

菜籽粕替代豆粕对异育银鲫 非特异性免疫机能的影响

赵 飞^{1,2} 吴志新² 陈孝煊² 姜 兰¹

1. 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 广州 510380; 2. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070

摘要 试验鱼按投喂饲料的不同分为 5 组, 其中对照组(RM₀)以豆粕和鱼粉为基础蛋白源, 试验组分别以双低菜籽粕(DLRM)和普通菜籽粕(CRM)等氮替代对照组中 50% (DLRM₅₀, CRM₅₀) 和 100% (DLRM₁₀₀, CRM₁₀₀) 的豆粕蛋白。分别在投喂菜籽粕后的当天与第 14、28、42、56 天取样, 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)含量等免疫指标的变化。结果表明: 在投喂菜籽粕后 28 d 内, 各项免疫指标变化不明显($P>0.05$); 在第 42 天, DLRM₁₀₀组、CRM₁₀₀组的血液白细胞和头肾吞噬细胞的 PP、PI, CRM₁₀₀组的血清溶菌酶活性, DLRM₁₀₀组的 C4 含量, CRM₁₀₀组的 C3、C4 含量均显著低于对照组($P<0.05$); 在第 56 天, DLRM₁₀₀、CRM₁₀₀组的各项免疫指标都显著低于对照组; 在整个试验过程中, DLRM₅₀、CRM₅₀组的各项免疫指标和对照组都没有显著的差别。

关键词 菜籽粕; 豆粕; 非特异性免疫; 异育银鲫; 抗营养因子

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(2012)02-0237-06

随着水产养殖业的迅猛发展, 饲料的需求逐年增加, 水产饲料蛋白主要依赖于鱼粉和豆粕, 但是当前鱼粉资源短缺, 价格一直居高不下, 而且豆粕价格也持续上涨, 因此寻找价格低廉、来源丰富的蛋白源对水产养殖的可持续发展具有重要的意义。我国菜籽粕的年产量达 700 万 t, 其价格便宜, 蛋白质含量丰富, 氨基酸组成较平衡, 是一种极具潜力的植物蛋白源。但是菜籽粕含有硫甙、芥子碱等抗营养因子且粗纤维含量较高^[1], 影响动物的生长和健康, 限制了在水产饲料中的添加量。目前对菜籽粕在水产饲料中的研究主要集中在营养成分^[2], 对鱼类的生长性能与饲料效率^[3]、生理生化^[4-5]、组织病理^[6-7]的影响等。然而关于菜籽粕对鱼类非特异性免疫机能的研究, 国内外尚未见报道。

异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)具有生长快、个体大、抗逆性强等特点, 是我国的一种重要的经济鱼类。本文以异育银鲫为试验对象, 研究不同水平的双低菜籽粕(double-low rapeseed meal, DL-RM)、普通菜籽粕(common rapeseed meal, CRM)替代豆粕对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、血清补体的影响, 探讨菜籽粕的抗营养因子对异育银鲫非特异性免疫的影响, 为菜籽粕在水产饲料中的应用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验设计与试验饲料

试验设计 5 组等氮饲料, 对照组(RM₀)是不含菜籽粕的基础饲料, DLRM₅₀、DLRM₁₀₀组和 CRM₅₀、CRM₁₀₀组分别以双低菜籽粕(华双 3 号菜籽粕)和普通菜籽粕等氮替代对照组中 50% 和 100% 豆粕。将所有原料粉碎后过 0.38 mm 筛, 搅拌均匀, 经饲料机制成颗粒饲料(直径 2.0 mm), 烘干, 置于 4℃ 冰箱中备用。饲料配方见表 1。双低菜籽粕和普通菜籽粕中硫甙的含量分别为 32.28、117.63 μmol/g, 芥子碱为 1.17%、2.18%, 单宁为 0.55%、0.71%, 植酸为 2.62%、3.43%, 粗纤维为 11.75%、13.84%。

1.2 试验鱼及饲养管理

挑选健康活泼, 规格整齐, 平均体质量 120 g 的异育银鲫, 用 4% 的食盐水浸泡消毒后, 分养于水池

收稿日期: 2011-07-04

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAD37B02)、武汉市科技攻关计划项目(2002200513204)和淡水生态与生物技术国家重点实验室开放课题(2003FB01)

赵 飞, 硕士, 助理研究员. 研究方向: 水产动物免疫学及病害防治. E-mail: zhaofei368@163.com

通讯作者: 吴志新, 副教授. 研究方向: 鱼类营养与免疫学. E-mail: wuzhixin@mail.hzau.edu.cn

(1.5 m×1.5 m×1.0 m)中,30 尾/池,暂养 2 周,然后开始正式试验。每天在 08:30、16:00 定时投喂相应饲料,投饲率为 1.5%。试验期间水温 23~30 ℃,溶氧>5.0 mg/L,pH 值 6.5~7.2。

表 1 试验饲料配方及化学组成

Table 1 Formulation and chemical composition of the experimental diets

成分/% Ingredients	试验组 Test groups				
	RM ₀	DLRM ₅₀	DLRM ₁₀₀	CRM ₅₀	CRM ₁₀₀
原料 Material					
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
α-淀粉 α-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 血液样品及头肾吞噬细胞液的制备

分别在投喂菜籽粕后的当天与第 14、28、42、56 天取样。每组随机取 5 尾鱼,从尾静脉抽血。1 份血样制成抗凝血,用于检测白细胞吞噬活性;另 1 份血样置 4 ℃ 冰箱中静置 4 h,4 ℃ 条件下,4 000 r/min 离心 10 min,收集血清,-20 ℃ 保存备用。试验鱼采血后立即解剖,无菌条件下剥离出头肾,参照文献[8]的方法制备头肾吞噬细胞液。

1.4 血液白细胞和头肾吞噬细胞的吞噬活性的测定

试验用的金黄色葡萄球菌由笔者所在实验室保存,37 ℃ 液体培养 24 h 后,用 0.5% 的福尔马林灭活,调整浓度为 1.0×10^8 cells/mL,作为吞噬原。

分别取每尾鱼的抗凝血和头肾吞噬细胞液 0.2 mL,加入 0.1 mL 吞噬原,28 ℃ 孵育 1 h,涂片,甲醇固定 10 min,Giemsa 染色 1 h,迅速用蒸馏水冲洗后晾干,镜检。吞噬活性以吞噬百分比(phagocytic percentage,PP)和吞噬指数(phagocytic index,PI)表示,分别按以下公式计算:

吞噬百分比=100 个吞噬细胞中参与吞噬的细胞数/100×100%,吞噬指数=细胞内总菌数/吞噬细菌的细胞数。

1.5 血清溶菌酶活性与补体(C3、C4)含量的测定

溶菌酶活性参照文献[9]的方法测定,以溶壁微球菌(*Micrococcus lysodeikticus*,Sigma 产品)冻干粉为底物。补体测定试剂盒购自上海明华体外诊断试剂有限公司,按照说明书进行测定。

1.6 数据处理

试验结果用平均值±标准差表示,采用 STATISTICA 6.0 软件进行单因素方差分析及 Duncan's 多重比较,差异显著水平为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 菜籽粕替代豆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

由表 2、表 3 可知,投喂菜籽粕后,异育银鲫血液白细胞和头肾吞噬细胞吞噬活性均有不同程度的降低。在试验的前 28 d,除了 CRM₁₀₀ 组的血液白细胞的 PP 显著低于对照组($P<0.05$)外,其他各组吞噬活性的变化均不明显。但是从第 42 天开始,CRM₁₀₀ 组、DLRM₁₀₀ 组的 PP、PI 都较对照组显著降低。从第 28 天开始,CRM₁₀₀ 组的 PP、PI 都比 DLRM₁₀₀ 组稍低,但两组之间无显著差异;CRM₁₀₀ 组和 DLRM₁₀₀ 组的 PP、PI 均略低于 CRM₅₀ 组。在整个试验期间,DLRM₁₀₀ 组和 CRM₅₀ 组相比都无显著差异,而在第 56 天时,CRM₁₀₀ 组的 PP、PI 均显著低于 CRM₅₀ 组。

2.2 菜籽粕替代豆粕对异育银鲫血清溶菌酶活性的影响

结果如图 1 所示,投喂菜籽粕后,DLRM₁₀₀ 组、CRM₅₀ 组、CRM₁₀₀ 组的溶菌酶活性都逐渐降低,至第 56 天时 CRM₁₀₀ 组降低到 59.6 U/mL,降幅最大,其次是 DLRM₁₀₀ 组(62.6 U/mL)和 CRM₅₀ 组(70.8 U/mL)。在试验的前 28 d,各组之间均没有出现显著变化。在第 42 天,CRM₁₀₀ 组的溶菌酶活性(64.2 U/mL)比对照组(80.8 U/mL)显著降低。

表 2 异育银鲫血液白细胞的吞噬活性¹⁾

Table 2 Phagocytic activity of the blood leucocytes of gibel carp

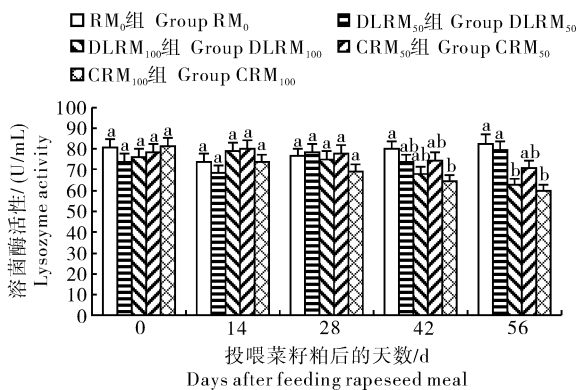
项目 Items	组别 Groups	投喂菜籽粕后不同时间的吞噬活性 Days after feeding rapeseed meal and phagocytic activity				
		0 d	14 d	28 d	42 d	56 d
PP/%	RM ₀	40.28±3.14	38.71±3.25	41.04±3.20 a	42.17±2.23 a	42.43±3.08 a
	DLRM ₅₀	37.58±3.15	40.05±2.77	38.30±2.58 ab	39.48±1.66 ab	40.63±3.15 a
	DLRM ₁₀₀	40.81±2.58	36.82±2.23	38.79±2.05 ab	35.93±1.87 bc	34.86±3.06 bc
	CRM ₅₀	41.52±3.54	38.07±3.29	40.23±2.62 ab	38.59±3.19 abc	37.33±2.63 ab
	CRM ₁₀₀	38.97±2.75	40.31±3.06	35.86±2.54 b	34.28±3.50 c	31.41±2.40 c
PI	RM ₀	4.06±0.33	3.86±0.29	3.93±0.55	4.13±0.38 a	4.03±0.44 a
	DLRM ₅₀	3.69±0.29	3.75±0.57	4.05±0.64	3.79±0.22 abc	3.71±0.27 a
	DLRM ₁₀₀	3.86±0.33	3.97±0.45	3.55±0.48	3.37±0.33 bc	3.05±0.35 bc
	CRM ₅₀	3.95±0.34	3.73±0.24	4.01±0.35	3.67±0.30 abc	3.53±0.41 ab
	CRM ₁₀₀	3.88±0.37	3.98±0.45	3.45±0.36	3.25±0.35 c	2.81±0.26 c

1)表中同列数据不同字母表示差异显著(P<0.05),下同。Values with different letters within the same column indicate 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

项目 Items	组别 Groups	投喂菜籽粕后不同时间的吞噬活性 Days after feeding rapeseed meal and phagocytic activity				
		0 d	14 d	28 d	42 d	56 d
PP/%	RM ₀	34.23±2.18	36.24±2.44	37.21±2.15	35.35±3.23 a	36.33±3.21 a
	DLRM ₅₀	37.06±2.95	35.42±3.19	36.37±2.89	33.38±1.85 ab	34.97±3.06 a
	DLRM ₁₀₀	34.93±3.03	35.71±1.77	32.89±3.32	29.20±3.26 bc	28.17±3.39 bc
	CRM ₅₀	37.13±3.18	35.69±3.06	33.98±2.79	31.13±3.25 abc	32.83±3.04 ab
	CRM ₁₀₀	36.08±2.98	34.23±3.09	31.96±2.63	27.49±2.03 c	26.17±3.15 c
PI	RM ₀	3.47±0.28	3.79±0.46	3.55±0.41	3.66±0.31 a	3.73±0.42 a
	DLRM ₅₀	3.61±0.37	3.42±0.35	3.49±0.27	3.57±0.26 ab	3.50±0.26 a
	DLRM ₁₀₀	3.53±0.26	3.47±0.46	3.35±0.31	3.05±0.38 bc	2.83±0.20 bc
	CRM ₅₀	3.42±0.32	3.64±0.29	3.44±0.23	3.25±0.24 abc	3.18±0.31 ab
	CRM ₁₀₀	3.51±0.27	3.36±0.29	3.16±0.39	2.85±0.21 c	2.55±0.27 c



图中字母不同表示差异显著(P<0.05)。The different letters mean significantly difference (P<0.05).

图 1 菜籽粕对异育银鲫血清溶菌酶活性的影响
Fig. 1 Effects of rapeseed meal on lysozyme activity in serum of gibel carp

在第 56 天,CRM₁₀₀ 组和 DLRM₁₀₀ 组都较对照组显著降低。

在整个试验过程中,DLRM₅₀ 组、CRM₅₀ 组基本保持稳定,和对照组相比无显著差异。CRM₅₀ 组的溶菌酶活性比 DLRM₁₀₀ 组、CRM₁₀₀ 组略高,但是此 3 组之间无显著差异。

2.3 菜籽粕替代豆粕对异育银鲫血清补体 (C3、C4)含量的影响

结果如表 4 所示,投喂菜籽粕后,CRM₁₀₀ 组、DLRM₅₀ 组与 CRM₅₀ 组的 C3、C4 含量的变化规律相似,都逐渐减低,至第 56 天时,CRM₁₀₀ 组的 C3、C4 含量分别降低到 0.158、0.103 g/L,降幅最大,其次是 DLRM₁₀₀ 组(0.175、0.115 g/L)、CRM₅₀ 组(0.202、0.129 g/L)。在试验的前 28 d,各组 C3、C4

含量变化较小,与对照组没有显著的差异。在第 42 天,DLRM₁₀₀组的 C4 含量,CRM₁₀₀组的 C3、C4 含量均显著低于对照组。在第 56 天,DLRM₁₀₀组和 CRM₁₀₀组的 C3、C4 含量都显著低于对照组。在整

个试验过程中,DLRM₅₀组、CRM₅₀组的 C3、C4 的含量基本稳定,和对照组间没有显著的变化;CRM₅₀组的 C3、C4 含量虽比 DLRM₁₀₀组、CRM₁₀₀组略高,但是它们之间并没有出现显著差异。

表 4 异育银鲫血清补体(C3、C4)含量

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

项目 Items	组别 Groups	投喂菜籽粕后不同时间的 C3、C4 的含量/(g/L)				
		Days after feeding rapeseed meal and concentrations of serum complement (C3, C4)				
		0 d	14 d	28 d	42 d	56 d
C3	RM ₀	0.243±0.018	0.216±0.029	0.263±0.034	0.234±0.030 a	0.222±0.016 ab
	DLRM ₅₀	0.251±0.031	0.241±0.027	0.197±0.027	0.209±0.027 ab	0.248±0.039 a
	DLRM ₁₀₀	0.231±0.025	0.208±0.033	0.231±0.031	0.205±0.032 ab	0.175±0.028 bc
	CRM ₅₀	0.234±0.024	0.245±0.040	0.217±0.031	0.221±0.026 ab	0.202±0.036 abc
	CRM ₁₀₀	0.238±0.029	0.257±0.034	0.212±0.034	0.178±0.020 b	0.158±0.021 c
C4	RM ₀	0.165±0.026	0.158±0.020	0.143±0.017	0.168±0.021 a	0.155±0.018 a
	DLRM ₅₀	0.137±0.014	0.163±0.022	0.153±0.023	0.138±0.017 ab	0.164±0.022 a
	DLRM ₁₀₀	0.173±0.028	0.136±0.013	0.155±0.025	0.129±0.018 b	0.115±0.015 b
	CRM ₅₀	0.143±0.021	0.166±0.025	0.133±0.013	0.157±0.016 ab	0.129±0.028 ab
	CRM ₁₀₀	0.155±0.017	0.167±0.023	0.138±0.019	0.124±0.016 b	0.103±0.023 b

3 讨论

替代蛋白源的研究是水产动物饲料研究的热点,主要集中在生长、饲料转化率、体组成等方面,而关于替代蛋白源与鱼类免疫的关系则研究较少。鱼类的非特异性免疫是抵御病原感染的第一道防线,而鱼类的营养状况是决定非特异性免疫能力的重要因素。因此,本文目的是研究菜籽粕替代豆粕对异育银鲫非特异性免疫的影响。本试验设计 5 组等氮饲料,用不同水平的双低菜籽粕、普通菜籽粕替代豆粕,结果发现:在投喂菜籽粕后第 42 天,DLRM₁₀₀组、CRM₁₀₀组的血液白细胞和头肾吞噬细胞的吞噬活性,DLRM₁₀₀组的 C4 含量,CRM₁₀₀组的血清溶菌酶活性、C3、C4 含量均显著低于对照组;在第 56 天,DLRM₁₀₀、CRM₁₀₀组的所有免疫指标都显著低于对照组。分析各组饲料的配方及营养组成,除了菜籽粕的种类和添加水平不同外,其粗蛋白、粗脂肪等基本相等,所以菜籽粕中的抗营养因子可能是造成免疫指标变化的主要原因。双低菜籽粕的硫甙、芥子碱的含量都大幅度降低,其饲料品质优于普通菜籽粕,而在本研究中也发现,在投喂菜籽粕 42 d 后,CRM₁₀₀组的各项免疫指标几乎都较 CRM₁₀₀组略低,这就说明普通菜籽粕对鱼类的影响较双低菜籽

粕更大。在整个试验过程中,DLRM₅₀、CRM₅₀组的各项免疫指标和对照组都没有显著的差别,表明当饲料中双低菜籽粕或普通菜籽粕的添加量为 33.43%或 34.97%时,并不会对异育银鲫的非特异性免疫产生显著的不利影响,这为菜籽粕在饲料中的添加提供参考。

限制菜籽粕在饲料中应用的最主要抗营养因子是硫甙,其在正常条件下比较稳定也无毒性,但是在芥子酶的作用下生成噁唑烷硫酮、异硫氰酸盐、硫氰酸盐等有毒物质,特别是噁唑烷硫酮能够阻碍甲状腺素的合成,引起腺垂体促甲状腺素的分泌增加,从而导致甲状腺肿大。异硫氰酸盐、硫氰酸盐具有强烈的刺激性和穿透性,易对动物的消化道黏膜产生刺激和损伤。当饲料中双低菜籽粕的含量达到 30%时,虹鳟甲状腺激素(T3、T4)的合成受到抑制,血液中 T3、T4 含量分别降低 40%和 80%,并且导致甲状腺滤泡上皮细胞增生^[7]。

研究表明鱼类的神经内分泌系统与免疫系统可以相互影响。在内分泌激素中,甲状腺激素是由甲状腺合成和分泌的,能够调控鱼类的非特异性免疫功能^[10],对于维持免疫系统功能必不可少^[11]。在本研究中双低菜籽粕和普通菜籽粕中都含有一定量的硫甙,经过长时间的投喂,可造成鱼的甲状腺病

变,影响甲状腺激素的分泌与合成,从而降低鱼的非特异性免疫功能。

研究表明当双低菜籽粕的添加量达到 17.2% 时,鲈的溶菌酶活性降低,并推测与菜籽粕中的抗营养因子有关^[12],在本试验中当菜籽粕的替代量超过 50% 时,溶菌酶活性与其他免疫参数都显著降低。除硫甙外,菜籽粕中还含有芥子碱、植酸、单宁等抗营养因子。芥子碱具有强烈的苦辛味,是菜籽粕味苦的主要原因之一,且芥子碱及其衍生物容易与蛋白结合,降低了蛋白的利用率。植酸具有较强的金属螯合能力,能与钙、镁、锌等金属离子结合,生成植酸盐络合物,从而降低这些矿物质元素的生物学有效性。单宁有苦涩味;能够被氧化并产生聚合作用从而使菜籽粕颜色变黑,产生不良气味;能与蛋白质结合生成不易溶解的复合物,使其营养价值显著降低;能与锌、铁等多种金属离子发生沉淀作用,降低它们的利用率。菜籽粕中粗纤维的含量也较高,而鱼类缺乏相应的酶类,这也会导致对菜籽粕的消化吸收降低。所以在水产饲料研究中,菜籽粕的含量过高时,适口性差,影响水产动物的摄食量^[4,13],致使对营养素的摄入量减少且不能很好地消化吸收^[14-15],从而可能导致营养素缺乏。营养素在维持鱼类免疫系统的功能并使其免疫活性得到表达的过程中起到决定性的作用,而营养素缺乏可严重降低鱼类的非特异性免疫功能^[16-17]。

参 考 文 献

- [1] 徐建雄,叶陈梁,王晶. 双低菜籽粕中营养成分与有毒有害物质的分析[J]. 粮食与饲料工业,2005(11):28-29.
- [2] GLENCROSS B, HAWKINS W, CURNOW J. 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 seabream (*Pagrus auratus*, Paulin) [J]. Aquacult Res, 2004, 35(1): 25-34.
- [3] 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.
- [4] SHAFAEIPOUR A, YAVARI V. Effects of canola meal on physiological and biochemical parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquacult Nutr, 2008, 14: 110-119.
- [5] 刘文斌,王爱民,王恬. 菜籽粕中芥子酸和硫甙对异育银鲫生长和生理机能的影响[J]. 南京农业大学学报, 2004, 27(1): 78-80.
- [6] BUREL C, BOUJARD T, KAUSHIK S J, et al. Potential of plant-protein sources as fish meal substitutes in diets for turbot (*Psetta maxima*): growth, nutrient utilisation and thyroid status [J]. Aquaculture, 2000, 188: 363-382.
- [7] BUREL C, BOUJARD T, KAUSHIK S J, et al. Effects of rapeseed meal-glucosinolates on thyroid metabolism and feed utilization in rainbow trout [J]. Gen Comp Endocrinol, 2001, 124(3): 343-358.
- [8] 赵飞. 菜籽粕对异育银鲫免疫机能的影响[D]. 武汉: 华中农业大学水产学院, 2005.
- [9] 林清华. 免疫学实验[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 1999: 64-66.
- [10] 华雪铭, 闫大伟, 周洪琪. 壳聚糖通过甲状腺激素对草鱼免疫功能的调节[J]. 中国水产科学, 2008, 15(4): 630-636.
- [11] LAM S H, SIN Y M, GONG Z, et al. Effect of thyroid hormone on the development of immune system in zebrafish [J]. General Compar Endocrinol, 2005, 142: 325-335.
- [12] CHENG Z, AI Q, MAI K, et al. Effects of dietary canola meal on growth performance, digestion and metabolism of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* [J]. Aquaculture, 2010, 305: 102-108.
- [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] ERDOGAN F, OLMEZ M. Digestibility and utilization of canola meal in angel fish (*P. scalare* Lichtenstein 1823) feeds [J]. J Anim Vet Adv, 2010, 9(4): 831-836.
- [15] 马利, 黄峰, 吴建开, 等. 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[J]. 水产学报, 2005, 29(6): 798-803.
- [16] LIANG M, WANG J, CHANG Q, et al. Effects of different levels of fish protein hydrolysate in the diet on the nonspecific immunity of Japanese sea bass, *Lateolabrax japonicus* (Cuvieret Valenciennes, 1828) [J]. Aquacult Res, 2006, 37(1): 102-106.
- [17] 唐琴, 廖全中, 曾洁, 等. 饲料磷含量对黄颡鱼幼鱼生长、生化组成及血清生化指标的影响[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(4): 506-510.

Effects of soybean meal replacement by rapeseed meal on the non-specific immune function of gibel carp, *Carassius auratus gibelio*

ZHAO Fei^{1,2} WU Zhi-xin² CHEN Xiao-xuan² JIANG Lan¹

1. Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510380, China;

2. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430072, China

Abstract Five experimental diets for gibel carp, *Carassius auratus gibelio*, were formulated to contain various percentages of common rapeseed meal (CRM) or double low rapeseed meal (DLRM) as a partial replacement for soybean meal. RM₀ (with 0% CRM and DLRM) was formulated as the control group. DLRM₅₀ (CRM₅₀), DLRM₁₀₀ (CRM₁₀₀) were formulated to isonitrogenously replace 50% and 100% of soybean meal protein in RM₀ with DLRM (CRM), respectively. The non-specific immune parameters including phagocytic activity (PP, PI) of blood leucocytes and head kidney phagocytes, serum lysozyme activity, serum complement concentrations of C3 and C4 were evaluated at every 14-day intervals. During the initial 28-day period, only PP of blood leucocytes in CRM₁₀₀ group was significantly lower than that in RM₀ treatment ($P < 0.05$). From the 42th day on, both PP and PI of blood leucocytes and head kidney phagocytes in DLRM₁₀₀ and CRM₁₀₀ treatments were all significantly lower than those in RM₀ treatment ($P < 0.05$). On the 56th day, serum lysozyme activity in CRM₁₀₀ and DLRM₁₀₀ groups was significantly lower than that in RM₀ group ($P < 0.05$). From the 42th day, serum complement concentrations of C3 or C4 in DLRM₁₀₀ and CRM₁₀₀ treatments were significantly lower than those in RM₀ group ($P < 0.05$). The immune parameters in DLRM₅₀ and CRM₅₀ treatments were not significantly changed compared with those in RM₀ group ($P > 0.05$). However those in CRM₅₀ group gradually reduced with time. We concluded that the effects on non-specific immune function might cause by antinutritional factors such as glucosinolates, sinapin, phytic, tannin, crude fibre in the rapeseed meal.

Key words rapeseed meal; soybean meal; non-specific immune; *Carassius auratus gibelio*; antinutritional factors

(责任编辑:边书京)