

# 罗非鱼低鱼粉饲料中脱酚棉籽蛋白替代鱼粉的研究

林仕梅<sup>1,2</sup> 毛述宏<sup>1</sup> 关勇<sup>1</sup> 潘瑜<sup>1</sup> 罗琳<sup>3\*</sup> 罗莉<sup>1,2</sup>

(1. 西南大学动物科技学院, 重庆 400716; 2. 淡水鱼类资源与生殖发育教育部  
重点实验室, 重庆 400716; 3. 北京市水产科学研究所, 北京 100068)

**摘要:** 在实用饲料(含鱼粉6.0%, 鱼粉粗蛋白质含量为64.5%)的基础上, 用脱酚棉籽蛋白分别替代0、50%和100%的鱼粉, 配制成3种等氮等能的试验饲料, 以研究罗非鱼低鱼粉饲料中脱酚棉籽蛋白替代鱼粉的可行性。将270尾平均体重为50g的雄性吉富罗非鱼随机分成3组(每组设3个重复, 每个重复30尾), 其中饲喂替代水平为0的试验饲料的组为对照组。试验期为8周。结果表明: 50%替代水平组罗非鱼的末重显著高于对照组( $P < 0.05$ ), 而与100%替代水平组差异不显著( $P > 0.05$ )。罗非鱼的特定生长率、蛋白质效率、饲料效率和摄食率组间差异不显著( $P > 0.05$ )。随着脱酚棉籽蛋白替代水平的增加, 罗非鱼内脏指数显著增加( $P < 0.05$ ), 但肝胰指数、肥满度以及全鱼干物质、粗蛋白质、粗脂肪和灰分含量无显著变化( $P > 0.05$ )。脱酚棉籽蛋白替代水平对罗非鱼的肝胰脏消化酶活性有显著影响( $P < 0.05$ ), 其中胰蛋白酶活性以50%替代水平组最高, 淀粉酶活性以100%替代水平组最高。随着脱酚棉籽蛋白替代水平的增加, 各组罗非鱼的肝胰脏总抗氧化能力, 谷草转氨酶、谷丙转氨酶、超氧化物歧化酶活性以及肝糖原含量显著降低( $P < 0.05$ ), 而丙二醛含量则显著增加( $P < 0.05$ )。由此得出, 在罗非鱼低鱼粉饲料中, 脱酚棉籽蛋白替代鱼粉的水平以不超过50%为宜, 过高的替代水平对罗非鱼的免疫应答会产生负面影响。

**关键词:** 罗非鱼; 低鱼粉饲料; 脱酚棉籽蛋白; 鱼粉

中图分类号: S963

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2011)12-2231-08

如何降低饲料成本是动物营养学家和饲料生产者一直研究和关注的重点问题。动物性蛋白质源因存在资源短缺等问题, 在饲料中的使用受到限制; 而植物性蛋白质源因存在抗营养因子、适口性不佳和氨基酸不平衡等问题, 在饲料中的使用也受到限制。众所周知, 棉籽粕中存在棉酚等抗营养因子, 对动物的生长性能可产生不利的影 响, 但其合理的利用是安全可行的<sup>[1-3]</sup>。目前, 已在部分养殖鱼品种<sup>[3-7]</sup>上开展了棉籽粕使用效果的评估, 因原料质量、试验鱼种类和配方结构的差异, 导致研究结果不尽一致, 虽有效果较好者, 但棉籽粕的用量仍然有一定限制。此外, 有一些研究通

过对棉籽粕采用脱酚<sup>[8-10]</sup>或酶解<sup>[11]</sup>等工艺来改善其品质, 并取得了较好的使用效果。我国棉籽年产量在 $1.0 \times 10^7$  t以上, 棉籽粕年产量在 $6.0 \times 10^6$  t以上, 脱酚棉籽蛋白(粗蛋白质含量 $\geq 50\%$ )年产量在 $3.2 \times 10^5$  t左右, 并于2008年1月1日正式颁布实施了行业标准 GH/T 1042—2007《脱酚棉籽蛋白》。如何在饲料中最大限度地用好脱酚棉籽蛋白, 同时又不影响养殖动物的生长和健康, 这值得深入研究。

鉴于此, 本试验以罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)为试验对象, 在等氮等能实用饲料的基础上, 从生长性能、体组成、消化酶活性、肝功能和非特

收稿日期: 2011-06-27

基金项目: 国家罗非鱼产业技术体系(NCYTX-48-10)

作者简介: 林仕梅(1970—), 男, 四川广元人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事水产动物营养生理、抗病营养与饲料添加剂开发的研究。

E-mail: linsml98@163.com

\* 通讯作者: 罗琳, 高级工程师, E-mail: luo-lin666@sina.com

异性免疫功能等方面比较和评价脱酚棉籽蛋白的营养价值, 以期能为脱酚棉籽蛋白在水产饲料中的科学应用提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验饲料

脱酚棉籽蛋白是以棉籽为原料, 采用液-液-固脱酚工艺(专利号: ZL 00 1 345620. 6)生产, 由北京中棉紫光生物科技有限公司提供。

参照 NRC(1993) 鱼类营养标准, 并结合我国的生产实际, 配制罗非鱼实用饲料(含鱼粉 6.0%, 鱼粉粗蛋白质含量为 64.5%)。在实用饲料的基础上用脱酚棉籽蛋白分别替代 0、50% 和 100% 的鱼粉, 配制成 3 种等氮等能的试验饲料, 其组成及营养水平见表 1。饲料原料均粉碎过 40 目筛, 饲料调质温度为 80 °C, 制成粒径为 2.5 mm 的硬颗粒饲料, 60 °C 烘干后于 -15 °C 保存备用。

表 1 试验饲料组成及营养水平

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets

%

项目 Items	替代水平 Replacement level/%		
	0	50	100
原料(风干基础) Ingredients (air-dry basis)			
鱼粉 Fish meal (64.5% CP)	6.00	3.00	
脱酚棉籽蛋白 Degossypolled cottonseed protein <sup>1)</sup>		3.43	6.86
豆粕 Soybean meal (43.0% CP)	22.00	22.00	22.00
菜籽粕 Rapeseed meal (37.0% CP)	25.00	25.00	25.00
棉籽粕 Cottonseed meal (42.0% CP)	15.00	15.00	15.00
次粉 Wheat middlings	18.00	18.00	18.00
米糠 Rice bran	8.40	7.97	7.54
豆油 Soybean oil	1.00	1.00	1.00
氯化胆碱 Choline chloride	0.10	0.10	0.10
维生素预混料 Vitamin premix <sup>2)</sup>	1.50	1.50	1.50
矿物质预混料 Mineral premix <sup>3)</sup>	3.00	3.00	3.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平(干物质基础) Nutrient levels (DM basis)			
粗蛋白质 Crude protein	32.3	32.3	32.2
粗脂肪 Crude lipid	3.87	3.55	3.25
灰分 Ash	5.64	5.36	5.02
总能 Gross energy/(MJ/kg)	14.77	14.80	14.86
游离棉酚 Free gossypol/(mg/kg)	147.9	160.3	168.7

<sup>1)</sup> 脱酚棉籽蛋白的粗蛋白质、赖氨酸、蛋氨酸 + 胱氨酸、精氨酸、苏氨酸和游离棉酚含量分别为 56.40%、2.40%、1.46%、6.36%、1.80% 和 300 mg/kg。The contents of crude protein, lysine, methionine + cystine, arginine, threonine and free gossypol in degossypolled cottonseed protein were 56.40%, 2.40%, 1.46%, 6.36%, 1.80% and 300 mg/kg, respectively.

<sup>2)</sup> 维生素预混料为每千克饲料提供 Vitamin premix provided the following per kg of diet: VA 25 mg, VD<sub>3</sub> 5 mg, VE 40 mg, VC 500 mg, VB<sub>1</sub> 12 mg, VB<sub>6</sub> 6 mg, VB<sub>12</sub> 0.05 mg, VK<sub>3</sub> 5 mg, 核黄素 riboflavin 5 mg, 肌醇 inositol 100 mg, 泛酸 pantothenic acid 30 mg, 烟酸 niacin 35 mg, 叶酸 folic acid 2 mg, 生物素 biotin 0.06 mg, 乙氧基喹啉 ethoxyquin 150 mg, 次粉 wheat middlings 14.09 g。

<sup>3)</sup> 矿物质预混料为每千克饲料提供 Mineral premix provided the following per kg of diet: KCl 200 mg, KI 60 mg, CoCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O 7 mg, CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O 14 mg, FeSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 400 mg, ZnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 200 mg, MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 80 mg, Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> · 5H<sub>2</sub>O 65 mg, MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 3 000 mg, Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O 20 g, NaCl 136 mg。

### 1.2 饲养管理

试验鱼选用当年培育的雄性吉富罗非鱼(平

均体重为 50 g) 270 尾, 随机分成 3 组(每组设 3 个重复, 每个重复 30 尾), 其中饲喂替代水平为 0 的

试验饲料的组为对照组。试验鱼饲养在室内淡水循环玻璃水族箱(有效体积为 300 L)中,水源为曝气自来水,水温为 $(27.8 \pm 2.2) ^\circ\text{C}$ ,pH 为 $7.4 \pm 0.4$ ,溶解氧 $>6.5 \text{ mg/L}$ ,氨氮 $<0.50 \text{ mg/L}$ ,亚硝酸盐氮 $<0.06 \text{ mg/L}$ 。日投喂率为体重的 2% ~ 4%,每天 08:30、12:30 和 17:30 各投喂 1 次,饲养时间为 8 周。

### 1.3 样品制备与分析

饲养试验结束后,禁食 24 h 后称重,每重复随机取 3 尾鱼作为全鱼样品,用于体组成的测定;每重复另随机取 3 尾鱼,采用捣毁脊髓法处死,分离出肝胰脏,并立即放入液氮罐中速冻,然后转入 $-80 ^\circ\text{C}$ 保存备用。按肝胰脏质量加入 10 倍体积的 pH 7.4、0.2 mol/L 的磷酸缓冲液,用玻璃匀浆器匀浆后在 $10\,000 \times g$ 、 $4 ^\circ\text{C}$ 条件下离心 30 min,取上清液作为酶活性分析样品, $-20 ^\circ\text{C}$ 保存备用。

饲料原料及全鱼样品均在 $105 ^\circ\text{C}$ 烘干至恒重,然后采用凯氏定氮法测定粗蛋白质含量,索氏抽提法测定粗脂肪含量,高温( $550 ^\circ\text{C}$ )灼烧法测定灰分含量。

肝胰脏胰蛋白酶、淀粉酶活性采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定。胰蛋白酶活性单位定义为每毫克组织蛋白质在 $37 ^\circ\text{C}$ 时与底物作用 15 min,分解酪蛋白生成 $1 \mu\text{g}$ 酪氨酸为 1 个酶活性单位。淀粉酶活性单位定义为每毫克组织蛋白质在 $37 ^\circ\text{C}$ 时与底物作用 30 min,水解 10 mg 淀粉为 1 个酶活性单位。

肝胰脏谷草转氨酶(GOT)、谷丙转氨酶(GPT)、超氧化物歧化酶(SOD)活性,总抗氧化能力(T-AOC)以及丙二醛(MDA)和肝糖原含量采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定。GOT、GPT 活性单位定义为每毫克组织蛋白质与基质在 $37 ^\circ\text{C}$ 下作用 60 min,生成 $1 \mu\text{mol}$ 丙酮酸所需要的酶量为 1 个酶活性单位;SOD 活性单位定义为每毫克组织蛋白质在 1 mL 反应液中 SOD 抑制率达 50% 时所反应的 SOD 量为 1 个酶活性单位。T-AOC 单位定义为在 $37 ^\circ\text{C}$ 时,每分钟每毫克组织蛋白质使反应体系的吸光度(OD)值每增加 0.01 时为 1 个 T-AOC 单位。组织中蛋白质含量采用考马斯亮蓝法测定。

### 1.4 计算公式

特定生长率(SGR, %/d) =  $100 \times [\ln \text{末重}(\text{g}) -$

$\ln \text{初重}(\text{g})] / \text{试验天数}(\text{d})$ ;

蛋白质效率(PER, %) =  $100 \times \text{鱼体净增重}(\text{g}) / \text{蛋白质摄入量}(\text{g})$ ;

饲料效率(FE, %) =  $100 \times \text{鱼体净增重}(\text{g}) / \text{干物质摄入量}(\text{g})$ ;

摄食率(FR, %/d) =  $100 \times \text{干物质摄入量}(\text{g}) / \{ \text{试验天数}(\text{d}) \times [\text{末重}(\text{g}) + \text{初重}(\text{g})] / 2 \}$ ;

成活率(SR, %) =  $100 \times \text{试验末鱼尾数}(\text{尾}) / \text{试验初鱼尾数}(\text{尾})$ ;

肥满度(CF, %) =  $100 \times \text{体重}(\text{g}) / \text{体长}(\text{cm})^3$ ;

内脏指数(VSI, %) =  $100 \times \text{内脏重}(\text{g}) / \text{体重}(\text{g})$ ;

肝胰指数(HSI, %) =  $100 \times \text{肝胰脏重}(\text{g}) / \text{体重}(\text{g})$ 。

### 1.5 数据处理与分析

除成活率外,数据均以平均值和标准误表示,采用 SPSS 11.0 对所得数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA),若差异达到显著水平,则进行 Duncan 氏多重比较,显著水平为 $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 低鱼粉饲料中脱酚棉籽蛋白替代鱼粉对罗非鱼生长性能的影响

由表 2 可知,50% 替代水平组罗非鱼的末重显著高于对照组( $P < 0.05$ ),而与 100% 替代水平组差异不显著( $P > 0.05$ )。罗非鱼的特定生长率、蛋白质效率、饲料效率和摄食率组间差异不显著( $P > 0.05$ ),其中特定生长率、蛋白质效率和饲料效率均以 50% 替代水平组最高。各组罗非鱼的成活率均为 100%。

### 2.2 低鱼粉饲料中脱酚棉籽蛋白替代鱼粉对罗非鱼体组成的影响

由表 3 可知,随着脱酚棉籽蛋白替代水平的增加,罗非鱼的内脏指数显著增加( $P < 0.05$ )。各组罗非鱼的肝胰指数和肥满度无显著差异( $P > 0.05$ ),但随着脱酚棉籽蛋白替代水平的增加,肝胰指数呈增加趋势,而肥满度则呈降低趋势。脱酚棉籽蛋白替代不同水平鱼粉对罗非鱼的全鱼干物质、粗蛋白质、粗脂肪和灰分含量均无显著影响( $P > 0.05$ )。

表 2 低鱼粉饲料中脱酚棉籽蛋白替代鱼粉对罗非鱼生长性能的影响

Table 2 Effects of replacement of fish meal with degossypolled cottonseed protein in low fish meal diets on growth performance of tilapia

项目 Items	替代水平 Replacement level/%			SEM	P 值 P-value
	0	50	100		
初重 Initial weight/g	50.4	50.3	50.2	0.084	0.693
末重 Final weight/g	157.0 <sup>b</sup>	160.5 <sup>a</sup>	158.3 <sup>ab</sup>	0.665	0.046
特定生长率 SGR/(%/d)	2.19	2.23	2.21	0.009	0.164
饲料效率 FE/%	70.4	71.8	70.8	0.004	0.188
蛋白质效率 PER/%	2.20	2.24	2.21	0.012	0.189
摄食率 FR/(%/d)	2.61	2.60	2.61	0.015	0.752
成活率 SR/%	100	100	100		

同行数据肩注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 低鱼粉饲料中脱酚棉籽蛋白替代鱼粉对罗非鱼体组成的影响(湿重基础)

Table 3 Effects of replacement of fish meal with degossypolled cottonseed protein in low fish meal diets on body composition of tilapia (wet weight basis)

项目 Items	替代水平 Replacement level/%			SEM	P 值 P-value
	0	50	100		
内脏指数 VSI	7.31 <sup>c</sup>	9.65 <sup>b</sup>	11.66 <sup>a</sup>	0.668	0.002
肝胰指数 HSI	1.39	1.74	1.98	0.138	0.217
肥满度 CF	3.62	3.38	3.22	0.141	0.872
干物质 Dry matter	27.6	27.2	27.2	0.087	0.266
粗蛋白质 Crude protein	17.6	17.4	17.3	0.073	0.343
粗脂肪 Crude lipid	7.55	7.36	7.26	0.055	0.814
灰分 Ash	3.42	3.35	3.38	0.025	0.352

### 2.3 低鱼粉饲料中脱酚棉籽蛋白替代鱼粉对罗非鱼肝胰脏消化酶活性的影响

由表 4 可知,脱酚棉籽蛋白替代不同水平鱼粉对罗非鱼的肝胰脏胰蛋白酶和淀粉酶活性有显著影响 ( $P < 0.05$ )。50% 替代水平组罗非鱼的肝

胰脏胰蛋白酶活性显著高于对照组和 100% 替代水平组 ( $P < 0.05$ ),但对照组与 100% 替代水平组之间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。随着脱酚棉籽蛋白替代水平的增加,肝胰脏淀粉酶活性显著增加 ( $P < 0.05$ )。

表 4 低鱼粉饲料中脱酚棉籽蛋白替代鱼粉对罗非鱼肝胰脏消化酶活性的影响

Table 4 Effects of replacement of fish meal with degossypolled cottonseed protein in low fish meal diets on digestive enzyme activities in hepatopancreas of tilapia

项目 Items	替代水平 Replacement level/%			SEM	P 值 P-value
	0	50	100		
胰蛋白酶 Trypsinase	70.6 <sup>b</sup>	88.3 <sup>a</sup>	67.4 <sup>b</sup>	3.749	0.015
淀粉酶 Amylase	175.2 <sup>c</sup>	199.9 <sup>b</sup>	268.6 <sup>a</sup>	13.983	<0.001

## 2.4 低鱼粉饲料中脱酚棉籽蛋白替代鱼粉对罗非鱼肝胰脏代谢、抗氧化指标以及肝糖原含量的影响

由表 5 可知,脱酚棉籽蛋白替代不同水平鱼粉对罗非鱼的肝胰脏代谢、抗氧化指标以及肝糖原含量均有显著影响( $P < 0.05$ )。随着脱酚棉籽

蛋白替代水平的增加,罗非鱼的肝胰脏 T-AOC、GPT、GOT、SOD 活性和肝糖原含量均显著降低( $P < 0.05$ );而 MDA 含量则表现出与上述指标相反的变化规律,即随着脱酚棉籽蛋白替代水平的增加而显著增加( $P < 0.05$ )。

表 5 低鱼粉饲料中脱酚棉籽蛋白替代鱼粉对罗非鱼肝胰脏代谢、抗氧化指标以及肝糖原含量的影响

Table 5 Effects of replacement of fish meal with degossypolled cottonseed protein in low fish meal diets on metabolism and antioxidant indices and liver glycogen content in hepatopancreas of tilapia

项目 Items	替代水平 Replacement level/%			SEM	P 值 P-value
	0	50	100		
代谢指标 Metabolism indices/(U/mg prot)					
谷丙转氨酶 GPT	90.1 <sup>a</sup>	75.7 <sup>b</sup>	58.0 <sup>c</sup>	4.783	<0.001
谷草转氨酶 GOT	125.9 <sup>a</sup>	95.8 <sup>b</sup>	78.5 <sup>c</sup>	6.944	<0.001
抗氧化指标 Antioxidant indices					
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mg prot)	196.5 <sup>a</sup>	151.1 <sup>b</sup>	126.7 <sup>c</sup>	10.586	<0.001
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mg prot)	2.69 <sup>a</sup>	1.65 <sup>b</sup>	1.29 <sup>c</sup>	0.211	<0.001
丙二醛 MDA/(nmol/mg prot)	40.6 <sup>c</sup>	52.5 <sup>b</sup>	60.8 <sup>a</sup>	2.924	<0.001
肝糖原 Liver glycogen/(mg/g)	43.8 <sup>a</sup>	36.9 <sup>b</sup>	30.0 <sup>c</sup>	2.000	<0.001

## 3 讨论

从本试验结果可以看出,在低鱼粉饲料(鱼粉用量为 6.0%)中脱酚棉籽蛋白完全替代鱼粉不会影响罗非鱼的生长效果和饲料利用率。棉籽粕因含有游离棉酚且赖氨酸含量低而影响其在罗非鱼饲料中的用量<sup>[7]</sup>。研究表明,网箱中养殖的杂交罗非鱼的饲料中可用棉籽粕替代 50% 的豆粕<sup>[12]</sup>,如果饲料中再补充赖氨酸,棉籽粕还可以替代 60% 的豆粕,最终棉籽粕用量达到 33.76%<sup>[13]</sup>;而在尼罗罗非鱼饲料中补充铁(铁:游离棉酚 = 1:1),棉籽粕则可以完全替代鱼粉<sup>[14]</sup>。上述结果表明,罗非鱼对棉籽粕的耐受能力因其品种或饲料配方差异而不同。目前,主要通过改善加工工艺、补充必需氨基酸、降低或消除抗营养因子等手段来提高植物蛋白质源在水产动物饲料中的使用量。罗琳等<sup>[8]</sup>研究表明,日本鲈饲料(鱼粉用量为 45%)中脱酚棉籽蛋白的替代水平以不超过 50% 的鱼粉蛋白质为宜。Luo 等<sup>[9]</sup>研究发现,虹鳟幼鱼的饲料(鱼粉用量为 22.5%)中可以用 30.5% 脱酚棉籽蛋白替代 50.0% 的秘鲁鱼粉而不影响其生产性能。吴秀峰等<sup>[10]</sup>研究认为,西伯利亚鲟幼鱼饲料

(鱼粉用量为 48%)中脱酚棉籽粉可替代 40% 的鱼粉蛋白质。Gui 等<sup>[11]</sup>研究发现,在异育银鲫饲料(棉籽粕用量为 13%)中添加 5% 的棉籽粕酶解物是比较适宜的。上述研究结果表明,不同来源的棉籽蛋白在水产饲料中的合理利用均是可行的,但不同的鱼种对不同来源的棉籽蛋白的耐受剂量是不同的。

用植物蛋白质源替代鱼粉往往因饲料适口性差导致试验动物摄食率降低,进而影响动物的生长<sup>[15]</sup>。Luo 等<sup>[9]</sup>研究指出,饲料中添加脱酚棉籽蛋白使虹鳟幼鱼生长性能降低,并认为这主要是因饲料适口性变差,导致摄食率下降所致。本研究中,脱酚棉籽蛋白替代不同水平鱼粉并没有影响罗非鱼的摄食率,表明脱酚棉籽蛋白对罗非鱼饲料适口性的影响在其可接受范围内。当饲料中游离棉酚超过一定量时,会使单胃动物中毒,包括鱼类<sup>[4]</sup>。Robinson 等<sup>[16]</sup>研究指出,奥利亚罗非鱼对游离棉酚的耐受剂量为 180 mg/kg。然而,本研究中各试验饲料中游离棉酚含量均低于 170 mg/kg,但脱酚棉籽蛋白的添加对吉富罗非鱼的生理功能产生了一定程度的负面影响。上述结果表明,不同鱼种对游离棉酚的耐受能力是不

同的。

本研究发现,饲料中脱酚棉籽蛋白替代鱼粉水平会显著影响罗非鱼的消化酶活性,替代水平为50%的组罗非鱼生长性能最好,其肝胰脏胰蛋白酶活性最高,这提示罗非鱼生长效果的改善主要是因其消化能力的提高。不同植物蛋白质源因抗营养因子种类、含量不同而对养殖鱼类消化酶活性产生不同的影响<sup>[17-18]</sup>。本研究中,当脱酚棉籽蛋白替代50%的鱼粉时,饲料中游离棉酚含量有所增加,但罗非鱼的肝胰脏胰蛋白酶活性不降反增,这可能是鱼类消化酶活性对饲料组成变化的适应性调整。

本试验中,随着脱酚棉籽蛋白替代水平的提高,罗非鱼的肝胰脏 GOT 和 GPT 活性降低,而生长性能并未受到影响。这表明罗非鱼的肝功能受到了一定程度的损伤,但还未危及到罗非鱼的生长。本试验饲养周期为8周,而饲养周期对试验结果是否有影响,这是值得深入研究的。Blom 等<sup>[19]</sup>研究指出,用棉籽粕完全替代饲料中鱼粉饲养虹鳟6个月,不影响虹鳟的生长性能和成活率,但会降低雌性亲本的繁殖性能。Lee 等<sup>[6]</sup>用棉籽粕替代饲料中鱼粉饲养虹鳟亲鱼3年(体重由250 g增加到4 000 g),结果发现,虹鳟饲料中棉籽粕可以完全替代鱼粉而不会影响虹鳟的生长和繁殖性能;然而,在饲养周期的第1年和第2年,饲料中棉籽粕的增加却显著降低了虹鳟的血细胞比容、血红蛋白含量。有关虹鳟的研究还表明,用菜籽浓缩蛋白替代75%的鱼粉饲养虹鳟63 d,虹鳟的生长性能未受到影响<sup>[20]</sup>;但用菜籽浓缩蛋白替代50%的鱼粉饲养虹鳟140 d,虹鳟的生长性能显著降低<sup>[21]</sup>。上述研究结果说明,饲养周期会对试验结果产生影响。因此,对鱼类利用植物蛋白质源的评价应该对鱼类进行整个生长周期的研究,这样得出的结果才是最科学、最准确的。

研究指出,饲料组成会对鱼类的非特异性免疫功能产生影响<sup>[22-23]</sup>。作者前期相关的研究也发现,不同植物蛋白质源对罗非鱼的非特异性免疫功能可产生不同的影响,以菜籽粕、棉籽粕对罗非鱼肝胰脏 GOT、GPT 和 SOD 活性的影响最大,其次是花生粕,而以豆粕的影响最小<sup>[24]</sup>。本研究发现,随着脱酚棉籽蛋白替代水平的提高,罗非鱼肝胰脏的抗氧化能力显著降低,表明饲料中脱酚棉籽蛋白已对罗非鱼的免疫和防御系统产生了负

面影响。作者前期相关研究发现,饲料配方中菜籽粕、棉籽粕总量超过52%会显著影响罗非鱼血清 GOT、GPT、SOD 和溶菌酶活性<sup>[3]</sup>。Burrells 等<sup>[25]</sup>研究发现,随着大豆蛋白替代鱼粉水平的提高,虹鳟的吞噬指数和呼吸爆发活性显著下降。Krogdahl 等<sup>[26]</sup>研究发现,大豆品种的不同会显著影响大西洋鲑的溶菌酶活性和抗体水平。这些研究表明,饲料中不同植物蛋白质源及其添加水平均能够影响鱼类的免疫系统,从而使其免疫应答反应出现差异。

## 4 结 论

① 在低鱼粉饲料中,脱酚棉籽蛋白可以完全替代鱼粉而不影响罗非鱼的生长性能,但对其免疫应答会产生负面影响。

② 综合分析可知,罗非鱼低鱼粉饲料中脱酚棉籽蛋白替代鱼粉的水平以不超过50%为宜。

## 参考文献:

- [1] RINCHARD J, LEE K J, CZESNY S. et al. Effect of feeding cottonseed meal-containing diets to broodstock rainbow trout and their impact on the growth of their progenies [J]. *Aquaculture*, 2003, 227: 77 - 87.
- [2] LI M H, ROBINSON E H. Use of cottonseed meal in aquatic animal diets: a review [J]. *North American Journal of Aquaculture*, 2006, 68: 14 - 22.
- [3] 林仕梅, 麦康森, 谭北平. 菜粕、棉粕替代豆粕对奥尼罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) 生长、体组成和免疫力的影响 [J]. *海洋与湖沼*, 2007, 38 (2): 168 - 173.
- [4] 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.
- [5] CHENG Z J, HARDY R W. Apparent digestibility coefficients and nutritional value of cottonseed meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 2002, 212: 361 - 372.
- [6] LEE K J, RINCHARD J, DABROWSKI K, et al. Long-term effects of dietary cottonseed meal on growth and reproductive performance of rainbow trout: three-year study [J]. *Animal Feed Science and*

- Technology, 2006, 126:93 – 106.
- [ 7 ] MBAHINZIREKI G B, DABROWSKI K, LEE K J, 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.
- [ 8 ] 罗琳, 薛敏, 吴秀峰, 等. 脱酚棉籽蛋白在饲料中替代鱼粉对日本鲈 (*Lateolabrax japonicus*) 生长、体成分及营养成分表观消化率的影响[J]. 水产学报, 2005, 29(6):866 – 870.
- [ 9 ] LUO L, XUE M, WU X, et al. Partial or total replacement of fishmeal by solvent-extracted cottonseed meal in diets for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2006, 12: 418 – 424.
- [ 10 ] 吴秀峰, 薛敏, 郭利亚, 等. 脱酚棉籽粉替代部分鱼粉对西伯利亚鲟幼鱼生长、体成分及血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2010, 22(1):117 – 124.
- [ 11 ] GUI D, LIU W B, SHAO X P, et al. Effects of different dietary levels of cottonseed meal protein hydrolysate on growth, digestibility, body composition and serum biochemical indices in crucian carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. Animal Feed Science and Technology, 2010, 156:112 – 120.
- [ 12 ] VIOLA S, ZOHAR G. Nutrition studies with market size hybrids of tilapia *Oreochromis* sp. in intensive culture[J]. The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh, 1984, 36:3 – 15.
- [ 13 ] YUE Y L, 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.
- [ 14 ] 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, 35:859 – 869.
- [ 15 ] WEBSTER C D, TIU L G, TIDWELL J H, et al. Growth and body composition of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed diets containing various percentages of canola meal [J]. Aquaculture, 1997, 150:103 – 112.
- [ 16 ] 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.
- [ 17 ] ESCAFFRE A M, ZAMBONINO I J L, CAHU C L, et al. Nutritional value of soy protein concentrate for larvae of common carp (*Cyprinus carpio*) based on growth performance and digestive enzyme activities [J]. Aquaculture, 1997, 153:80 – 86.
- [ 18 ] OSTASZEWSKA T, DABROWSKI K, PALACIOS M E, et al. Growth and morphological changes in the digestive tract of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and pacu (*Piaractus mesopotamicus*) due to casein replacement with soybean proteins [J]. Aquaculture, 2005, 245:273 – 286.
- [ 19 ] BLOM J H, LEE K J, RINCHARD J, et al. Reproductive efficiency and maternal-offspring transfer of gossypol in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets containing cottonseed meal [J]. Journal of Animal Science, 2001, 79:1533 – 1539.
- [ 20 ] THIESSEN D L, MAENZ D D, NEWKIRK R W, et al. Replacement of fish meal by canola protein concentrate in diets fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2004, 10:379 – 388.
- [ 21 ] DREW M D, OGUNKOYA A E, JANZ D M, et al. Dietary influence of replacing fish meal and oil with canola protein concentrate and vegetable oils on growth performance, fatty acid composition and organochlorine residues in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 2007, 267:260 – 268.
- [ 22 ] KIRON V, PUANGKAEW J, ISHIZAKA K, et al. Antioxidant status and nonspecific immune responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed two levels of vitamin E along with three lipid sources [J]. Aquaculture, 2004, 234:361 – 379.
- [ 23 ] SITJÀ-BOBADILLA A, PEÑA-LLOPIS S, GÓMEZ-REQUENI P, et al. Effect of fish meal replacement by plant protein sources on non-specific defence mechanisms and oxidative stress in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) [J]. Aquaculture, 2005, 249:387 – 400.
- [ 24 ] LIN S M, MAI K S, TAN B P, et al. Effects of four vegetable protein supplementation on growth, digestive enzyme activities, and liver functions of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2010, 41(4):583 – 593.
- [ 25 ] BURRELLS C, WILLIAMS P D, SOUTHGATE P J, et al. Immunological, physiological and pathological responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to increasing dietary concentrations of soybean proteins

- [J]. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 1999, 72:277–288.
- [26] KROGDAHL A, BAKKE-MCKELLEP A M, ROED K H, et al. Feeding Atlantic salmon *Salmo salar* L. soybean products: effects on disease resistance (fungal), and lysozyme and IgM levels in the intestinal mucosa[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2000, 6: 77–84.

## Replacement of Fish Meal with Degossypolled Cottonseed Protein in Low Fish Meal Diets for Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

LIN Shimei<sup>1,2</sup> MAO Shuhong<sup>1</sup> GUAN Yong<sup>1</sup> PAN Yu<sup>1</sup> LUO Lin<sup>3\*</sup> LUO Li<sup>1,2</sup>

(1. *College of Animal Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400716, China*;

2. *Key Laboratory of Freshwater Fish Resources and Reproductive Development of Ministry of Education, Chongqing 400716, China*; 3. *Beijing Fisheries Research Institute, Beijing 100068, China*)

**Abstract:** In order to study the feasibility of replacement of fish meal with degossypolled cottonseed protein in low fish meal diets for tilapia (*Oreochromis niloticus*), three isonitrogenous and isoenergetic experimental diets were formulated by replacing 0, 50% and 100% fish meal with degossypolled cottonseed protein on basis of a practical diet (fish meal content was 6.0% and crude protein content in fish meal was 64.5%), respectively. A total of 270 male genetically improved farmed tilapia (GIFT) with an average body weight of 50 g were randomly divided into 3 groups with 3 replicates per group and 30 fish per replicate, and the fish in the control group were fed the experimental diet containing 0 degossypolled cottonseed protein. The experiment lasted for 8 weeks. The results showed as follows: the final weight of tilapia in the 50% replacement level group was significantly higher than that in the control group ( $P < 0.05$ ), but there was no significant difference between the 50% replacement level group and 100% replacement level group ( $P > 0.05$ ). No significant differences were found in special growth rate, protein efficiency ratio, feed efficiency and feeding rate of tilapia among all groups ( $P > 0.05$ ). With increasing replacement level of degossypolled cottonseed protein, the viscerosomatic index of tilapia was significantly increased ( $P < 0.05$ ), but no significant differences were found in hepaticosomatic index, condition factor and contents of dry matter, crude protein, crude lipid and ash of whole fish ( $P > 0.05$ ). The replacement level of degossypolled cottonseed protein could significantly affect the hepatopancreas digestive enzyme activities of tilapia ( $P < 0.05$ ), and the highest values of trypsinase and amylase activities were found in the 50% replacement level group and 100% replacement level group, respectively. With increasing replacement level of degossypolled cottonseed protein, the total antioxidant capacity, activities of superoxide dismutase, glutamic pyruvic transaminase and glutamic oxaloacetic transaminase, and liver glycogen content in hepatopancreas of tilapia were significantly increased ( $P < 0.05$ ), while the malondialdehyde content was significantly decreased ( $P < 0.05$ ). In conclusion, the suitable replacement levels of fish meal with degossypolled cottonseed protein are not more than 50% in the tilapia low fish meal diets, and higher replacement levels can induce negative influences on immune response of tilapia. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(12):2331-2338]

**Key words:** tilapia (*Oreochromis niloticus*); low fish meal diet; degossypolled cottonseed protein; fish meal