

# 菜籽粕对异育银鲫免疫应答能力的影响\*

赵飞<sup>1)</sup> 吴志新<sup>1)</sup>\*\* 庞素凤<sup>1)</sup> 彭健<sup>2)</sup> 聂品<sup>3)</sup> 陈孝煊<sup>1)</sup>

(<sup>1)</sup>华中农业大学水产学院,武汉 430070; (<sup>2)</sup>华中农业大学动物科技学院,武汉 430070;

(<sup>3)</sup>中国科学院水生生物研究所,武汉 430072)

**摘要** 试验鱼以投喂饲料的不同和是否注射抗原共分为10组,即免疫组:A、B、C、D、E组,免疫对照组:a、b、c、d、e组,饲料对照组:A、a组。饲料试验组B、C、D、E、b、c、d、e组。其中,饲料对照组以豆粕和鱼粉为基础蛋白源,饲料试验组分别以双低菜籽粕和普通菜籽粕等氮替代对照组中50%(B、b;D、d)和100%(C、c;E、e)的豆粕蛋白,测定异育银鲫血液白细胞和头肾吞噬细胞的吞噬活性、血清溶菌酶活性、血清补体(C3、C4)含量、血清凝集抗体效价及免疫保护率。结果表明:从免疫后21 d开始,饲料试验组E、e、C、c组的各项免疫指标都显著低于相应饲料对照组;在49 d,D、d组的部分免疫指标也显著低于相应饲料对照组;B、b组和相应饲料对照组之间没有显著的变化。免疫组的各项免疫指标均显著高于相对应的投喂相同饲料的免疫对照组。

**关键词** 双低菜籽粕;普通菜籽粕;异育银鲫;免疫应答

**中图分类号** S 963.31+4; Q 959.46+8 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2007)03-0361-06

油菜是我国第一大油料作物,年产菜籽粕600余万吨,菜籽粕含粗蛋白约35%~40%,氨基酸较齐全,还富含维生素和矿物质,是一种廉价易得的优质饲料蛋白源<sup>[1]</sup>。但是菜籽粕中含有多种抗营养因子,主要有硫代葡萄糖甙(简称硫甙)、芥子碱、植酸、单宁、粗纤维等,从而影响了它作为饲料的利用价值。尽管双低菜籽粕已降低了硫甙、芥子碱的含量,但其中依然含有抗营养因子和毒素,大大限制了菜籽粕的利用<sup>[2]</sup>。

国内外不少学者对菜籽粕的营养价值、抗营养因子的组成、在饲料中的添加量及对鱼类的生长和生理生化影响等进行了研究<sup>[3-5]</sup>,但是关于菜籽粕对鱼类免疫应答能力的影响,至今未见报道。笔者研究菜籽粕对异育银鲫免疫应答能力的影响,以期探讨鱼类营养与免疫的关系,为有效开发菜籽粕这一低成本饲料蛋白源提供重要的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验鱼和饲养条件

试验用的异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)

购于武汉市野芷湖渔场,体格健壮,规格一致,平均体重120 g,分养于水泥池(4 m<sup>2</sup>)中。以曝气的自来水为水源,自然水温,试验鱼驯养2周,待其适应环境,并确认无疾病症状后,开始试验。每日喂食2次(8:30~9:00,16:00~16:30),投喂相当于鱼体重的1.5%的饲料。

### 1.2 试验饲料

试验鱼以投喂饲料的不同和是否注射抗原共分为10组,即免疫组为A、B、C、D、E组,免疫对照组为a、b、c、d、e组,每组30尾。其中饲料对照组(A、a)以豆粕和鱼粉为基础蛋白源,饲料试验组分别以双低菜籽粕(double-low rapeseed meal, DLRM)和普通菜籽粕(common rapeseed meal, CRM)等氮替代饲料对照组中50%(B、b;D、d)和100%(C、c;E、e)的豆粕蛋白。饲料配方及化学组成见表1,其中双低菜籽粕为“华双3号”菜籽粕。分别测定了双低菜籽粕及普通菜籽粕的主要抗营养因子含量,其中硫甙分别为32.28、117.63 μmol/g,芥子碱为1.17%、2.18%,植酸为2.62%、3.43%,单宁为0.55%、0.71%,粗纤维为11.75%、13.84%。

收稿日期:2006-11-02

\*教育部新世纪人才支持计划(NCET-04-0732)、淡水生态与生物技术国家重点实验室开放课题(2003FB01)资助

\*\*通讯作者。E-mail: wuzhixin@mail. hzau. edu. cn

赵飞,男,1979年生,硕士。现在工作单位:中国水产科学研究院珠江水产研究所,广州 510380

表1 试验饲料配方及化学组成

Table 1 Formulation and chemical composition of the experimental diets

%

原料成分 Material ingredients	试验组 Test groups				
	A;a	B;b	C;c	D;d	E;e
双低菜籽粕 DLRM	0.00	33.43	66.86	0.00	0.00
普通菜籽粕 CRM	0.00	0.00	0.00	34.97	69.94
豆粕 Soybean meal	56.84	28.42	0.00	28.42	0.00
鱼粉 Fish meal	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
豆油 Soybean oil	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
无机盐预混剂 Mineral premix	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
维生素预混剂 Vitamin premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$\alpha$ -淀粉 $\alpha$ -starch	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
玉米淀粉 Maize starch	18.16	13.15	8.14	11.61	5.06
化学组成 Chemical composition					
干物质 Dry matter	89.54	89.29	89.83	89.61	90.05
粗蛋白 Crude protein	31.32	32.11	31.18	30.79	31.55
粗脂肪 Crude lipid	7.55	7.84	8.24	8.12	7.93
粗灰分 Ash	8.07	8.43	8.84	8.26	9.13

### 1.3 免疫接种

将各组试验鱼喂养 60 d 后开始免疫接种,以 0.65% 的灭菌生理盐水将福尔马林灭活的嗜水气单胞菌 (formalin killed *Aeromonas hydrophila*, F-AH) 调整为  $1.0 \times 10^8$  cfu/mL,对 A、B、C、D、E 组的每尾试验鱼经胸鳍注射 0.2 mL,作为免疫组,而对 a、b、c、d、e 组的试验鱼注射 0.2 mL 灭菌生理盐水,作为免疫对照组。

### 1.4 采血

分别于免疫接种后的第 21、35、49 天取样,从各组中分别随机捞取 5 尾鱼,从尾静脉取血。将每尾鱼的血液分成 2 份,其中 1 份以肝素抗凝,制备抗凝血,供测定血液白细胞吞噬活性用;另 1 份血液制备血清,供测定血清凝集抗体效价、血清溶菌酶活性和血清补体 (C3、C4) 含量用。

### 1.5 头肾吞噬细胞液的制备

对采血后的供试鱼立即解剖,取出头肾,在 RPIM1640 培养基中用灭菌剪刀将头肾剪碎,再用铜网过滤去除组织块。以 600 r/min 离心 10 min,将滤液中的细胞清洗 3 次,离心回收细胞并用 RPIM1640 培养基将细胞浓度调整至每毫升  $1.0 \times 10^7$  个,即成头肾吞噬细胞液。

### 1.6 血液白细胞和头肾吞噬细胞的吞噬活性的测定

参照文献[6]中的方法进行,计算吞噬百分比和吞噬指数。吞噬百分比 (phagocytic percentage, PP) (%) = (100 个吞噬细胞中参与吞噬的细胞数 / 100)  $\times$  100,吞噬指数 (phagocytic index, PI) = 细胞内总菌数 / 吞噬细菌的细胞数。

### 1.7 血清溶菌酶活性的测定

参照文献[7]中的有关方法进行,以溶菌酶 (Amresco 产品,活性为 20 000 U/mg) 为标准品,以溶壁微球菌 (*Micrococcus lysodeikticus*, 冻干粉, Sigma 产品) 为敏感菌株。

### 1.8 血清补体 (C3、C4) 含量的测定

采用上海明华体外诊断试剂有限公司生产的试剂盒,用全自动生化分析仪 (ACTO II) 测定。

### 1.9 凝集抗体效价的测定

采用血凝板法进行,反应抗原为 F-AH。

### 1.10 攻毒

于免疫接种后第 49 天,各组分别取 15 尾供试鱼,经胸鳍基部对每尾鱼注射 0.2 mL  $1.0 \times 10^8$  cfu/mL 嗜水气单胞菌活菌液。对攻毒后的鱼连续观察 14 d,统计死亡率,计算免疫保护率 (relative percent survival, RPS)。

免疫保护率 (%) = [1 - (受免鱼死亡率 / 对照鱼死亡率)]  $\times$  100

### 1.11 数据处理

试验数据用 STATISTICA 6.0 软件进行统计分析,组间差异采用 Duncan's 多重比较,显著水平为 0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 菜籽粕对异育银鲫血液白细胞和头肾吞噬细胞吞噬活性的影响

结果如表 2、表 3 所示,血液白细胞和头肾吞噬细胞吞噬活性的变化趋势相似。在免疫组及免疫对照组中, E、e、C、c 组的吞噬活性都逐渐降低, E、e 组

的 PP、PI 最小,C、c 组其次。从第 21 天开始,E、e、C、c 组的血液白细胞和头肾吞噬细胞的 PP、PI 都显著低于相应饲料对照组。第 49 天,D、d 组的 PP 和 PI 均显著地低于相应饲料对照组。B、b 组和相应饲料对照组之间在整个试验过程中没有出现显著性差异。免疫组的血液白细胞和头肾吞噬细胞的 PP 和 PI 值均显著高于相对应的投喂相同饲料的免疫对照组。

表 2 异育银鲫血液白细胞的吞噬活性<sup>1)</sup>

Table 2 Phagocytic activity of the blood leucocytes of gibel carp

组别 Groups	免疫后的天数和相应吞噬百分比 Days after immunization and their PP/%			免疫后的天数和相应吞噬指数 Days after immunization and their PI		
	21 d	35 d	49 d	21 d	35 d	49 d
	A	53.45±4.39 a	47.38±4.17 a	51.23±3.60 a	5.07±0.43 a	4.64±0.39 a
B	49.71±4.30 a	47.39±4.39 a	48.43±4.31 a	4.82±0.50 a	4.45±0.42 a	4.91±0.38 a
C	42.38±3.54 bc	38.39±3.56 b	34.59±3.61 c	4.01±0.41 bc	3.56±0.39 b	3.42±0.34 c
D	44.38±3.25 ab	46.38±3.21 a	41.60±2.80 b	4.61±0.40 ab	4.40±0.52 a	4.19±0.40 b
E	37.35±3.43 c	34.24±3.01 b	31.43±2.82 c	3.75±0.41 c	3.42±0.37 b	3.05±0.39 c
a	41.77±3.87 a	37.36±3.08 a	40.31±3.14 a	4.03±0.32 a	4.08±0.34 a	3.94±0.36 a
b	37.99±3.26 a	35.69±3.92 a	39.00±3.80 a	3.75±0.28 a	3.92±0.39 a	3.82±0.35 a
c	31.46±2.41 bc	29.23±2.44 b	26.31±2.66 c	3.12±0.29 bc	2.82±0.29 bc	2.45±0.24 c
d	35.34±2.36 ab	30.30±2.74 b	32.14±2.67 b	3.62±0.34 ab	3.22±0.32 b	3.05±0.33 b
e	28.98±3.08 c	24.60±2.65 b	22.23±2.27 c	2.79±0.26 c	2.49±0.26 c	2.08±0.31 c

1)表中同列数据后的不同字母表示差异显著(P<0.05),下同

Values followed by different letters in the same column are significantly different (P<0.05), the same afterwards

表 3 异育银鲫头肾吞噬细胞的吞噬活性

Table 3 Phagocytic activity of the head kidney phagocytes of gibel carp

组别 Groups	免疫后的天数和相应吞噬百分比 Days after immunization and their PP/%			免疫后的天数和相应吞噬指数 Days after immunization and their PI		
	21 d	35 d	49 d	21 d	35 d	49 d
	A	48.16±4.61 a	43.96±4.29 a	45.29±4.12 a	4.75±0.44 a	4.92±0.50 a
B	47.36±4.93 a	45.05±4.60 a	48.26±3.59 a	4.61±0.39 a	4.46±0.34 ab	4.72±0.48 a
C	36.36±3.96 bc	32.29±3.57 b	34.29±2.89 bc	3.79±0.40 bc	3.65±0.37 cd	3.41±0.33 bc
D	42.24±3.72 ab	38.52±3.98 a	37.43±2.80 b	4.45±0.43 ab	4.15±0.31 bc	3.89±0.37 b
E	34.83±4.47 c	28.09±2.05 c	30.44±4.08 c	3.51±0.38 c	3.40±0.41 d	3.04±0.40 c
a	34.83±3.01 a	36.39±3.42 a	37.21±3.91 a	3.62±0.29 a	3.96±0.31 a	3.81±0.37 a
b	35.25±2.83 a	34.43±2.88 ab	36.32±3.50 a	3.43±0.36 a	3.65±0.31 ab	3.71±0.31 a
c	28.26±2.20 bc	27.20±3.37 cd	25.79±3.37 b	2.75±0.31 bc	2.98±0.27 cd	2.65±0.27 bc
d	32.14±2.68 ab	29.89±2.26 bc	28.49±2.68 b	3.30±0.27 ab	3.25±0.24 bc	3.05±0.32 b
e	25.34±2.92 b	22.06±2.40 d	23.36±3.30 c	2.31±0.34 c	2.63±0.30 d	2.23±0.25 c

2.2 菜籽粕对异育银鲫血清溶菌酶活性的影响

结果如图 1 和图 2 所示。免疫组和免疫对照组的变化规律基本一致。从第 21 天开始,饲料试验组 E、e、C、c 组的溶菌酶活性显著低于相应饲料对照组。D、d 组的溶菌酶活性逐渐降低,在第 49 天时,显著低于相应饲料对照组。B、b 组和相应饲料对照组之间没有出现显著差异。免疫组的溶菌酶活性显著地高于相对应的投喂相同饲料的免疫对照组。

2.3 菜籽粕对异育银鲫血清补体(C3,C4)含量的影响

结果如表 4 所示,血清补体 C3 和 C4 的变化规律一致,免疫组和免疫对照组的变化规律相似。从第 21 天开始,饲料试验组 E、e、C、c 组的 C3、C4 含量就显著地低于相应饲料对照组。在第 49 天,D、d 组的 C3、C4 含量显著地低于相应饲料对照组。B、b 组和相应饲料对照组之间没有出现显著差异。免疫组的 C3、C4 含量显著地高于相对应的投喂相同饲料的免疫对照组。

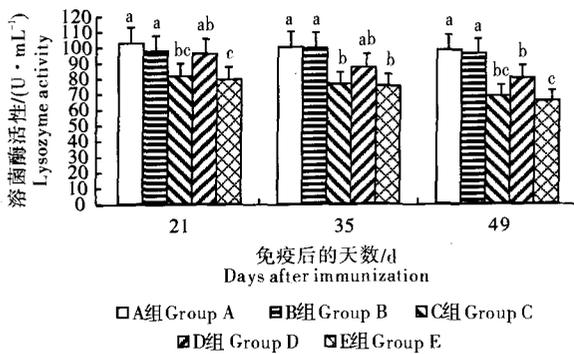


图1 免疫组异育银鲫的血清溶菌酶活性<sup>1)</sup>

Fig.1 Serum lysozyme activity in the immunized groups

1)图上方字母不同表示差异显著(P<0.05),下同  
The different letters mean significantly difference (P<0.05), the same afterwards

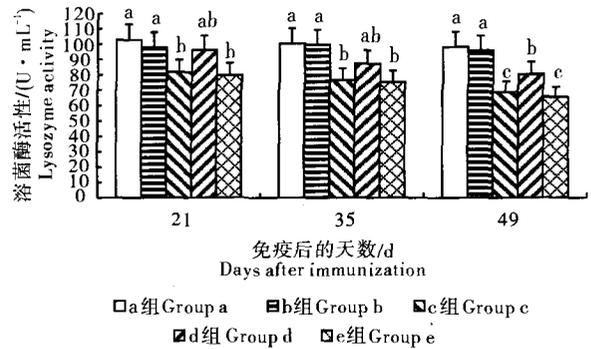


图2 免疫对照组异育银鲫的血清溶菌酶活性

Fig.2 Serum lysozyme activity in the non-immunized control groups

表4 异育银鲫的血清补体(C3,C4)含量

Table 4 Content of serum complement (C3,C4) of gibel carp

组别 Groups	免疫后的天数和相应 C3 的含量 / (g · L <sup>-1</sup> ) Days after immunization and their content of C3			免疫后的天数和相应 C4 的含量 / (g · L <sup>-1</sup> ) Days after immunization and their content of C4		
	21 d	35 d	49 d	21 d	35 d	49 d
	A	0.341±0.033 ab	0.363±0.037 a	0.335±0.026 a	0.256±0.031 a	0.215±0.033 a
B	0.322±0.026 ab	0.341±0.026 a	0.319±0.031 ab	0.225±0.025 a	0.195±0.025 a	0.209±0.031 a
C	0.284±0.029 bc	0.244±0.021 b	0.267±0.027 bc	0.163±0.019 bc	0.134±0.020 bc	0.121±0.026 b
D	0.335±0.045 ab	0.308±0.033 a	0.278±0.033 b	0.206±0.030 ab	0.154±0.022 b	0.184±0.031 a
E	0.268±0.021 c	0.229±0.027 b	0.216±0.020 c	0.138±0.022 c	0.098±0.013 c	0.113±0.020 b
a	0.230±0.027 a	0.257±0.024 a	0.267±0.037 a	0.171±0.030 a	0.148±0.026 a	0.137±0.016 a
b	0.241±0.023 a	0.250±0.021 a	0.237±0.024 a	0.162±0.023 a	0.129±0.022 ab	0.148±0.024 a
c	0.174±0.024 b	0.194±0.023 bc	0.181±0.022 bc	0.115±0.016 bc	0.080±0.013 c	0.068±0.015 b
d	0.220±0.028 ab	0.233±0.025 ab	0.203±0.025 b	0.151±0.020 ab	0.107±0.016 bc	0.088±0.013 b
e	0.147±0.019 b	0.163±0.026 c	0.140±0.026 c	0.093±0.018 c	0.079±0.021 c	0.061±0.012 b

2.4 菜籽粕对受免和对照异育银鲫血清中凝集抗体效价及存活率的影响

5所示。在各免疫组中,凝集抗体效价在免疫后第21天最高,然后逐渐下降,以A组凝集抗体效价

所测凝集抗体效价及攻毒后的免疫保护率如表(1:294,1)最高,其次为B组(1:194,0),而E组

表5 异育银鲫血清中凝集抗体效价和攻毒后的免疫保护率<sup>1)</sup>

Table 5 Agglutinating antibody titers in serum and RPS of gibel carp after challenge

组别 Groups	免疫后的天数和相应凝集抗体效价 Days after immunization and their agglutinating antibody titers			攻毒后的死亡率和免疫保护率 Mortality and RPS of gibel carp after challenged	
	21 d	35 d	49 d	死亡率 Mortality/%	免疫保护率 RPS/%
	A	1:(128~512)[294,1]	1:(128~512)[256,0]	1:(64~256)[128,0]	13.3
a	1:(<4~8)[4,6]	1:(<4~8)[4]	1:(<4)[<4]	73.3	
B	1:(128~256)[194,0]	1:(128~256)[168,9]	1:(64~128)[97,0]	20.0	75.0
b	1:(<4~8)[4]	1:(<4~8)[<4]	1:(<4)[<4]	80.0	
C	1:(64~256)[128,0]	1:(64~128)[84,5]	1:(32~64)[48,5]	33.3	61.6
c	1:(<4~4)[<4]	1:(<4)[<4]	1:(<4)[<4]	86.7	
D	1:(128~256)[168,9]	1:(64~256)[111,4]	1:(32~128)[73,5]	26.7	66.7
d	1:(<4)[<4]	1:(<4)[<4]	1:(<4)[<4]	80.0	
E	1:(64~128)[97,0]	1:(32~128)[64,0]	1:(16~64)[32,0]	46.7	49.9
e	1:(<4)[<4]	1:(<4)[<4]	1:(<4)[<4]	93.3	

1)方括号中的数字为几何平均数(n=5);各组攻毒鱼尾数均为15尾 Figures in square brackets indicates geometric average value (n=5); 15 fish of each group were challenged with live *Aeromonas hydrophila*

最低、C组其次,分别为1:97.0、1:128.0。各免疫对照组的凝集抗体效价始终保持在1:( $<4$ )左右,仅有个别个体达到1:8;投喂用普通菜籽粕替代100%豆粕饲料的异育银鲫无论免疫组中还是免疫对照组中的死亡率都是最高的,其次是投喂用双低菜籽粕100%替代豆粕饲料的试验组。各个免疫组在免疫接种后都产生了较强的免疫保护率,其中以A组最高,达到81.9%,E组最低,仅为49.9%。

### 3 讨论

在本试验中,各个试验组饲料的蛋白和能量基本相等,脂肪、维生素和无机盐的添加量也相等,只是双低菜籽粕和普通菜籽粕的添加量不同。从试验结果可以看出随着菜籽粕添加量的增加和投喂时间的延长,异育银鲫的免疫应答能力逐渐降低,其原因可能是由于菜籽粕中含有各种抗营养因子,对鱼的甲状腺等器官造成一定的损伤,影响了一些生理机能,鱼对饲料的摄入减少,对各种营养素的消化吸收降低,导致营养素缺乏,从而间接降低了鱼的免疫应答能力。用普通菜籽粕比用双低菜籽粕等氮替代相同量的豆粕蛋白对异育银鲫免疫应答能力的影响更加明显,可能是由于普通菜籽粕中硫甙、芥子碱、单宁、植酸等抗营养因子的含量都较双低菜籽粕高的原因。

硫甙是菜籽粕中主要的抗营养因子,其酶解产物——噁唑烷硫酮、异硫氰酸盐、硫氰酸盐、氰化物都具有抗生物活性,对鱼类的组织器官特别是甲状腺、肝脏和肾脏造成伤害。HIGGS等<sup>[8]</sup>研究表明,在大鳞大麻哈鱼幼鱼饲料中添加双低菜籽粕达到29.8%时,造成鱼甲状腺肿大。DAVIES等<sup>[9]</sup>用不同水平的双低菜籽粕饲喂罗非鱼,结果发现当饲料中菜籽粕的含量达到40.0%时,罗非鱼甲状腺肿大。马利等<sup>[10]</sup>研究了不同菜籽粕水平对草鱼生长、血清生化指标和毒素残留的影响,结果发现:随着菜籽粕水平的升高,草鱼的饲料转化率、蛋白质效率均有所下降;肌肉和肝脏中硫代葡萄糖甙、噁唑烷硫酮和异硫氰酸盐的含量升高;对肝脏细胞有不同程度的损伤。鱼类的免疫系统并不独立于其它一些生理系统,已有研究表明处于应激状态下的鱼可以通过血浆中皮质醇激素(cortisol)的变化间接影响鱼类的免疫功能<sup>[11-12]</sup>。故当鱼类的甲状腺损伤时,影响了鱼类的内分泌系统和新陈代谢,可能引起鱼类免疫机能的变化,具体的机制还有待进一步的研究证

实。

营养状况是决定鱼类免疫机能的重要因素之一,营养素缺乏直接引起机体内免疫器官、免疫细胞等损伤、改变或分化,导致免疫缺陷;影响其它组织的营养、生长和代谢,间接引起免疫功能下降。

菜籽粕含有硫甙、芥子碱、单宁等,其味苦,当饲料中菜籽粕的添加量增加时,异味物质逐渐增多,适口性差,抑制了鱼类的食欲,鱼的摄食量减少,摄入的营养素含量也减少。LIM等<sup>[13]</sup>报道,斑点叉尾鲷饲料中菜籽粕的添加量过高时,由于其饲料的适口性差,鱼的摄食量显著下降。高贵琴等<sup>[14]</sup>研究发现,当双低菜籽粕的添加量达到66.89%时,异育银鲫和团头鲂的摄食率显著下降。当饲料中菜籽粕的添加量超过一定范围内时,鱼类对营养素的消化吸收急剧下降。THIESSEN等<sup>[15-16]</sup>报道当虹鳟饲料中菜籽粕的含量过高时,显著降低了饲料转化率、蛋白质和能量的利用效率。植酸是一种很强的螯合剂,能牢固地粘合锌、钙、镁、铁等多价金属离子和蛋白质分子,形成难溶性的植酸盐络合物,导致一些必需矿物质元素(尤其是锌和铁)的生物效能降低。另外,单宁也可以与多种金属离子发生沉积作用,从而降低它们的利用率。

### 参 考 文 献

- [1] 卿中全,于炎湖,齐德生,等. 双低菜籽(粕)的营养成分及抗营养因子的含量分析[J]. 饲料工业,2000,21(10):26-28.
- [2] 彭健,SLOMINSKI B A, GUENTER W,等. 中国双低菜籽粕抗营养因子研究[J]. 中国粮油学报,2001,16(5):6-10.
- [3] 郑宗林. 双低菜籽粕对叉尾鲷生长和鱼体组成的影响[J]. 饲料工业,2001,22(9):48-49.
- [4] BUREL C, BOUJARD T, TULLI F, et al. Digestibility of extruded peas, extruded lupin and rapeseed meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and turbot (*Psetta maxima*) [J]. Aquaculture, 2000, 188: 285-298.
- [5] BRETT G, WAYNE H, JOHN C. Nutritional assessment of Australian canola meals. II. Evaluation of the influence of the canola oil extraction method on the protein value of canola meals fed to the red sea bream (*Pagrus auratus* Paulin) [J]. Aquacult Res, 2004, 35(1): 25-34.
- [6] 陈超然,陈萱,陈昌福,等. 酵母 $\beta$ -葡聚糖对免异育银鲫免疫应答的增强作用[J]. 华中农业大学学报,2003,22(4):380-384.
- [7] 林清华. 免疫学实验[M]. 武汉:武汉大学出版社,1999:64-66.
- [8] HIGGS D A, FAGERLUND U H M, MCBRIDE J R, et al. Protein quality of Altex canola meal for juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) considering dietary protein

- and 3, 5, 3'-triiodo-L-thyronine content [J]. *Aquaculture*, 1983, 34: 213-238.
- [9] DAVIES S J, MCCONNELL S, BATESON R I. Potential of rapeseed meal as an alternative protein source in complete diets for Tilapia (*Oreochromis mossambicus*) [J]. *Aquaculture*, 1990, 87: 145-154.
- [10] 马利, 黄峰, 吴建开, 等. 不同菜粕水平对草鱼生长、血清生化指标和毒素残留的影响[J]. *水产学报*, 2005, 29(6): 798-803.
- [11] ANDERSON D P, ROBERSON B S, DIXON O W. Immunosuppression induced by a corticosteroid or an alkylating agent in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) administered a *Yersinia ruckeri* bacterin [J]. *Dev Comp Immunol*, 1982, 6: 197-204.
- [12] STAVE J W, ROBERSON B S. Hydrocortisone suppresses the chemiluminescent response of striped bass phagocytes [J]. *Dev Comp Immunol*, 1985, 9: 77-84.
- [13] LIM C, KLESIOUS P H, HIGGS D A. Substitution of canola meal for soybean meal in diets for channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. *J World Aquacult Soc*, 1998, 29(2): 161-168.
- [14] 高贵琴, 熊邦喜, 赵振山, 等. 不同水平双低菜粕替代蛋白对鱼类生长的影响[J]. *水利渔业*, 2004, 24(3): 55-57.
- [15] THIESSEN D L, CAMPBELL G L, TYLER R T. Utilization of thin distillers' solubles as a palatability enhancer in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets containing canola meal or air-classified pea protein [J]. *Aquacult Nutr*, 2003, 9(1): 1-10.
- [16] THIESSEN D L, CAMPBELL G L, ADELIZI P D. Digestibility and growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed pea and canola products [J]. *Aquacult Nutr*, 2003, 9(2): 67-75.

## Effects of Rapeseed Meal on the Ability of Immune Response of Gibel Carp (*Carassius auratus gibelio*)

ZHAO Fei<sup>1)</sup> WU Zhi-xin<sup>1)</sup> PANG Su-feng<sup>1)</sup> PENG Jian<sup>2)</sup> NIE Pin<sup>3)</sup> CHEN Xiao-xuan<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

<sup>2)</sup> College of Animal Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

<sup>3)</sup> Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

**Abstract** The experimental fishes were divided into ten groups according to different feedstuff and whether or not immunized. Groups of A, B, C, D, E were formulated as the immunized groups and groups of a, b, c, d, e as the non-immunized control groups. A (a) groups contained 0% DLRM (double-low rapeseed meal) and 0% CRM (common rapeseed meal). Soybean meal and fish meal were used as basic protein sources, which were formulated as the control groups. The test groups were formulated to isonitrogenously replace the 50% (B, b; D, d) and 100% (C, c; E, e) soybean meal protein in A (a) groups with DLRM or CRM, respectively. The possible effects of diets on phagocytic activity of the blood leucocytes and head kidney phagocytes, serum lysozyme activity, content of serum complement (C3, C4), serum agglutinating antibody titers, relative percent survival were evaluated. Results showed that from the 21th day after immunization, these immunity indexes in E(e) groups and C(c) groups were much lower than that in A(a) groups. In the 49th day, these partial immunity indexes in D(d) groups were also significantly lower than that in A(a) groups. During the experimental period, these immunity indexes in B(b) groups remained unchanged and no significant differences with that in A(a) groups were observed. These immunity indexes of gibel carp in the immunized groups were significantly higher than that in other non-immunized control groups fed by the same feedstuff.

**Key words** double-low rapeseed meal; common rapeseed meal; *Carassius auratus gibelio*; immune response

(责任编辑:边书京)