在方正银鲫饲料中添加 38.7%棉粕时,鱼体血清中的谷丙转氨酶活性均高于其他各组,且能引起鱼体肝功能异常,这与本试验结果相似。本试验结果还表明,鱼体肝脏中的游离棉酚含量高于肌肉,说明棉粕中的游离棉酚主要积累在肝脏中,并通过影响肝脏进而影响鱼体的生长,在奥尼罗非鱼饲料中以混合棉粕和菜粕替代鱼粉的研究,也得到了相同的结论^[13]。

4 结 论

在本试验周期内,饲料中棉粕替代豆粕量不超过 2/3 时,不会影响尼罗罗非鱼幼鱼的生长性能,但此时尼罗罗非鱼对饲料的利用效率降低。未经脱毒处理的饲料棉酚对尼罗罗非鱼幼鱼肝脏和肌肉中游离棉酚含量及血清转氨酶活性有显著影响,可引起肝功能异常,利用硫酸亚铁和高温 2 种方法处理棉粕后,均可有效降低游离棉酚在饲料和鱼体内的含量,提高棉粕的利用率,降低游离棉酚对肝脏的损伤程度。

[参考文献]

[1] El-Sayed A M. Long-term evaluation of cottonseed meal as a protein source for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linn.) [J]. Aquaculture, 1990, 84: 315-320.

[2] El-Saidy D M S D, Gaber M M A. Use of cottonseed meal supplemented with iron for detoxification of gossypol as a replacement of fish meal in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) diets [J]. Aquaculture Research, 2004, 35(9): 859-865.

[3] Yue Y R, Zhou Q C. Effect of replacing soybean meal with cottonseed meal on growth, feed utilization, and hematological indexes for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. Aquaculture, 2008, 284: 185-189.

[4] Jacques R, Godfrey M, Konrad D, et al. Effects of dietary cottonseed meal protein level on growth, gonad development and plasma sex steroid hormones of tropical fish tilapia *Oreochromis* sp. [J]. Aquaculture International, 2002, 10: 11-28.

[5] Blom J H, Lee K J, Rinchar J, et al. Reproductive efficiency and maternal-offspring transfer of gossypol in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets containing cottonseed meal [J]. Journal Animal Science, 2001, 79(6): 1533-1539.

[6] Rinchar J, Lee K J, Dabrowski A, et al. Influence of gossypol from dietary cottonseed meal on haematology, reproductive steroids and tissue gossypol enantiomer concentrations in male rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2003, 9(4): 275-282.

[7] Robinson E H, Li M H. Use of plant proteins in catfish feeds: Replacement of soybean meal with cottonseed meal and replacement of fish meal with soybean meal and cottonseed meal [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1994, 25(2): 271-276.

[8] Barros M M, Lim C, Klesius P H. Effect of soybean meal replacement by cottonseed meal and iron supplementation on growth, immune response and resistance of Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) to *Edwardsiella ictaluri* challenge [J]. Aquaculture, 2002, 207: 263-279.

[9] 王 利, 汪开毓. 动物棉酚中毒的研究进展 [J]. 畜禽业, 2002(5): 26-28.

Wang L, Wang K Y. A review of the studies on gossypol toxicosis in animals [J]. Livestock and Poultry Industry, 2002(5): 26-28. (in Chinese)

[10] 高立海, 曲 悦, 梁海平. 水产饲料中棉籽饼粕替代鱼粉的研究进展 [J]. 水利渔业, 2004, 24(4): 66-67.

Gao L H, Qu Y, Lian H P. A review of the studies on replacement of fish meal with cottonseed meal in aquatic feed [J]. Reservoir Fisheries, 2004, 24(4): 66-67. (in Chinese)

[11] 于 涛, 申德超, 庞 芳. 棉籽粕脱毒方法的研究进展 [J]. 山东理工大学学报, 2006, 20(4): 88-92.

Yu T, Shen D C, Pang F. Research and development of gossypol reduction of cottonseed meal [J]. Journal of Shandong University of Technology: Science and Technology, 2006, 20(4): 88-92. (in Chinese)

[12] 杜仕梅, 麦康森, 谭北平. 菜粕、棉粕替代豆粕对奥尼罗非鱼生长、体组成和免疫力的影响 [J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(2): 168-173.

Lin S M, Mai K S, Tan B P. Effect of soybean meal replacement by rapeseed-cottonseed compound on growth, body composition and immunity of tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2007, 38(2): 168-173. (in Chinese)

[13] 刘 勇, 冷向军, 李小勤, 等. 混合发酵蛋白替代鱼粉对奥尼罗

- 非鱼幼鱼生长、营养物质消化率及血清非特异性免疫的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(2): 160-166.
- Liu Y, Leng X J, Li X Q, et al. Effect of fermented mixture-protein replacing fish meal on growth, apparent digestibility coefficients and serum non-specific immunity of tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(2): 160-166. (in Chinese)
- [14] 赛买提·艾买提, 欧阳宏飞, 赵丽, 等. 五种不同方法对棉副产品棉酚脱毒效果的比较研究 [J]. 饲料工业, 2008, 29(1): 27-30.
- Saimaiti, Aimaiti, Ouyang H F, Zhao L, et al. Effect of detoxification of gossypol in cottonseed meal by five methods [J]. Feed Industry, 2008, 29(1): 27-30. (in Chinese)
- [15] Hsieh S L, Hu C Y, Hsu Y T, et al. Influence of dietary lipids on the fatty acid composition and stearyl-CoA desaturase expression in hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) under cold shock [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 2007, 147(3): 438-444.
- [16] 农业部畜牧兽医局. 饲料工业标准汇编(上册) [M]. 北京: 中国标准出版社, 2002: 135-137.
- Animal Husbandry and Veterinary Bureau of Agriculture of the People's Republic of China. Compilation of standards for feed industry (one) [M]. Beijing: China Standard Press, 2002: 135-137. (in Chinese)
- [17] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准食品卫生检验方法理化部分(一) [M]. 北京: 中国标准出版社, 2004: 27-46, 309-310.
- Ministry of Health of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Standard methods of food hygienic analysis-physical and chemical section of the People's Republic of China (one) [M]. Beijing: China Standard Press, 2004: 27-46, 309-310. (in Chinese)
- [18] Mbahinzireki G B, Dabrowski K J L, Saidy E L, et al. Growth, feed utilization and body composition of tilapia (*Oreochromis* sp.) fed with cottonseed meal-based diets in a recirculating system [J]. Aquaculture Nutrition, 2001, 7: 189-200.
- [19] 顾夕章, 李国富, 吴江, 等. 方正银鲫饲料中利用棉粕减少豆粕用量的研究 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(31): 13656-13657, 13688.
- Gu X Z, Li G F, Wu J, et al. Study on using cottonseed meal to reduce soybean meal in diet of *Carassius auratus* Gibelio Bloch [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(31): 13656-13657, 13688. (in Chinese)
- [20] Blom J H, Lee K J, Rinchar J, et al. Reproductive efficiency and maternal-offspring transfer of gossypol in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets containing cottonseed meal [J]. Animal Science, 2001, 79: 1533-1539.
- [21] Rinchar J, Lee K J, Dabrowski A, et al. Influence of gossypol from dietary cottonseed meal on haematology, reproductive steroids and tissue gossypol enantiomer concentrations in male rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2003, 9: 275-282.
- [22] 吉红. 鱼用植物性蛋白饲料的抗营养因子 [J]. 水利渔业, 1999, 19(4): 22-24.
- Ji H. A review of the studies on anti-nutriments of plant protein resource in aquatic feed [J]. Reservoir Fisheries, 1999, 19(4): 22-24. (in Chinese)
- [23] Robinson E H, Rawles S D, Oldenburg P W, et al. Effects of feeding glandless or glanded cottonseed products and gossypol to *Tilapia aurea* [J]. Aquaculture, 1984, 28: 145-154.
- [24] 富惠光, 叶继丹, 卢彤岩, 等. 棉酚对尼罗罗非鱼生殖机能影响的研究 [J]. 中国水产科学, 1995, 2(3): 36-41.
- Fu H G, Ye J D, Lu T Y. Effect of gossypol on reproductive efficiency of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1995, 2(3): 36-41. (in Chinese)
- [25] Robinson E H, Tiersch T R. Effects of long-term feeding of cottonseed meal on growth, testis development, and sperm motility of male channel catfish *Ictalurus punctatus* broodfish [J]. Journal of World Aquaculture Society, 1995, 26(4): 426-431.