

文章编号: 1674-5566(2018)01-0037-11

DOI:10.12024/jsou.20170602076

大口黑鲈饲料中 2 种植物性蛋白质混合物替代鱼粉的研究

王孟乐¹, 陈乃松^{1,2,3}, 李松林^{1,2,3}, 连雪原¹, 闫春为¹

(1. 上海海洋大学,农业部鱼类营养与环境生态研究中心,上海 201306; 2. 上海海洋大学,水产科学国家级实验教学示范中心,上海 201306; 3. 上海水产养殖工程技术研究中心,上海 201306)

摘要: 为了探讨在大口黑鲈饲料中去皮豆粕分别与玉米蛋白和大米蛋白组成的 2 种植物性蛋白质混合物替代鱼粉的可行性,分别于含 45% 和 30% 鱼粉的配方中配比上述 2 种植物性蛋白质混合物,配制成 4 种等氮等能的饲料。用上述饲料饲养初始体质量为(58.69 ± 0.07)g 的大口黑鲈 53 d。结果显示:30% 鱼粉组的终末体质量和特定生长率显著高于 45% 鱼粉组 ($P < 0.05$),而饲料效率、蛋白质效率、蛋白质消化率和氨基酸消化率之间无显著性差异 ($P > 0.05$)。玉米蛋白组的饲料效率和蛋白质效率显著高于大米蛋白组 ($P < 0.05$),而摄食量显著低于大米蛋白组 ($P < 0.05$)。全鱼和肌肉的粗蛋白质、粗脂肪、水分和灰分各组间差异不显著 ($P > 0.05$)。30% 鱼粉组的血清溶菌酶活性和血清蛋白含量显著高于 45% 鱼粉组 ($P < 0.05$),而玉米蛋白组和大米蛋白组对血清溶菌酶活性和血清蛋白含量的影响差异不显著 ($P > 0.05$)。红细胞数和红细胞压积各组间差异不显著 ($P > 0.05$)。本研究表明,去皮豆粕分别与玉米蛋白和大米蛋白组成的植物性蛋白质混合物可以使大口黑鲈饲料中的鱼粉含量由 45% 降至 30%;去皮豆粕与玉米蛋白组成的植物性蛋白质混合物的替代效果优于去皮豆粕与大米蛋白组成的植物性蛋白质混合物。

关键词: 大口黑鲈; 去皮豆粕; 玉米蛋白; 大米蛋白; 生长性能; 非特异性免疫指标

中图分类号: S 963.1

文献标志码: A

随着全球海洋鱼类资源的匮乏和鱼粉需求量的增大,利用植物性蛋白质原料替代水产饲料中的鱼粉已成为国内外学者研究的热点。豆粕^[1]、玉米蛋白^[2]和大米蛋白^[3]是水产饲料中较常用的鱼粉替代物。研究发现,豆粕可以替代大西洋鲑 (*Salmo salar*) 饲料中 33% 的鱼粉蛋白质^[4];玉米蛋白粉可以替代牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 饲料中 40% 的鱼粉^[5];发酵大米蛋白可以替代鲫鱼 (*Carassius auratus*) 饲料中 6% 的鱼粉^[6]。但单一植物蛋白常因含有过多的抗营养因子和氨基酸不平衡等问题,限制了其在水产饲料中的使用量,而混合植物蛋白能够改善单一植物蛋白源的上述不足^[7-8],并能够替代饲料中较高水平的鱼粉^[9-10]。

大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 由于其具有肉质鲜美、生长快和病害少等优点,已成为我国主

要的淡水养殖品种之一。迄今为止,关于大口黑鲈的营养与饲料学研究主要集中在蛋白质和脂肪需求量^[11-12]、脂肪蛋白比^[13]、氨基酸需求量^[14-15]和碳水化合物的利用^[16]等方面,而用复合植物蛋白质替代鱼粉的研究尚少见报道。本研究分别于含 45% 和 30% 鱼粉的配方中配比去皮豆粕分别与玉米蛋白和大米蛋白组成的 2 种植物性蛋白质混合物,配制 4 种等氮等能的饲料。通过生长实验评估不同饲料对大口黑鲈的生长、体组成、非特异性免疫和血液学指标的影响,以评定上述 2 种植物性蛋白质混合物替代鱼粉的可行性,同时对去皮豆粕与玉米蛋白组成的植物性蛋白质混合物和去皮豆粕与大米蛋白组成的植物性蛋白质混合物的替代效果进行比较,从而为高效和经济的大口黑鲈配合饲料的配制提供参考。

收稿日期: 2017-05-17 修回日期: 2017-10-05

基金项目: 农业部现代农业产业技术体系专项 (CARS-46); 上海市科委项目 (10320503100)

作者简介: 王孟乐 (1990—) 男, 硕士研究生, 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: 921951471@qq.com

通信作者: 陈乃松, E-mail: nschen@shou.edu.cn

1 材料与amp;方法

1.1 实验饲料

分别于含 45% 和 30% 鱼粉的配方中配比去皮豆粕分别与玉米蛋白和大米蛋白组成的 2 种植物性蛋白质混合物, 配制 4 种等氮等能的饲料, 其概略组成和氨基酸含量分别见表 1 和表 2。

鱼油用于调整因鱼粉的减少而引起的鱼油含量的变化。大豆油用于调节饲料中粗脂肪的含量, 使各饲料中粗脂肪的含量保持一致。晶体氨基酸的添加使得各饲料中必需氨基酸的含量保持一致。牛磺酸用于调整因鱼粉的减少而引起的牛磺酸含量的变化。

表 1 饲料配方及概略组分分析 (% 干饲料)

Tab. 1 Formulation and proximate analysis of diets (% dry diet)

原料 Ingredients	饲料 Diets			
	F45S8C8	F45S8R8	F30S17C17	F30S17R16
固定成分 constant ingredient	17.00	17.00	17.00	17.00
国产鱼粉 ^a domestic fish meal	45.00	45.00	30.00	30.00
去皮豆粕 dehulled soybean meal	8.00	8.00	17.00	17.00
玉米蛋白 corn gluten meal	8.00	0.00	17.00	0.00
大米蛋白 rice protein meal	0.00	8.00	0.00	16.00
α-淀粉 α-starch	7.50	8.00	3.00	4.00
鱼油 fish oil	0.00	0.00	1.50	1.50
大豆油 soybean oil	4.30	4.00	4.00	3.50
磷酸二氢钙 calcium biphosphate	1.00	1.00	1.70	1.70
晶体赖氨酸 crystalline lysine	0.00	0.00	0.50	0.50
晶体蛋氨酸 crystalline methionine	0.05	0.03	0.20	0.15
沸石粉 zeolite powder	9.15	8.97	8.00	8.55
牛磺酸 taurine	0.00	0.00	0.10	0.10
总计 total	100.00	100.00	100.00	100.00
概略组分分析 proximate analysis				
粗蛋白质/% crude protein	49.39	50.56	50.10	50.43
粗脂肪/% crude lipid	12.00	12.00	12.05	12.02
总能/(MJ/kg) gross energy	18.09	18.21	18.87	18.61

注:^a饲料 F45S8C8 含: 鱼粉 45%, 去皮豆粕 8%, 玉米蛋白 8%; F45S8R8 含: 鱼粉 45%, 去皮豆粕 8%, 大米蛋白 8%; F30S17C17 含: 鱼粉 30%, 去皮豆粕 17%, 玉米蛋白 17%; F30S17R16 含: 鱼粉 30%, 去皮豆粕 17%, 大米蛋白 16%

^b固定成分(% 干饲料): 虾粉, 3.00; 谷朊粉, 3.00; 血粉, 4.00; 鱿鱼内脏粉, 1.50; 大豆磷脂油, 2.50; 酵母提取物, 0.50; 多维^{*}, 1.00; 多矿^{**}, 1.00; 三氧化二铬, 0.50

^{*}多维(IU 或 mg/kg 干饲料): 维生素 A, 16 000 IU; 维生素 D₃, 8 000 IU; 维生素 K₃, 14.72; 维生素 B₁, 17.80; 维生素 B₂, 48.00; 维生素 B₆, 29.52; 维生素 B₁₂, 0.24; 维生素 E, 160.00; 维生素 C(35%), 800.00; 烟酰胺, 79.20; 泛酸钙, 73.60; 叶酸, 6.40; 生物素, 0.64; 肌醇, 320.00; 氯化胆碱, 1 500.00; L-肉碱, 100.00

^{**}多矿(mg/kg 干饲料): 铜(CuSO₄), 2.0; 锌(ZnSO₄), 34.4; 锰(MnSO₄), 6.2; 铁(FeSO₄), 21.1; 碘(Ca(IO₃)₂), 1.63; 硒(Na₂SeO₃), 0.18; 钴(CoCl₂), 0.24; 镁(MgSO₄·H₂O), 52.7

Notes: ^a Diet F45S8C8 containing: 45% fish meal, 8% dehulled soybean meal, 8% corn gluten meal; Diet F45S8R8 containing: 45% fish meal, 8% dehulled soybean meal, 8% rice protein meal; Diet F30S17C17 containing: 30% fish meal, 17% dehulled soybean meal, 17% corn gluten meal; Diet F30S17R16 containing: 30% fish meal, 17% dehulled soybean meal, 16% rice protein meal

^b Constant ingredient (% dry diet): shrimp meal, 3.00; wheat gluten meal, 3.00; spray-dried blood cell meal, 4.00; squid viscera meal, 1.50; soybean phospholipid, 2.50; brewer's yeast extract, 0.50; vitamin premix^{*}, 1.00; mineral premix^{**}, 1.00; chromic oxide, 0.50

^{*} Vitamin premix (IU or mg/kg dry diet): vitamin A, 16 000 IU; vitamin D₃, 8 000 IU; vitamin K₃, 14.72; thiamin, 17.80; riboflavin, 48.00; pyridoxine, 29.52; cyanocobalamin, 0.24; tocopherol acetate, 160.00; ascorbic acid (35%), 800.00; niacinamide, 79.20; calcium-D-pantothenate, 73.6; folic acid, 6.40; biotin, 0.64; inositol, 320.00; choline chloride, 1 500.00; L-carnitine, 100.00

^{**} Mineral premix (mg/kg dry diet): Cu (CuSO₄), 2.0; Zn (ZnSO₄), 34.4; Mn (MnSO₄), 6.2; Fe (FeSO₄), 21.1; I (Ca(IO₃)₂), 1.63; Se (Na₂SeO₃), 0.18; Co (CoCl₂), 0.24; Mg (MgSO₄·H₂O), 52.7

表 2 饲料中氨基酸组成分析 (%干饲料)
Tab.2 Analyzed amino acid composition of diets (% dry diet)

氨基酸 Amino acid *	饲料 Diets			
	F45S8C8	F45S8R8	F30S17C17	F30S17R16
必需氨基酸 essential amino acid (EAA)				
苏氨酸 Thr	1.97	1.95	1.82	1.83
缬氨酸 Val	1.95	1.91	1.87	1.82
蛋氨酸 Met	1.36	1.35	1.35	1.36
异亮氨酸 Ile	1.51	1.43	1.40	1.34
亮氨酸 Leu	4.07	3.79	4.55	3.75
苯丙氨酸 Phe	2.29	2.24	2.43	2.44
组氨酸 His	2.02	2.17	1.97	2.13
赖氨酸 Lys	2.99	3.12	2.98	3.07
精氨酸 Arg	2.63	2.82	2.44	2.93
必需氨基酸总量 total EAA	20.79	20.78	20.81	20.67
非必需氨基酸 none essential amino acid (NEAA)				
脯氨酸 Pro	2.21	2.05	2.53	2.13
天冬氨酸 Asp	4.59	4.76	4.39	4.76
谷氨酸 Glu	7.27	7.15	7.88	7.63
丝氨酸 Ser	2.20	2.22	2.32	2.38
甘氨酸 Gly	2.33	2.42	2.10	2.32
丙氨酸 Ala	2.94	2.87	3.03	2.76
胱氨酸 Cys	0.50	0.51	0.55	0.54
酪氨酸 Tyr	1.63	1.64	1.71	1.73
非必需氨基酸总量 total NEAA	23.67	23.62	24.51	24.25

注: * 本研究中色氨酸未检测

Notes: * Tryptophane was not determined in this study

实验饲料的制作:实验原料经粉碎后过 80 目筛,各组分混合均匀后,加适量水,再次混合均匀。用制粒机制成直径 3 mm,长 5~6 mm 的颗粒,110 °C 熟化 15 min 后再 50 °C 烘干,于 -20 °C 冰箱中保存待用。

1.2 养殖实验的设计与饲养管理

实验鱼事先经室内循环水养殖系统(位于上海农好饲料有限公司)进行为期 2 个月的驯化。期间投喂上海农好饲料有限公司生产的商品大口黑鲈幼鱼饲料(粗蛋白质含量为 48%,粗脂肪含量为 11%)。驯化后的实验鱼,经 24 h 的饥饿处理,挑选体格健壮、体质量相近的个体进行分组与称重后,按 4 种饲料处理,每饲料设置 3 个重复,随机分配到 800 L 的水槽中,每水槽放养初始体质量为(58.69 ± 0.07)g 的实验鱼 25 尾。每天表观饱食投喂 2 次(8:00 和 16:00)。养殖系统循环水经海绵和珊瑚砂过滤,再经微生物净化 and 紫外线灭菌处理;水温被控制于(27 ± 1) °C, pH 为(7.2 ± 0.2),氨氮小于(0.15 ± 0.05) mg/L,不间断充气增氧;采用自然光照。养殖实验持续 53 d。

1.3 样本采集与分析

1.3.1 样品采集

养殖实验开始时随机抽取 15 尾鱼于 -80 °C 保存,用于初始样本的体组成分析。实验进行 2 周后参照 LEE^[17] 的方法收集粪便。养殖实验结束时,实验鱼禁食 24 h,统计每水槽的鱼尾数和总质量。每水槽随机抽取 12 尾实验鱼,测量体长和体质量,其中 5 尾置于 -80 °C 保存,用于全鱼体组成的分析,其余 7 尾进行解剖,分离内脏和肝脏并称量,取侧线上方背部肌肉于 -80 °C 下保存,用于肌肉组成的分析。每水槽随机取 10 尾实验鱼尾静脉抽血 1 mL。其中 5 尾鱼的血液加入肝素钠抗凝,用于血液学指标测定;另 5 尾的血液于 4 °C 下静置 4 h 后,离心(836 × g, 10 min, 4 °C),取血清用于免疫指标测定。

1.3.2 饲料、粪便及鱼体组成的分析

饲料、全鱼、肌肉和粪便的分析方法如下:粗蛋白质用凯氏定氮仪(Kjeltec 2300, FOSS, 丹麦)测定;水分采用 105 °C 恒温烘干失重法测定;粗灰分采用马弗炉(上海实验仪器公司, SX2-4-10)于 550 °C 下灼烧法测定;饲料粗脂肪的测定采用

索氏脂肪测定仪(SOX416, Gerhard, 德国)测定, 全鱼和肌肉的粗脂肪采用氯仿-甲醇法测定^[18]; 饲料总能量用氧弹量热仪(6200, Parr, 美国)测定; 饲料和粪便中的 Cr_2O_3 采用 DIVAKARAN 等^[19]的方法测定; 饲料中的氨基酸用氨基酸自动分析仪(S-433D, Sykam, 德国)分析^[20]。

1.3.3 非特异性免疫指标分析

采用比浊法测定血清溶菌酶活力^[21]。采用双缩脲法测定血清蛋白质含量^[22]。血清补体活性测定采用经典途径的补体分析方法^[23]。

1.3.4 血液学指标分析

血红蛋白含量采用氰化高铁分光光度法测定^[24]。红细胞比容采用 Wintrobe 法(2 264 × g 离心)测定^[25]。以 Natt and Herrick 计数液^[26]将血液稀释 200 倍后, 用血球计数板计数红细胞。

1.4 计算公式

$$S_R = 100 \times N_t / N_0 \quad (1)$$

式中: S_R 为存活率(%); N_t 为终末尾数; N_0 为初始尾数。

$$S_{GR} = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / D \quad (2)$$

式中: S_{GR} 为特定生长率(%/d); W_t 为终末体质量(g); W_0 为初始体质量(g); D 为饲养天数。

$$F_t = F_d / [(N_t + N_0) / 2] \quad (3)$$

式中: F_t 为每尾鱼摄食量(g); F_d 为饲料摄入量(g); N_t 为终末尾数; N_0 为初始尾数。

$$F_{ER} = (W_t - W_0) / F_d \quad (4)$$

式中: F_{ER} 为饲料效率; W_t 为终末体质量(g); W_0 为初始体质量(g); F_d 为饲料摄入量(g)。

$$P_{ER} = (W_t - W_0) / F_p \quad (5)$$

式中: P_{ER} 为蛋白质效率; W_t 为终末体质量(g); W_0 为初始体质量(g); F_p 为摄入蛋白质质量(g)。

$$A_{DC} = 100 \times [1 - (C_f / C_d) \times (C_{rd} / C_{rf})] \quad (6)$$

式中: A_{DC} 为营养物质表观消化率(%); C_f 为粪便中营养物质含量(%); C_d 为饲料中营养物质含量(%); C_{rd} 为饲料中 Cr_2O_3 含量(%); C_{rf} 为粪便中 Cr_2O_3 含量(%)。

$$P_{DR} = 100 \times D_p / F_p \quad (7)$$

式中: P_{DR} 为蛋白质沉积率(%); D_p 为体蛋白质沉积质量(g); F_p 为摄入蛋白质质量(g)。

$$L_{DR} = 100 \times D_l / F_l \quad (8)$$

式中: L_{DR} 为脂肪沉积率(%); D_l 为体脂肪沉积质量(g); F_l 为摄入脂肪质量(g)。

$$C_F = W_b / L_b^3 \quad (9)$$

式中: C_F 为肥满度(g/cm^3); W_b 为鱼体质量(g); L_b 为体长(cm)。

$$HIS = 100 \times W_l / W_b \quad (10)$$

式中: HIS 为肝体比(%); W_l 为肝脏质量(g)。

$$V_{SI} = 100 \times W_v / W_b \quad (11)$$

式中: V_{SI} 脏体比(%); W_v 为内脏质量(g)。

1.5 数据处理和统计分析

实验所测得的数据表示为平均值 ± 标准误 (Mean ± SE)。采用 SPSS 20 对数据进行双因素方差分析 (Two-way ANOVA), 显著水平为 $P < 0.05$ 。用 Duncan's 法进行多重差异显著性比较。

2 结果

2.1 2种植物性蛋白质混合物替代鱼粉对生长及饲料利用率的影响

去皮豆粕分别与玉米蛋白和大米蛋白组合后部分替代鱼粉对大口黑鲈的生长及饲料中营养物质利用的影响见表 3~5。各饲料间实验鱼的成活率无显著性影响 ($P > 0.05$)。30% 鱼粉组的终末体质量、特定生长率和摄食量显著高于 45% 鱼粉组 ($P < 0.05$), 而饲料效率、蛋白质效率、蛋白质沉积率、脂肪沉积率、蛋白质消化率和总氨基酸消化率在 2 个鱼粉水平之间无显著性差异 ($P > 0.05$)。在 2 个不同鱼粉水平下, 玉米蛋白组的饲料效率、蛋白质效率、蛋白质沉积率、脂肪沉积率和蛋氨酸消化率均显著高于大米蛋白组 ($P < 0.05$), 而摄食量显著低于大米蛋白组 ($P < 0.05$), 玉米蛋白组和大米蛋白组间实验鱼的终末体质量、特定生长率、蛋白质消化率、总氨基酸消化率和赖氨酸消化率无显著性差异 ($P > 0.05$)。

表 3 2 种植物性蛋白质混合物替代鱼粉对鱼体生长性能的影响(平均值 ± 标准误)

Tab. 3 Effect of fish meal replacement by two plant protein mixtures on growth performance (Mean ± SE)

饲料 Diets	指标 Index			
	初始体质量/g Initial body weight	成活率/% Survival rate	终末体质量/g Final body weight	特定生长率/(%/d) Specific growth rate
F45S8C8	58.69 ± 0.07	100.00 ± 0.00	119.87 ± 0.24 ^b	1.35 ± 0.01 ^b
F45S8R8	58.68 ± 0.11	98.67 ± 1.33	116.13 ± 1.54 ^b	1.29 ± 0.05 ^b
F30S17C17	58.72 ± 0.06	100.00 ± 0.00	125.87 ± 1.90 ^a	1.44 ± 0.05 ^a
F30S17R16	58.65 ± 0.06	100.00 ± 0.00	126.73 ± 1.99 ^a	1.45 ± 0.05 ^a
45% 鱼粉 45% fish meal		99.33	117.29 ^b	1.31 ^b
30% 鱼粉 30% fish meal		100.00	126.78 ^a	1.45 ^a
玉米蛋白 corn gluten meal		100.00	123.23	1.40
大米蛋白 rice protein meal		99.33	120.80	1.36
影响因素 factors	双因素方差分析(P 值) two-way ANOVA (P)			
鱼粉含量 fish meal level		0.347	0.000	0.000
植物性蛋白源 plant protein source		0.347	0.095	0.103
交互作用 interaction		0.347	0.156	0.135

注:同列数值带有不同上标字母表示差异显著($P < 0.05$),下同

Notes: Column values with different superscripts indicate significant difference ($P < 0.05$), and the same below

表 4 2 种植物性蛋白质混合物替代鱼粉对饲料营养素利用的影响(平均值 ± 标准误)

Tab. 4 Effect of fish meal replacement by two plant protein mixtures on nutrient utilization (Mean ± SE)

饲料 Diets	指标 Index				
	摄食量/(g/尾鱼) Feed intake	饲料效率 Feed efficiency ratio	蛋白质效率 Protein efficiency ratio	蛋白质沉积率/% Protein deposition rate	脂肪沉积率/% Lipid deposition rate
F45S8C8	64.80 ± 0.18 ^b	0.94 ± 0.00 ^a	1.91 ± 0.01 ^a	35.34 ± 0.10 ^a	50.82 ± 0.14 ^{ab}
F45S8R8	67.31 ± 1.60 ^b	0.85 ± 0.01 ^b	1.68 ± 0.02 ^b	31.55 ± 0.74 ^b	46.49 ± 1.10 ^b
F30S17C17	69.79 ± 1.78 ^b	0.96 ± 0.01 ^a	1.92 ± 0.03 ^a	36.07 ± 0.91 ^a	48.45 ± 1.22 ^{ab}
F30S17R16	81.10 ± 2.55 ^a	0.84 ± 0.01 ^b	1.66 ± 0.02 ^b	30.98 ± 0.95 ^b	47.14 ± 1.44 ^b
45% 鱼粉 45% fish meal	66.06 ^b	0.90	1.80	33.45	48.66
30% 鱼粉 30% fish meal	75.45 ^a	0.90	1.79	33.53	47.72
玉米蛋白 corn gluten meal	67.30 ^b	0.95 ^a	1.92 ^a	35.71 ^a	49.63 ^a
大米蛋白 rice protein meal	74.21 ^a	0.84 ^b	1.67 ^b	31.27 ^b	46.82 ^b
影响因素 factors	双因素方差分析(P 值) two-way ANOVA (P)				
鱼粉含量 fish meal level	0.001	0.790	0.868	0.916	0.452
植物性蛋白源 plant protein source	0.004	0.000	0.000	0.000	0.033
交互作用 interaction	0.036	0.157	0.416	0.418	0.206

2.2 2 种植物性蛋白质混合物替代鱼粉对鱼体组成的影响

表 6 显示,全鱼和肌肉的粗蛋白质、粗脂肪、水分和灰分各组间差异不显著($P > 0.05$)。由表 7 可见,实验鱼的肥满度和肝体比各组间差异不显著($P > 0.05$)。30% 鱼粉组的脏体比显著高于 45% 鱼粉组($P < 0.05$)。在 2 个不同鱼粉水平下,玉米蛋白和大米蛋白对脏体比的影响差异不显著($P > 0.05$)。

2.3 2 种植物性蛋白质混合物替代鱼粉对非特异性免疫指标的影响

如表 8,30% 鱼粉组的血清溶菌酶活性和血清蛋白含量显著高于 45% 鱼粉组($P < 0.05$),而

玉米蛋白和大米蛋白对血清溶菌酶活性和血清蛋白含量的影响差异不显著($P > 0.05$)。45% 鱼粉组的血清补体活性显著高于 30% 鱼粉组($P < 0.05$),但在 2 个不同鱼粉水平下,血清补体活性未因玉米蛋白和大米蛋白的不同而产生显著差异($P > 0.05$)。

2.4 2 种植物性蛋白质混合物替代鱼粉对血液学指标的影响

从表 9 可以看出,红细胞数和红细胞压积各组间差异不显著($P > 0.05$)。45% 鱼粉组的血红蛋白含量显著高于 30% 鱼粉组($P < 0.05$),玉米蛋白和大米蛋白对血红蛋白含量的影响差异不显著($P > 0.05$)。

表 5 2 种植物性蛋白质混合物替代鱼粉对蛋白质和氨基酸消化率的影响 (平均值 \pm 标准误)Tab. 5 Effect of fish meal replacement by two plant protein mixtures on digestibility coefficient of protein and amino acid (Mean \pm SE)

饲料 Diets	指标 Index			
	蛋白质消化率/% Protein digestibility	总氨基酸消化率/% Total amino acid digestibility	蛋氨酸消化率/% Methionine digestibility	赖氨酸消化率/% Lysine digestibility
F45S8C8	88.98 \pm 0.37	90.99 \pm 0.45	92.72 \pm 0.08 ^{ab}	93.79 \pm 0.56
F45S8R8	88.30 \pm 0.81	90.40 \pm 1.12	90.58 \pm 1.21 ^b	94.75 \pm 0.62
F30S17C17	90.39 \pm 0.85	93.06 \pm 0.64	94.77 \pm 0.46 ^a	95.13 \pm 0.45
F30S17R16	86.25 \pm 3.10	90.57 \pm 0.97	90.61 \pm 1.16 ^b	95.30 \pm 0.47
45% 鱼粉 45% fish meal	88.64	90.70	91.65	94.27
30% 鱼粉 30% fish meal	88.32	91.82	92.69	95.22
玉米蛋白 corn gluten meal	89.69	92.02	93.75 ^a	94.46
大米蛋白 rice protein meal	87.28	90.49	90.60 ^b	95.02
影响因素 factors	双因素方差分析(P 值) two-way ANOVA (P)			
鱼粉含量 fish meal level	0.851	0.267	0.326	0.122
植物性蛋白源 plant protein source	0.187	0.141	0.015	0.332
交互作用 interaction	0.331	0.338	0.340	0.490

表 6 2 种植物性蛋白质混合物替代鱼粉对鱼体组成的影响 (平均值 \pm 标准误)Tab. 6 Effect of fish meal replacement by two plant protein mixtures on the body composition (Mean \pm SE)

饲料 Diets	指标 Index			
	粗蛋白质/% Crude protein	粗脂肪/% Crude lipid	水分/% Moisture	灰分/% Ash
全鱼 whole fish body				
F45S8C8	18.49 \pm 0.06	6.46 \pm 0.29	72.41 \pm 0.52	3.88 \pm 0.07
F45S8R8	18.67 \pm 0.49	6.53 \pm 0.22	72.03 \pm 0.25	4.18 \pm 0.11
F30S17C17	18.76 \pm 0.33	6.06 \pm 0.17	70.39 \pm 0.96	4.31 \pm 0.15
F30S17R16	18.64 \pm 0.08	6.76 \pm 0.49	69.91 \pm 1.41	4.24 \pm 0.13
45% 鱼粉 45% fish meal	18.58	6.50	72.22	4.03
30% 鱼粉 30% fish meal	18.70	6.41	70.15	4.28
玉米蛋白 corn gluten meal	18.63	6.26	71.40	4.10
大米蛋白 rice protein meal	18.65	6.65	70.97	4.21
影响因素 factors	双因素方差分析(P 值) two-way ANOVA (P)			
鱼粉含量 fish meal level	0.700	0.789	0.051	0.074
植物性蛋白源 plant protein source	0.940	0.266	0.648	0.364
交互作用 interaction	0.631	0.357	0.954	0.147
肌肉 muscle				
F45S8C8	20.84 \pm 0.40	2.23 \pm 0.05	77.31 \pm 0.37	1.32 \pm 0.02
F45S8R8	21.16 \pm 0.18	2.24 \pm 0.07	78.45 \pm 0.24	1.29 \pm 0.02
F30S17C17	21.12 \pm 0.16	2.23 \pm 0.04	77.52 \pm 0.37	1.31 \pm 0.01
F30S17R16	21.21 \pm 0.06	2.53 \pm 0.30	77.47 \pm 0.46	1.30 \pm 0.01
45% 鱼粉 45% fish meal	21.00	2.24	77.88	1.30
30% 鱼粉 30% fish meal	21.16	2.38	77.49	1.30
玉米蛋白 corn gluten meal	20.98	2.23	77.42	1.31
大米蛋白 rice protein meal	21.19	2.39	77.96	1.29
影响因素 factors	双因素方差分析(P 值) two-way ANOVA (P)			
鱼粉含量 fish meal level	0.511	0.379	0.326	0.830
植物性蛋白源 plant protein source	0.410	0.359	0.182	0.108
交互作用 interaction	0.627	0.379	0.147	0.529

表 7 2 种植物性蛋白质混合物替代鱼粉对肥满度、肝体比和脏体比的影响(平均值 ± 标准误)
 Tab.7 Effect of fish meal replacement by two plant protein mixtures on CF, HSI and VSI (Mean ± SE)

饲料 Diets	指标 Index		
	肥满度/(g/cm ³) Condition factor	肝体比/% Hepatosomatic index	脏体比/% Viscerosomatic index
F45S8C8	1.96 ± 0.03	1.72 ± 0.17	6.33 ± 0.11 ^{ab}
F45S8R8	2.03 ± 0.05	1.81 ± 0.13	6.02 ± 0.22 ^b
F30S17C17	2.02 ± 0.02	1.77 ± 0.11	6.72 ± 0.20 ^a
F30S17R16	1.95 ± 0.02	1.57 ± 0.10	6.56 ± 0.15 ^a
45% 鱼粉 45% fish meal	1.99	1.77	6.17 ^b
30% 鱼粉 30% fish meal	1.99	1.67	6.64 ^a
玉米蛋白 corn gluten meal	2.00	1.74	6.52
大米蛋白 rice protein meal	1.99	1.69	6.29
影响因素 factors	双因素方差分析(P 值) two-way ANOVA (P)		
鱼粉含量 fish meal level	0.958	0.458	0.010
植物性蛋白源 plant protein source	0.688	0.694	0.193
交互作用 interaction	0.041	0.285	0.677

表 8 2 种植物性蛋白质混合物替代鱼粉对非特异性免疫指标的影响(平均值 ± 标准误)
 Tab.8 Effect of fish meal replacement by two plant protein mixtures on non-specific immunity indices (Mean ± SE)

饲料 Diets	指标 Index		
	血清溶菌酶活性/(unit/μL) Serum lysozyme activity	血清蛋白含量/(mg/mL) Serum protein content	血清补体活性/(U/mL) CH ₅₀ activity
F45S8C8	4.86 ± 0.24 ^b	43.14 ± 1.01 ^b	364.48 ± 12.67 ^a
F45S8R8	5.73 ± 0.39 ^b	42.32 ± 0.23 ^b	357.96 ± 1.91 ^a
F30S17C17	8.73 ± 0.21 ^a	43.98 ± 1.47 ^b	323.88 ± 4.92 ^b
F30S17R16	8.53 ± 0.42 ^a	49.07 ± 1.39 ^a	321.31 ± 7.44 ^b
45% 鱼粉 45% fish meal	5.29 ^b	42.73 ^b	361.22 ^a
30% 鱼粉 30% fish meal	8.63 ^a	46.53 ^a	322.60 ^b
玉米蛋白 corn gluten meal	6.79	43.56	344.18
大米蛋白 rice protein meal	7.13	45.70	339.64
影响因素 factors	双因素方差分析(P 值) two-way ANOVA (P)		
鱼粉含量 fish meal level	0.000	0.003	0.002
植物性蛋白源 plant protein source	0.316	0.075	0.566
交互作用 interaction	0.113	0.017	0.801

表 9 2 种植物性蛋白质混合物替代鱼粉对血液学指标的影响(平均值 ± 标准误)
 Tab.9 Effect of fish meal replacement by two plant protein mixtures on hematological indices (Mean ± SE)

饲料 Diets	指标 Index		
	红细胞数/(10 ¹² cells/L) Red blood cell count	红细胞压积/(L/L) Hematocrit	血红蛋白/(g/L) Hemoglobin
F45S8C8	2.01 ± 0.01	0.36 ± 0.01	59.08 ± 2.19 ^a
F45S8R8	2.03 ± 0.01	0.37 ± 0.00	59.08 ± 1.74 ^a
F30S17C17	2.04 ± 0.01	0.37 ± 0.01	51.36 ± 3.13 ^b
F30S17R16	2.01 ± 0.01	0.36 ± 0.01	52.83 ± 1.95 ^{ab}
高鱼粉 45% fish meal	2.02	0.37	59.08 ^a
低鱼粉 30% fish meal	2.02	0.37	52.09 ^b
玉米蛋白 corn gluten meal	2.02	0.37	55.22
大米蛋白 rice protein meal	2.02	0.37	55.95
影响因素 factors	双因素方差分析(P 值) two-way ANOVA (P)		
鱼粉含量 fish meal level	0.766	0.757	0.005
植物性蛋白源 plant protein source	0.554	0.792	0.753
交互作用 interaction	0.063	0.221	0.753

3 讨论

3.1 植物性蛋白质替代鱼粉对鱼类生长和体组成的影响

本研究显示,2种植物性蛋白质混合物替代饲料中1/3的鱼粉(鱼粉含量由45%降至30%),实验鱼的终末体质量和特定生长率分别提高了8.10%和10.70%(表3);全鱼和肌肉的粗蛋白质、粗脂肪、水分和灰分无显著性差异(表6)。在花鲢(*Hemibarbus maculatus*)^[27]、半滑舌鲷(*Cynoglossus semilaevis* Günter)^[28]和南方鲇(*Silurus meridionalis* Chen)^[29]的研究中发现,植物性蛋白质适量替代鱼粉,可以提高鱼体的特定生长率。以混合植物蛋白(豆粕和谷朊粉)替代25%鱼粉,花鲢(*Lateolabrax japonicus*)和西伯利亚鲟(*Acipenser baeri* Brandt)的末体质量均高于对照组(鱼粉含量56.88%)^[30]。植物性蛋白质替代鱼粉后对鱼体的组成的影响与替代量有关,适宜的替代量不会影响鱼体的组成。对花鲢(*H. maculatus*)^[27]研究发现,复合植物蛋白替代50%鱼粉未对鱼体肌肉的组成造成显著影响,但替代75%鱼粉时,显著影响鱼体肌肉的粗蛋白质和粗脂肪含量,半滑舌鲷(*C. semilaevis*)^[28]和红鳍东方鲟(*Takifugu rubripes*)^[31]也呈现相似的结果。

3.2 植物蛋白的来源对其替代鱼粉效果的影响

本研究发现,玉米蛋白组的饲料效率、蛋白质效率和蛋氨酸消化率显著高于大米蛋白组(表5和表6)。PORTZ等^[32]研究发现,大口黑鲈(*M. salmoides*)对玉米蛋白的蛋白质表观消化率高于鱼粉的蛋白质表观消化率,对玉米蛋白的赖氨酸及蛋氨酸消化率与鱼粉相比无显著性差异。可见,在大口黑鲈饲料中玉米蛋白比大米蛋白有更高的替代鱼粉的潜力。对花鲢(*L. japonicus*)^[33]的研究也显示,玉米蛋白在15%~30%范围内替代鱼粉时,饲料效率和蛋白质消化率随之升高。但大米浓缩蛋白在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)饲料中能替代36.8%的鱼粉,饲料效率和生长未受到负面影响^[3]。因此,植物蛋白的来源不同或是影响其替代鱼粉潜力的重要因素。

3.3 植物性蛋白质替代鱼粉对非特异性免疫和血液学指标的影响

本研究显示,植物蛋白替代鱼粉后实验鱼的

血清溶菌酶活性和血清蛋白含量显著升高,但血清补体显著降低(表8);同时血红蛋白含量也显著降低(表9)。其他的研究也表明,血清溶菌酶活性和血清蛋白含量受到饲料中必需氨基酸含量、牛磺酸含量和抗营养因子含量的影响。饲料中添加必需氨基酸和牛磺酸,可以显著提高鱼体血清溶菌酶活性^[34-35]和血清蛋白含量^[36]。而植物蛋白源中抗营养因子的存在对免疫学和血液学指标的影响可能是负面的。对大口黑鲈(*M. salmoides*)^[1]和虹鳟(*O. mykiss*)^[37]的研究发现,豆粕中的抗营养因子使血清溶菌酶活性、血清蛋白含量和血红蛋白含量等产生显著的负面影响。但玉米蛋白适量替代鱼粉可以提高凡纳滨对虾(*L. vannamei*)肝脏和肌肉中溶菌酶活性^[38]以及暗纹东方鲟(*Takifugu obscurus*)肝脏、头肾和脾脏组织中溶菌酶活性^[39]。因此,在饲料配方中豆粕和玉米蛋白的合理搭配不仅有利于必需氨基酸的互补,也有利于减轻因单一植物蛋白源中的过量抗营养因子对免疫学和血液学产生的不良影响。

3.4 结论

本研究基于对实验鱼的生长、饲料效率、体组成、非特异性免疫和血液学指标评估得出,通过添加牛磺酸和晶体必需氨基酸,同时利用去皮豆粕分别与玉米蛋白和大米蛋白组成的混合物的限制性氨基酸互补作用,使得大口黑鲈饲料中的鱼粉含量由45%降至30%是可行的。另外,去皮豆粕与玉米蛋白组成的混合物的替代效果优于去皮豆粕与大米蛋白组成的混合物。本研究结果可为配制高效和经济的大口黑鲈配合饲料提供参考。

参考文献:

- [1] 陈乃松,马秀丽,赵明,等.大口黑鲈幼鱼饲料中白鱼粉与两种豆粕的适宜配比[J].水产学报,2013,37(9):1389-1400.
CHEN N S, MA X L, ZHAO M, et al. Suitable inclusion levels of white fish meal and two kinds of soybean meal in diets for juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(9): 1389-1400.
- [2] WU Y V, ROSATI R R, SESSA D J, et al. Evaluation of corn gluten meal as a protein source in tilapia diets [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1995, 43(6): 1585-1588.

- [3] PALMEGIANO G B, DAPRA F, FORNERIS G, et al. Rice protein concentrate meal as a potential ingredient in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 2006, 258(1/4): 357-367.
- [4] CARTER C G, HAULAR R C. Fish meal replacement by plant meals in extruded feeds for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. [J]. *Aquaculture*, 2000, 185(3/4): 299-311.
- [5] KIKUCHI K. Partial replacement of fish meal with corn gluten meal in diets for Japanese Flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1999, 30(3): 357-363.
- [6] 于喆. 大米蛋白的发酵优化及替代鱼粉饲喂鲫鱼的效果研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.
YU Z. Fermentation optimization of rice protein and its replacement effect of fish meal on feeding in cultivation of *Carassius Auratus* [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2013.
- [7] FOURNIER V, HUELVAN C, DESBRUYERES E. Incorporation of a mixture of plant feedstuffs as substitute for fish meal in diets of juvenile turbot (*Psetta maxima*) [J]. *Aquaculture*, 2004, 236(1/4): 451-465.
- [8] GOMEZ-REQUENI P, MINGARRO M, CALDUCH-GINER J A, et al. Protein growth performance, amino acid utilisation and somatotropic axis responsiveness to fish meal replacement by plant protein sources in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) [J]. *Aquaculture*, 2004, 232(1): 493-510.
- [9] KAUSHIK S J, CRAVEDI J P, LALLES J P, et al. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Aquaculture*, 1995, 133(3): 257-274.
- [10] TORSTENSEN B E, ESPE M, SANDEN M, et al. Novel production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) protein based on combined replacement of fish meal and fish oil with plant meal and vegetable oil blends [J]. *Aquaculture*, 2008, 285(1-4): 193-200.
- [11] TIDWELL J H, WEBSTER C D, COYLE S D. Effects of dietary protein level on second year growth and water quality for largemouth bass (*Micropterus salmoides*) raised in ponds [J]. *Aquaculture*, 1996, 145(1-4): 213-223.
- [12] COYLE S D, TIDWELL J H, WEBSTER C D. Response of largemouth bass *Micropterus salmoides* to dietary supplementation of lysine, methionine and highly unsaturated fatty acids [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2000, 31(1): 89-95.
- [13] 陈乃松, 肖温温, 梁勤朗, 等. 饲料中脂肪与蛋白质比对大口黑鲈生长、体组成和非特异性免疫的影响[J]. *水产学报*, 2012, 36(8): 1270-1280.
CHEN N S, XIAO W W, LIANG Q L, et al. Effects of dietary lipid to protein ratios on growth performance, body composition and non-specific immunity of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(8): 1270-1280.
- [14] 陈乃松, 马建忠, 周恒永, 等. 大口黑鲈对饲料中蛋氨酸需求量的评定[J]. *水产学报*, 2010, 34(8): 1244-1253.
CHEN N S, MA J Z, ZHOU H Y, et al. Assessment of dietary methionine requirement in largemouth bass, *Micropterus salmoides* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(8): 1244-1253.
- [15] ZHOU H, CHEN N, QIU X, et al. Arginine requirement and effect of arginine intake on immunity in largemouth bass, *Micropterus salmoides* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2012, 18(1): 107-116.
- [16] 苟仕潘, 陈乃松, 徐祥泰, 等. 饲料中可消化淀粉对大口黑鲈生长、体组成和非特异性免疫指标的影响[J]. *水产学报*, 2015, 39(10): 1499-1510.
GOU S P, CHEN N S, XU X T, et al. Effects of dietary digestible starch levels on growth performance, body composition, and non-specific immunological index of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(10): 1499-1510.
- [17] LEE S M. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*) [J]. *Aquaculture*, 2002, 207(1-2): 79-95.
- [18] LEE C M, TREVINO B, CHAIYAWAT M. A simple and rapid solvent extraction method for determining total lipids in fish tissue [J]. *Journal of AOAC International*, 1996, 79(2): 487-492.
- [19] DIVAKARAN S, OBALDO L G, FORSTER I P. Note on the methods for determination of chromic oxide in shrimp feeds [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2002, 50(3): 464.
- [20] LIAMES C R, FONTAINE J. Determination of amino acids in feeds: Collaborative study [J]. *Journal of AOAC International*, 1994, 77: 1362-1402.
- [21] SITJA-BOBADILLA A, MINGARRO M, PUJALTE M J, et al. Immunological and pathological status of gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.) under different long-term feeding regimes [J]. *Aquaculture*, 2003, 220(1-4): 707-724.
- [22] DOUMAS B T, BAYSE D D, CARTER R J, et al. A candidate reference method for determination of total protein in serum. I. Development and validation [J]. *Clinical Chemistry*, 1981, 27(10): 1642-1650.
- [23] INGLIS J E, RADZIOW K A, MANIERO G D. The serum complement system: a simplified laboratory exercise to measure the activity of an important component of the immune system [J]. *Advances in Physiology Education*, 2008, 32(4): 317-321.
- [24] BRADFORD M. Rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing principle of protein-dye-binding [J]. *Analytical Biochemistry*, 1976, 25(1): 248-256.

- [25] SANDNES K, LIE O, WAAGBO R. Normal ranges of some blood chemistry parameters in adult farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* [J]. *Journal of Fish Biology*, 1988, 32(1): 129-136.
- [26] ARNOLD J E. Hematology of the sandbar shark, *Carcharhinus plumbeus*: standardization of complete blood count techniques for elasmobranchs [J]. *Veterinary Clinical Pathology*, 2005, 34(2): 115-123.
- [27] 王吉桥, 程爱香, 闫有利, 等. 混合植物蛋白添加晶体氨基酸替代鱼粉的饲料对花鲈鱼种生长和免疫指标的影响 [J]. *水产学杂志*, 2010, 23(1): 15-23.
WANG J Q, CHENG A X, YAN Y L, et al. Effects of fish meal substituted by various plant proteins supplemented with crystalline amino acids on growth and immunology performance of *Hemibarbus maculatus* juveniles [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2010, 23(1): 15-23.
- [28] 代伟伟, 麦康森, 徐玮, 等. 复合植物蛋白源替代鱼粉对半滑舌鳎生长、生理生化指标和肠组织结构的影响 [J]. *中国水产科学*, 2016, 23(1): 125-137.
DAI W W, MAI K S, XU W, et al. Effects of replacing fish meal with plant-based protein on growth, physiological and biological indices, and intestinal histology in tonguesole, *Cynoglossus semilaevis* Günter [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(1): 125-137.
- [29] 艾庆辉, 谢小军. 南方鲇的营养学研究: 饲料中大豆蛋白水平对生长的影响 [J]. *水生生物学报*, 2002, 26(1): 57-65.
AI Q H, XIE X J. The nutrition of *Silurus meridionalis*: Effects of different levels of dietary soybean protein on growth [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(1): 57-65.
- [30] 张志勇, 薛敏, 王嘉, 等. 混合植物蛋白质替代鱼粉对花鲈和西伯利亚鲟生长和肉质影响的比较研究 [J]. *动物营养学报*, 2013, 25(6): 1260-1275.
ZHANG Z Y, XUE M, WANG J, et al. Effects of fish meal replacement by plant protein blend on growth and flesh quality of Japanese Seabass (*Lateolabrax japonicus*) and Siberian Sturgeon (*Acipenser baeri* Brandt) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(6): 1260-1275.
- [31] LIM S J, KIM S S, KO G Y, et al. Fish meal replacement by soybean meal in diets for Tiger puffer, *Takifugu rubripes* [J]. *Aquaculture*, 2011, 313(1): 165-170.
- [32] PORTZ L, CYRINO J E P. Digestibility of nutrients and amino acids of different protein sources in practical diets by largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacepède, 1802) [J]. *Aquaculture Research*, 2015, 35(4): 312-320.
- [33] 门珂珂. 饲料玉米蛋白粉及赖氨酸对鲈鱼生长和代谢的影响 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
MEN K K. Fish meal replacement and lysine requirement in diets of Japanese seabass, *lateolabrax japonicus* [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [34] 邱小琮, 赵红雪, 王远吉, 等. 牛磺酸对鲤非特异性免疫及抗氧化能力的影响 [J]. *上海水产大学学报*, 2008, 17(4): 429-434.
QIU X C, ZHAO H X, WANG Y J, et al. Effect of taurine on the non-specific immunity and antioxidative competence of carp [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2008, 17(4): 429-434.
- [35] 陈乃松, 梁勤朗, 肖温温, 等. 在低蛋白质饲料中补充必需氨基酸对大口黑鲈生长、体组成和免疫指标的影响 [J]. *水生生物学报*, 2014, 38(2): 262-271.
CHEN N S, LIANG Q L, XIAO W W, et al. Effects of supplementing EAA to lower protein diets on growth, body composition and immunological index of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, 38(2): 262-271.
- [36] 毛盼. 青鱼幼鱼低鱼粉饲料中添加牛磺酸的应用研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
MAO P. Research of taurine addition in low fish meal diet of juvenile black carp (*mylopharyngodon piceus*) [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014.
- [37] RUMSEY G L, SIWICKI A K, ANDERSON D P, et al. Effect of soybean protein on serological response, non-specific defense mechanism, growth and protein utilization in rainbow trout [J]. *Veterinary Immunology & Immunopathology*, 1994, 41(3-4): 323-339.
- [38] 韩斌, 华雪铭, 周洪琪, 等. 玉米蛋白粉替代部分鱼粉对凡纳滨对虾抗病力及非特异性免疫力的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(8): 3566-3569.
HAN B, HUA X M, ZHOU H Q, et al. Effects of the feed with corn gluten meal partial replacement of fish meal on anti-disease and non-specific immunity of *Litopenaeus vannamei* [J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2009, 37(8): 3566-3569.
- [39] 钟国防, 钱曦, 华雪铭, 等. 玉米蛋白粉替代鱼粉对暗纹东方鲀溶菌酶活性及c型溶菌酶 mRNA 表达的影响 [J]. *水产学报*, 2010, 34(7): 1121-1128.
ZHONG G F, QIAN X, HUA X M, et al. Effects of feeding with corn gluten meal on lysozyme activity and c-lysozyme gene expression in *Fugu obscurus* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(7): 1121-1128.

Study on replacement of fish meal by two plant protein mixtures in diets for largemouth bass (*Micropterus salmoides*)

WANG Mengle¹, CHEN Naisong^{1,2,3}, LI Songlin^{1,2,3}, LIAN Xueyuan¹, YAN Chunwei¹

(1. Research Center of the Agriculture Ministry on Environmental Ecology and Fish Nutrition at Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Demonstration Center on Experiment Teaching of Fisheries Science at Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai 201306, China)

Abstract: Four isonitrogenous and isoenergetic diets were formulated to evaluate the feasibility of partial replacement of fish meal by two plant protein mixtures (composed of dehulled soybean meal and corn gluten meal or rice protein meal, respectively) in 45% fish meal diet and 30% fish meal diets for largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Fish [initial body weight (58.69 ± 0.07) g] were fed over 53 days. The results suggested that there were no significant differences in survival rate among all treatments ($P > 0.05$). 30% fish meal diets-fed fish showed higher final body weight, specific growth rate and feed intake than 45% fish meal diets-fed fish ($P < 0.05$), while feed efficiency ratio, protein efficiency ratio, protein digestibility and total amino acid digestibility showed no significant differences between 30% fish meal diets-fed fish and 45% fish meal diets-fed fish ($P > 0.05$). The fish fed corn gluten meal diets had a significantly higher feed efficiency ratio and protein efficiency rate than fish fed rice protein meal diets ($P < 0.05$), however, feed intake with fish fed corn gluten meal diets was significantly lower than fish fed rice protein meal diets ($P < 0.05$). There were no significant differences in concentrations of crude protein, crude lipid, moisture and ash of the whole body and muscle among all the treatments ($P > 0.05$). Fish fed 30% fish meal diets had significantly higher serum lysozyme activity and serum protein content than fish fed 45% fish meal diets ($P < 0.05$), but no significances occurred between corn gluten meal diets-fed fish and rice protein meal diets-fed fish ($P > 0.05$). No significant differences in red blood cell count and hematocrit among all the treatments were observed ($P > 0.05$). It can be concluded from this study that in the diet for largemouth bass fish meal inclusion level can be replaced from 45% to 30% with the mixtures composed of dehulled soybean meal and corn gluten meal or rice protein meal. The mixture containing corn gluten meal has a better substitution effect than the mixture containing rice protein meal.

Key words: *Micropterus salmoides*; dehulled soybean meal; corn gluten meal; rice protein meal; growth performance; non-specific immunity index