

## 豆粕替代鱼粉对牛蛙生长、体组成、消化酶活力及肝脏生化指标的影响

方卫东<sup>1,2</sup>, 鲁康乐<sup>1</sup>, 张春晓<sup>1\*</sup>, 王玲<sup>1</sup>, 冯伟<sup>1</sup>, 骆源<sup>1</sup>

(1. 集美大学水产学院, 农业部东海海水健康养殖重点实验室,

厦门市集美大学饲料检测与安全评价重点实验室, 福建 厦门 361021;

2. 福建省海新集团有限公司, 福建 漳州 363102)

**摘要:** 为减少牛蛙饲料鱼粉使用量以降低养殖成本, 研究了豆粕替代饲料中不同比例鱼粉对牛蛙的生长性能、体组成、肠道消化酶活力和肝脏生化指标的影响。用豆粕分别替代0%、20%、40%、60%、80%和100%的鱼粉配制出6种等氮等能的实验饲料, 每组饲料设3重复, 养殖牛蛙60 d。结果显示, 豆粕替代鱼粉对牛蛙摄食率、成活率、肝体指数、脏体指数、蛙体水分和灰分含量、蛙腿肌肉组成以及肝脏丙二醛含量的影响不显著; 豆粕100%替代鱼粉显著降低牛蛙增重率、特定生长率、饲料系数、蛋白质效率、蛋白质累积率; 随豆粕替代鱼粉比例的提高, 牛蛙的肥满度和后腿指数呈下降趋势, 替代100%鱼粉显著降低牛蛙肥满度, 替代60%鱼粉显著降低牛蛙后腿指数; 替代80%鱼粉显著降低牛蛙全体粗蛋白的含量; 牛蛙全体粗脂肪含量随替代鱼粉比例的提高呈上升的趋势, 替代100%鱼粉组粗脂肪含量最高; 随着替代比例的提高, 牛蛙肠道蛋白酶的活力显著降低, 而肠道淀粉酶和脂肪酶活力显著提高。豆粕替代鱼粉显著影响肝脏超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活力, 其中超氧化物歧化酶活力最低值出现在替代80%鱼粉组, 过氧化氢酶活力最低值出现在替代100%鱼粉组。基于以上实验结果, 建议牛蛙饲料中豆粕可替代鱼粉的比例为60%~80%。

**关键词:** 牛蛙; 鱼粉替代; 豆粕; 生长

**中图分类号:** S 963.31

**文献标志码:** A

鱼粉因其蛋白含量高、氨基酸组成平衡、抗营养因子少及适口性好等优点, 是水产饲料的重要蛋白源<sup>[1]</sup>。但由于全球鱼粉的产量日趋下降, 使鱼粉的价格居高不下, 配合饲料的成本随之提高。因此, 寻找可替代鱼粉的其他蛋白源不仅有利于降低养殖成本, 而且对于保护生态资源具有重要意义。植物蛋白来源广泛、价格低廉, 是替代鱼粉降低养殖成本的有效方法之一。其中, 豆粕具有蛋白含量高、价格合理、来源稳定、氨基酸丰富等优点, 作为优质鱼粉替代蛋白源而被广泛研究。许多学者已针对水

产动物开展了豆粕替代鱼粉的大量研究, 表明豆粕可部分或全部替代鱼粉而不会影响水产动物的生长<sup>[2-3]</sup>。然而也有研究表明, 豆粕替代鱼粉会显著影响水产动物摄食率、生长性能、饲料利用率和能量沉积率等<sup>[4]</sup>, 显著降低水产动物肠道消化酶活力和肝脏抗氧化能力<sup>[5-6]</sup>。

牛蛙 [*Rana (Lithobates) catesbeiana*] 属于脊椎动物门(Verte-brata)、两栖纲(Amphibia)、无尾目(Anura)、蛙科(Ranidae), 原产于北美洲, 其肉鲜美、产量高、生长迅速, 近年来牛蛙养殖在我国迅速发展, 牛蛙养殖区主要分布在广东、

收稿日期: 2016-04-01 修回日期: 2016-07-11

资助项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201303053); 福建省教育厅科技计划项目(JA15284)

通信作者: 张春晓, E-mail: cxzhang@jmu.edu.cn

福建、浙江和江苏等地, 其中广东和福建是牛蛙养殖最为集中的省份, 2013年以来, 牛蛙养殖年产量达15万t以上<sup>[7]</sup>。国内外学者针对牛蛙营养生理开展了部分研究<sup>[7-13]</sup>, 然而, 由于缺乏蛋白源相关的研究, 目前牛蛙的商品饲料配方中鱼粉的添加比例仍较高, 为30%左右。本实验研究豆粕以不同比例替代鱼粉对牛蛙生长性能、消化酶活力和肝脏生化指标的影响, 旨在探讨豆粕替代鱼粉的适宜比例, 以期为牛蛙低鱼粉饲料的配方设计提供数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验饲料的配制

按照等氮、等能的原则, 选用红鱼粉、豆

粕、花生粕、玉米蛋白粉为蛋白源, 鱼油为脂肪源, 面粉和米糠粕为碳水化合物源, 并补充预混料配制出基础饲料。基础饲料鱼粉添加水平为30%, 分别以豆粕替代基础饲料中0%、20%、40%、60%、80%和100%的鱼粉, 配制出6种实验饲料。饲料粗蛋白约为40%, 粗脂肪水平约为7.5%。各组实验料配方及营养组成如表1所示, 氨基酸组成如表2所示。所有饲料原料粉碎并过80目筛, 然后按照实验配方比例混合均匀, 经水产饲料膨化机加工成直径为4.5 mm的颗粒膨化饲料。风干至水分10%左右, 装袋、密封保存于-20 °C冰箱中备用。

### 1.2 饲养与日常管理

本实验所用牛蛙为从福建诏安某养殖场购

表 1 实验饲料配方及营养组成(%干物质基础)

Tab. 1 Ingredients and proximate composition of experimental diets (% dry-matter basis)

原料 ingredients	替代水平 replacement level					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
红鱼粉 red fish meal	30.00	24.00	18.00	12.00	6.00	0.00
豆粕 soybean meal	0.00	10.80	21.50	32.00	42.80	53.39
玉米蛋白粉 corn gluten meal	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
花生粕 peanut meal	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
米糠粕 rice bran, solvent extracted	31.50	25.05	18.75	12.72	6.27	0.00
高筋面粉 wheat flour	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
鱼油 fish oil	1.50	2.02	2.57	3.07	3.59	4.13
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.00	1.00	1.90	2.80	3.80	4.80
赖氨酸 lysine	0.00	0.05	0.12	0.17	0.22	0.28
蛋氨酸 methionine	0.00	0.08	0.16	0.24	0.32	0.40
氯化胆碱 choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
矿物质混合物 mineral premix <sup>1</sup>	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
维生素混合物 vitamin premix <sup>2</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>营养成分 proximate composition</b>						
粗蛋白 crude protein	39.78	39.87	39.83	40.02	39.35	39.98
粗脂肪 crude lipid	7.10	7.50	7.92	7.38	7.50	7.15
粗纤维 crude fiber	2.58	2.25	2.46	2.17	2.93	2.93
灰分 ash	11.16	10.64	10.07	9.07	9.37	8.95
钙 calcium	1.20	1.20	1.16	0.95	1.02	0.94
磷 phosphorus	1.91	1.89	1.85	1.65	1.83	1.73

注: 1. 矿物质混合物(mg或g/kg): 氯化钾 200 mg; 碘化钾 60 mg; 硫酸钴 100 mg; 硫酸铜 24 mg; 硫酸亚铁 400 mg; 硫酸锌 174 mg; 硫酸锰 78 mg; 硫酸镁 800 mg; 亚硒酸钠 50 mg; 沸石粉 3.114 g。2. 维生素混合物(mg或g/kg): 维生素B<sub>1</sub> 10 mg; 核黄素 8 mg; 盐酸吡哆醇 10 mg; 维生素B<sub>12</sub> 0.2 mg; 维生素K<sub>3</sub> 10 mg; 肌醇 100 mg; 泛酸钙 20 mg; 烟酸 50 mg; 叶酸 2 mg; 生物素 2 mg; 维生素A (50万IU) 400 mg; 维生素D<sub>3</sub> 5 mg; 维生素E (50万IU) 100 mg; 抗坏血酸多聚磷酸酯 500 mg; 乙氧基喹啉 150 mg; 次粉 8.6328 g

Notes: 1. mineral premix (mg or g/kg): KCl, 200 mg; KI, 60 mg; CoSO<sub>4</sub>, 100 mg; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 24 mg; FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 400 mg; ZnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 174 mg; MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 78 mg; MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 800 mg; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, 50 mg; zeolite, 3.114 g。2. vitamin premix (mg or g/kg): thiamin, 10 mg; riboflavin, 8 mg; pyridoxine HCl, 10 mg; vitamin B<sub>12</sub>, 0.2 mg; vitamin K<sub>3</sub>, 10 mg; inositol, 100 mg; pantothenic acid, 20 mg; niacin acid, 50 mg; folic acid, 2 mg; biotin, 2 mg; retinol acetate, 400 mg; cholecalciferol, 5 mg; alpha-tocopherol, 100 mg; L-ascorbate-2-phosphate, 500 mg; ethoxyquin, 150 mg; wheat middling, 8.6328 g

表2 各实验组饲料氨基酸组成(%干物质基础)  
Tab. 2 Amino acid composition of experimental diets  
(% dry-matter basis)

氨基酸 amino acid	替代水平 replacement level					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
丙氨酸 alanine	2.30	2.19	1.87	1.87	1.86	1.81
天门冬氨酸 aspartate	3.71	3.80	3.54	3.82	4.12	4.41
胱氨酸 cysteine	0.28	0.32	0.29	0.34	0.35	0.39
谷氨酸 glutamic	6.40	6.84	6.54	6.93	7.42	7.98
甘氨酸 glycine	2.11	1.94	1.70	1.76	1.76	1.73
脯氨酸 proline	1.93	2.02	1.91	1.99	2.12	2.26
丝氨酸 serine	1.73	1.84	1.72	1.82	1.95	2.06
酪氨酸 tyrosine	1.16	1.20	1.06	1.18	1.21	1.24
精氨酸 arginine	2.62	2.65	2.41	2.60	2.70	2.83
组氨酸 histidine	1.09	1.10	0.97	1.00	1.01	1.00
异亮氨酸 isoleucine	1.48	1.45	1.33	1.44	1.49	1.57
亮氨酸 leucine	3.10	3.19	2.83	2.93	3.09	3.19
赖氨酸 lysine	2.32	2.14	1.98	2.15	2.17	2.25
蛋氨酸 methionine	0.79	0.73	0.66	0.79	0.74	0.77
苯丙氨酸 phenylalanine	1.88	1.77	1.64	1.77	1.87	1.99
苏氨酸 threonine	1.51	1.45	1.31	1.40	1.41	1.47
缬氨酸 valine	1.83	1.73	1.58	1.66	1.67	1.73
非必需氨基酸总量 TNEAA	19.62	20.15	18.63	19.71	20.79	21.88
必需氨基酸总量 TEAA	16.62	16.21	14.71	15.74	16.15	16.80

买的同一批蛙苗,放入暂养箱驯养,投喂漳州市海新水产饲料有限公司提供的蛙类膨化配合饲料,驯化2周后,选择个体均一、体格健康的牛蛙[初始体质量为(26.49±0.95)g],经称重后随机分配到18个实验箱中(规格为0.7 m×0.4 m×0.5 m),每箱20只。

实验用水为曝气自来水,每天下午投喂前1 h清洗实验箱1次并换水,水位为3~5 cm。实验期间水温28~30 °C,气温30~32 °C。每天投喂2次(9:00和16:00),每次牛蛙的摄食时间控制在1 h内,投喂1 h后准时收集残饵。养殖实验周期60 d。

### 1.3 样品采集

实验前随机取10只牛蛙,作为初始样品并保存在-20 °C冰箱中,用于牛蛙初始样本组成的分析。养殖实验结束后,禁食24 h,对每箱牛蛙

进行计数并逐只称重、测量体长,用于计算成活率、增重率、特定生长率、摄食率、饲料系数、蛋白质效率、蛋白质累积率和肥满度等生长性能指标。分别从每个实验箱中随机取5只牛蛙,用双毁髓法处理,其中2只牛蛙用于全体水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分的分析。另外3只牛蛙解剖并置于-80 °C冰箱中保存,以获取实验所需的其他组织,包括截取前肠,用于肠道蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活力的测定;取肝脏和内脏称重,用于计算肝体指数和脏体指数;肝脏组织放入-80 °C冰箱中保存,用于牛蛙肝脏总超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活力和丙二醛含量的检测;取牛蛙的后腿称重,用于计算牛蛙后腿指数;取腿部肌肉用于水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分和氨基酸组成的分析。

### 1.4 样品分析

水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分分别采用105 °C常压烘箱干燥恒重法、凯氏定氮法(总氮×6.25)、索氏抽提法和马福炉灼烧法(550 °C)测定;粗纤维、钙、磷和氨基酸的含量分别采用国标所规定的方法进行检测;采用福林—酚试剂法<sup>[14]</sup>测定蛋白酶活力;采用南京建成化学比浊法测试盒测定脂肪酶活力;采用南京建成碘—淀粉比色法测试盒测定淀粉酶活力;牛蛙肝脏总超氧化物歧化酶和过氧化氢酶的活力及丙二醛的含量分别采用南京建成生物工程研究所生产的测试盒进行测定,具体操作方法按照说明书进行。

### 1.5 计算公式

摄食率(feeding rate, FR, %)=摄食量/[天数×(初始体质量+终末体质量)/2]×100

增重率(weight gain ratio, WGR, %)=终末体质量-初始体质量/初始体质量×100

特定生长率(specific growth rate, SGR, %/d)=[ln终末体质量-ln初始体质量]/天数×100

成活率(survival rate, SR, %)=终末成活数量/总数量×100

饲料系数(feed conversion ratio, FCR)=摄食量/(终末体质量-初始体质量)

蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER)=体质量增加量/(饲料摄食量×蛋白质含量)

蛋白质累积率(protein productive value, PPV, %)=(终末体质量×体蛋白质含量-初始体质量×体蛋白质含量)/摄入饲料蛋白质×100

肥满度(condition factor, CF, g/cm<sup>3</sup>)=体质量/体长<sup>3</sup>×100

肝体指数(hepatosomatic index, HSI, %)=肝脏质量/体质量×100

脏体指数(viscerasomatic index, VSI, %)=内脏质量/体质量×100

后腿指数(hind leg index, HLI, %)=后腿总质量/体质量×100

## 1.6 数据统计及方差分析

采用SPSS 19.0软件对所得数据分别进行单因素方差分析(One-Way ANOVA)。若差异显著, 则进行Tukey多重比较, 显著性水平为 $P<0.05$ , 数据均采用平均值±标准误(mean±SE)表示。

## 2 结果

### 2.1 饲料中豆粕替代鱼粉对牛蛙生长性能及饲料利用率的影响

实验各组牛蛙的摄食率和成活率均没有显著性差异( $P>0.05$ ); 替代100%鱼粉组的增重率(321.80%)和特定生长率(2.39%/d)显著低于其他组( $P<0.05$ ), 其他实验组之间没有显著差异( $P>0.05$ ); 替代100%鱼粉组饲料系数最高(1.00), 蛋白质效率(2.56)最低( $P<0.05$ ), 但其他实验组间饲料系数和蛋白质效率差异不显著( $P>0.05$ ); 在蛋白质累积率方面, 替代100%鱼粉组(41.09%)显著低于0%组(46.33%)、20%组(46.69%)、40%组(47.47%)和60%组(47.71%)( $P<0.05$ ), 但与替代80%鱼粉组差异不显著( $P>0.05$ )(表3)。

表3 饲料中豆粕替代鱼粉对牛蛙生长性能的影响

Tab. 3 Effect of fish meal replacement by soybean meal on growth performance of bullfrog

指标 parameters	替代水平 replacement level					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
摄食率/% FR	1.93±0.01	1.92±0.02	1.91±0.00	1.89±0.04	1.98±0.03	1.96±0.07
增重率/% WGR	426.06±12.22 <sup>a</sup>	410.75±20.92 <sup>a</sup>	426.98±22.25 <sup>a</sup>	458.37±11.76 <sup>a</sup>	408.32±13.46 <sup>a</sup>	321.80±14.34 <sup>b</sup>
特定生长率/(%/d) SGR	2.76±0.04 <sup>a</sup>	2.74±0.06 <sup>a</sup>	2.76±0.07 <sup>a</sup>	2.91±0.10 <sup>a</sup>	2.71±0.04 <sup>a</sup>	2.39±0.06 <sup>b</sup>
成活率/% SR	100.00±0.00	98.33±1.67	98.33±1.67	100.00±0.00	98.33±1.67	96.66±1.66
饲料系数 FCR	0.89±0.03 <sup>a</sup>	0.88±0.03 <sup>a</sup>	0.89±0.01 <sup>a</sup>	0.88±0.05 <sup>a</sup>	0.90±0.02 <sup>a</sup>	1.00±0.02 <sup>b</sup>
蛋白质效率 PER	2.94±0.04 <sup>a</sup>	2.90±0.07 <sup>a</sup>	2.90±0.10 <sup>a</sup>	2.92±0.17 <sup>a</sup>	2.89±0.10 <sup>a</sup>	2.56±0.07 <sup>b</sup>
蛋白质累积率/% PPV	46.33±2.07 <sup>a</sup>	46.69±0.22 <sup>a</sup>	47.47±0.82 <sup>a</sup>	47.71±2.29 <sup>a</sup>	44.54±1.12 <sup>ab</sup>	41.09±1.10 <sup>b</sup>

注: 同一行数据的肩标不同小写字母表示显著性差异( $P<0.05$ )。下同

Notes: in the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ). The same below

### 2.2 饲料中豆粕替代鱼粉对牛蛙形体指标的影响

饲料中豆粕替代鱼粉对牛蛙肝体指数和脏体指数影响不显著( $P>0.05$ ), 但显著影响牛蛙的肥满度和后腿指数( $P<0.05$ )。随着豆粕替代鱼粉的比例提高, 牛蛙的肥满度呈下降的趋势, 替代100%组显著低于0%和20%组( $P<0.05$ ), 其他实验组之间没有显著差异( $P>0.05$ ); 随着豆粕替代鱼粉比例的提高, 牛蛙后腿指数也随之显著下降, 替代60%组显著低于0%和20%组, 替代80%和100%组显著低于0%、20%和40%组( $P<0.05$ )(表4)。

### 2.3 饲料中豆粕替代鱼粉对牛蛙全体和肌肉组织常规营养成分以及肌肉氨基酸组成的影响

饲料中豆粕替代鱼粉对牛蛙全体水分、灰

分含量和牛蛙后腿肌肉常规营养成分含量影响不显著( $P>0.05$ ), 显著影响牛蛙全体粗蛋白和粗脂肪的含量( $P<0.05$ )。替代80%和100%组的牛蛙全体粗蛋白含量显著低于0%、20%、40%和60%组( $P<0.05$ ); 随着豆粕替代鱼粉比例的提高, 牛蛙全体粗脂肪的含量呈升高的趋势, 替代100%组的牛蛙全体粗脂肪含量显著高于替代0%组( $P<0.05$ ), 与其他实验组差异不显著( $P>0.05$ )(表5)。各实验组牛蛙肌肉的17种氨基酸含量、非必需氨基酸总量、必需氨基酸总量和氨基酸总量差异不显著( $P>0.05$ )(表6)。

### 2.4 饲料中豆粕替代鱼粉对牛蛙肠道消化酶活力的影响

豆粕替代鱼粉显著影响牛蛙肠道蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶的活力( $P<0.05$ )。随着豆粕替代

表4 饲料中豆粕替代鱼粉对牛蛙形体指标的影响

Tab. 4 Effect of fish meal replacement by soybean meal on HSI, VSI, CF and HLI of bullfrog

指标 parameters	替代水平 replacement level					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
肝体指数/% HSI	3.18±0.09	3.15±0.27	3.41±0.14	3.31±0.16	3.38±0.06	3.29±0.43
脏体指数/% VSI	15.12±0.44	14.27±0.79	14.98±0.16	14.33±0.56	15.66±0.34	15.37±1.44
肥满度/(g/cm <sup>3</sup> ) CF	1.43±0.03 <sup>a</sup>	1.39±0.01 <sup>a</sup>	1.37±0.01 <sup>ab</sup>	1.37±0.02 <sup>ab</sup>	1.36±0.01 <sup>ab</sup>	1.30±0.04 <sup>b</sup>
后腿指数/% HLI	41.98±0.48 <sup>a</sup>	41.62±0.30 <sup>ab</sup>	41.03±0.18 <sup>ab</sup>	40.54±0.10 <sup>bcd</sup>	40.14±0.29 <sup>cd</sup>	39.84±0.51 <sup>d</sup>

表5 饲料中豆粕替代鱼粉对牛蛙全体和肌肉组织常规营养成分含量的影响(%湿重)

Tab. 5 Effect of fish meal replacement by soybean meal on body and muscle composition of bullfrog (% wet-weight basis)

指标 parameters	替代水平 replacement level					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
<b>全体 whole-body</b>						
水分 moisture	76.63±0.18	75.88±0.06	75.66±0.21	75.60±0.30	75.65±0.68	75.41±0.52
粗蛋白 crude protein	15.72±0.19 <sup>a</sup>	16.05±0.16 <sup>a</sup>	15.84±0.03 <sup>a</sup>	15.72±0.05 <sup>a</sup>	15.01±0.26 <sup>b</sup>	15.15±0.09 <sup>b</sup>
粗脂肪 crude lipid	4.37±0.02 <sup>a</sup>	4.54±0.10 <sup>ab</sup>	4.95±0.08 <sup>ab</sup>	4.93±0.20 <sup>ab</sup>	5.16±0.33 <sup>ab</sup>	5.29±0.42 <sup>b</sup>
灰分 ash	2.55±0.02	2.67±0.06	2.67±0.12	2.61±0.09	2.61±0.05	2.70±0.04
<b>肌肉 muscle</b>						
水分 moisture	78.65±0.29	79.21±0.15	78.94±0.20	79.07±0.55	78.75±0.26	79.15±0.41
粗蛋白 crude protein	19.34±0.38	19.02±0.02	18.66±0.02	18.87±0.57	19.12±0.24	18.92±0.09
粗脂肪 crude lipid	0.33±0.01	0.33±0.00	0.36±0.04	0.37±0.01	0.35±0.00	0.35±0.01
灰分 ash	0.95±0.02	0.95±0.01	0.95±0.02	0.93±0.02	0.97±0.01	0.94±0.01

鱼粉比例的提高,牛蛙肠道蛋白酶活力显著下降,替代40%、60%、80%和100%组显著低于替代0%和20%组( $P<0.05$ );淀粉酶的活力随着豆粕替代鱼粉的比例提高而增加,替代100%组显著高于替代0%组( $P<0.05$ );脂肪酶的活力随着豆粕替代鱼粉比例的提高,呈先升高后稳定的趋势,替代60%组脂肪酶的活力最强,显著高于替代0%、20%和40%组( $P<0.05$ )(表7)。

## 2.5 饲料中豆粕替代鱼粉对牛蛙肝脏组织超氧化物歧化酶、过氧化氢酶的活力及丙二醛含量的影响

随着豆粕替代比例的升高,牛蛙肝脏超氧化物歧化酶的活力呈逐步下降的趋势,替代80%和100%组显著低于替代0%组( $P<0.05$ );而随着豆粕替代比例的提高,牛蛙肝脏过氧化氢酶的活力呈先上升后下降的趋势,替代100%组显

著低于替代60%组( $P<0.05$ );各实验组丙二醛含量差异不显著( $P>0.05$ )(表8)。

## 3 讨论

### 3.1 饲料中豆粕替代鱼粉对牛蛙生长性能及饲料利用率的影响

从已发表的研究结果来看,以摄食和生长为评价指标,不同养殖动物对植物蛋白替代鱼粉的适应性存在差异。王赛等<sup>[15]</sup>用豆粕替代不同水平鱼粉的饲料饲喂棕点石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*)幼鱼发现,其摄食率均有不同程度的下降。高荣兵等<sup>[16]</sup>研究发现,点篮子鱼(*Siganus guttatus*)摄食率与饲料中豆粕的含量呈负相关,随着豆粕替代比例的提高,摄食率逐渐下降。摄食量的降低与饲料适口性和诱食性密切相关,因植物蛋白的适口性与鱼粉相比较差,可能会造成有些肉食性鱼类的摄食量减少。然而在本

表 6 饲料中豆粕替代鱼粉对牛蛙肌肉氨基酸组成的影响(%干重)

Tab. 6 Effect of fish meal replacement by soybean meal on muscle amino acid composition of bullfrog (% dry-matter basis)

氨基酸 amino acid	替代水平 replacement level					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
丙氨酸 alanine	4.69±0.10	4.69±0.07	4.54±0.03	4.63±0.04	4.62±0.06	4.69±0.03
天门冬氨酸 aspartate	8.69±0.14	8.56±0.01	8.44±0.02	8.54±0.04	8.49±0.11	8.67±0.08
胱氨酸 cysteine	0.49±0.01	0.53±0.03	0.49±0.02	0.51±0.02	0.49±0.01	0.53±0.02
谷氨酸 glutamic	13.67±0.16	13.70±0.35	13.32±0.11	13.48±0.27	13.46±0.23	13.65±0.03
甘氨酸 glycine	3.79±0.08	3.90±0.12	3.89±0.04	4.03±0.10	3.89±0.03	3.99±0.03
脯氨酸 proline	2.98±0.06	3.03±0.05	2.98±0.02	3.06±0.02	2.97±0.03	3.06±0.03
丝氨酸 serine	3.72±0.08	3.75±0.09	3.66±0.07	3.64±0.02	3.61±0.04	3.74±0.05
酪氨酸 tyrosine	3.05±0.04	3.05±0.01	2.99±0.00	3.01±0.02	3.01±0.01	3.06±0.00
精氨酸 arginine	5.53±0.06	5.58±0.08	5.48±0.00	5.52±0.04	5.50±0.08	5.63±0.00
组氨酸 histidine	2.33±0.01	2.33±0.02	2.33±0.01	2.32±0.01	2.31±0.01	2.33±0.01
异亮氨酸 isoleucine	4.17±0.07	4.17±0.04	4.08±0.02	4.07±0.03	4.12±0.01	4.15±0.06
亮氨酸 leucine	6.85±0.13	6.81±0.04	6.65±0.04	6.66±0.01	6.68±0.03	6.79±0.08
赖氨酸 lysine	7.44±0.16	7.43±0.02	7.26±0.04	7.26±0.02	7.25±0.01	7.48±0.03
蛋氨酸 methionine	2.39±0.04	2.43±0.04	2.34±0.03	2.33±0.03	2.35±0.03	2.33±0.01
苯丙氨酸 phenylalanine	3.62±0.10	3.61±0.06	3.51±0.05	3.57±0.04	3.58±0.06	3.59±0.04
苏氨酸 threonine	3.77±0.07	3.78±0.05	3.63±0.05	3.65±0.03	3.66±0.04	3.75±0.03
缬氨酸 valine	4.30±0.10	4.29±0.06	4.09±0.01	4.23±0.06	4.10±0.05	4.18±0.06
非必需氨基酸总量 TNEAA	41.10±0.53	41.21±0.62	40.30±0.18	40.88±0.50	40.54±0.24	41.39±0.23
必需氨基酸总量 TEAA	40.39±0.66	40.43±0.21	39.37±0.17	39.57±0.17	39.60±0.20	40.23±0.24
氨基酸总量 TAA	81.49±1.19	81.64±0.81	79.68±0.34	80.45±0.57	80.14±0.42	81.63±0.42

表 7 饲料中豆粕替代鱼粉对牛蛙肠道消化酶活力的影响

Tab. 7 Effect of fish meal replacement by soybean meal on digestive enzyme in intestinal tract of bullfrog

指标 parameters	替代水平 replacement level					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
蛋白酶/(U/g) protease	17.95±0.11 <sup>a</sup>	15.15±0.83 <sup>a</sup>	11.60±1.65 <sup>b</sup>	11.80±0.83 <sup>b</sup>	9.01±0.61 <sup>b</sup>	9.43±1.05 <sup>b</sup>
淀粉酶/(U/mg prot) amylase	0.39±0.03 <sup>a</sup>	0.45±0.04 <sup>ab</sup>	0.44±0.02 <sup>ab</sup>	0.46±0.02 <sup>ab</sup>	0.47±0.03 <sup>ab</sup>	0.53±0.06 <sup>b</sup>
脂肪酶/(U/g prot) lipase	6.08±0.37 <sup>a</sup>	6.21±0.32 <sup>a</sup>	6.29±0.47 <sup>a</sup>	8.33±0.41 <sup>b</sup>	7.98±0.34 <sup>b</sup>	7.28±0.58 <sup>ab</sup>

表 8 饲料中豆粕替代鱼粉对牛蛙肝脏超氧化物歧化酶、过氧化氢酶的活力和丙二醛含量的影响

Tab. 8 Effect of fish meal replacement by soybean meal on the activities of hepatic super oxide dismutase, catalase and malonaldehyde level of bullfrog

指标 parameters	替代水平 replacement level					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
超氧化物歧化酶/(U/mg prot) SOD	31.50±1.87 <sup>a</sup>	26.43±0.12 <sup>ab</sup>	28.11±0.35 <sup>ab</sup>	28.55±2.28 <sup>ab</sup>	24.23±2.14 <sup>b</sup>	25.14±1.63 <sup>b</sup>
过氧化氢酶/(U/mg prot) CAT	59.17±4.09 <sup>ab</sup>	58.05±3.93 <sup>ab</sup>	61.17±4.61 <sup>ab</sup>	69.76±5.10 <sup>a</sup>	60.20±3.78 <sup>ab</sup>	54.11±2.22 <sup>b</sup>
丙二醛/(mmol/g prot) MDA	8.29±1.52	8.54±0.61	8.62±0.28	8.05±0.12	7.85±1.06	7.36±0.62

实验中各组牛蛙摄食率差异不显著,这可能与牛蛙在自然状态下的杂食性<sup>[17-18]</sup>有关。此外,豆粕全部替代鱼粉对牛蛙的成活率没有影响,与奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*)<sup>[19]</sup>、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)幼鱼<sup>[20]</sup>和胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)<sup>[21]</sup>等的研究结果一致。此外,不同水产动物对饲料植物蛋白的耐受性存在差异,导致不同水产动物饲料鱼粉替代的水平不同。如肉食性鱼类大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)的饲料中鱼粉含量下降至25%时,其增重率、特定生长率和蛋白质效率显著下降,饲料系数显著提高<sup>[3]</sup>;杂食性鱼类鲤(*Cyprinus carpio*)饲料中以豆粕替代鱼粉使饲料中鱼粉含量下降至12.9%时,其特定生长率和蛋白质效率最高<sup>[22]</sup>。而本实验结果显示,饲料中鱼粉含量下降至6%时,不影响牛蛙的生长性能。说明牛蛙对豆粕的耐受能力与杂食性鱼类相似,牛蛙饲料中可使用较高比例的豆粕。然而,本实验中豆粕100%替代鱼粉会导致牛蛙生长性能显著下降,分析虽然实验通过添加外源氨基酸平衡了饲料的必需氨基酸水平,但牛蛙对豆粕的消化率低于鱼粉<sup>[7]</sup>,并且豆粕中抗营养物质可能是牛蛙摄食全豆粕饲料生长性能降低的主要原因。

### 3.2 饲料中豆粕替代鱼粉对牛蛙形体和体组成的影响

饲料的营养水平与原料组分均会对养殖动物的形体与体组成产生影响。有研究表明,豆粕替代鱼粉后,罗非鱼的内脏比例显著升高<sup>[2]</sup>,这可能与鱼粉替代后内脏脂肪的沉积有关。本实验结果显示,各实验组牛蛙的肝体指数和脏体指数差异不显著,这与对紫红笛鲷(*Lutjanus argentimaculatus*)<sup>[23]</sup>、翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis*)<sup>[24]</sup>等的研究结果相似,这说明了豆粕替代鱼粉不会对牛蛙的肝脏和内脏的健康产生影响。而随着豆粕替代比例的提高,牛蛙饱满度和后腿指数显著下降,这可能与高豆粕饲料降低牛蛙对饲料的蛋白质利用率有关。因此在实际生产过程中要综合考虑饲料成本和出肉率,选择最优的饲料配方。

蛋白质的含量是评价动物体营养价值的重要依据,脂肪可以改善肉质的风味和柔嫩度,肌肉中适宜的脂肪含量有利于口感的改善,但肌肉中过高的脂肪含量又不利于饮食的健康。在实验中,各组牛蛙的全体水分和灰分不受豆粕

替代鱼粉的影响,而牛蛙全体蛋白含量随豆粕替代鱼粉比例的提高而降低,Catacutan等<sup>[23]</sup>对紫红笛鲷的研究也发现相似的结果,这可能与蛋白质的消化、吸收与沉积的过程相关。牛蛙全体脂肪含量随豆粕替代鱼粉比例升高而呈逐渐上升趋势,当替代100%鱼粉时,牛蛙全体脂肪含量显著高于全鱼粉组(豆粕比例为0%),这可能是由于随着豆粕替代鱼粉比例的提高,饲料中可消化氨基酸的平衡度下降,相对过量的氨基酸转化为脂肪储存,导致牛蛙全体脂肪含量升高。然而,各实验组牛蛙肌肉的营养成分变化不大,说明豆粕替代鱼粉对牛蛙可食部分的营养组成没有影响,不会降低牛蛙的食用价值。

配合饲料中蛋白质的质量影响必需氨基酸在动物体肌肉中的沉积率,且水产动物体组织的必需氨基酸组成和饲料中氨基酸的含量息息相关,饲料中必需氨基酸组成平衡度越好、含量越高,则水产动物肌肉组织中必需氨基酸含量越高<sup>[25]</sup>。本实验结果显示,豆粕替代鱼粉,且添加晶体蛋氨酸和赖氨酸对牛蛙后腿肌肉中的氨基酸组成、必需氨基酸的含量、非必需氨基酸的含量和总氨基酸的含量影响不显著,说明牛蛙能够很好地利用晶体氨基酸以及豆粕中的氨基酸,实验饲料中的氨基酸组成能够满足肌肉氨基酸沉积的需要。

### 3.3 饲料中豆粕替代鱼粉对牛蛙肠道消化酶活力及肝脏抗氧化能力的影响

消化道中的消化酶常因饲料的营养与原料的差异而变化。在本实验中,豆粕高水平替代鱼粉显著降低了牛蛙肠道蛋白酶的活力,而肠道淀粉酶的活力显著提高,这与对奥尼罗非鱼<sup>[5]</sup>的研究结果基本一致,其原因可能是豆粕中含有的大豆抗原蛋白等抗营养因子抑制了蛋白酶的活力<sup>[26]</sup>。然而豆粕高水平替代鱼粉显著提高了牛蛙肠道淀粉酶的活力,这可能因豆粕中存在大量碳水化合物,这些碳水化合物诱导了牛蛙淀粉酶的分泌,从而提高了肠道淀粉酶活力。Yu等<sup>[27]</sup>用豆粕替代鱼粉饲喂胭脂鱼,发现其肠道脂肪酶活力随着豆粕替代鱼粉比例的提高而显著下降。大菱鲂<sup>[3]</sup>、翘嘴红鲌<sup>[28]</sup>和仿刺参(*Apostichopus japonicus*)幼参<sup>[29]</sup>等水产动物饲料中用豆粕替代鱼粉对其肠道脂肪酶活力的影响不显著。而本实验结果表明,牛蛙肠道脂肪酶的活力随着豆粕替代鱼粉比例的提高而显著增强。已有研究表

明水产动物脂肪酶的活力与其摄入食物的脂肪含量有关<sup>[30-31]</sup>, 虽然本实验饲料外加脂肪水平随着豆粕替代水平的增加而增加, 但各实验饲料组总脂肪含量一致, 豆粕替代鱼粉引起牛蛙肠道脂肪酶活力变化的具体原因还有待于进一步研究。

已有研究表明, 饲料中豆粕替代鱼粉会显著降低水产动物抗氧化能力。黄雄斌等<sup>[6]</sup>发现, 随着豆粕替代鱼粉比例提高, 方正鲫(*Carassius auratus*)血清中超氧化物歧化酶活性显著下降; 饲料中豆粕替代鱼粉还显著降低了奥尼罗非鱼肝脏超氧化物歧化酶活力<sup>[5]</sup>。本研究中, 随着豆粕替代鱼粉比例的提高, 牛蛙肝脏超氧化物歧化酶活力显著下降, 与上述研究结果一致, 这可能与豆粕中含有抗营养因子有关, 有研究表明, 豆粕中抗营养因子会引起动物肠道上皮细胞损伤, 导致动物免疫力和抗氧化能力下降<sup>[32]</sup>。

#### 4 结论

饲料中豆粕替代80%鱼粉不会影响牛蛙的生长性能, 但显著降低牛蛙后腿指数; 豆粕100%替代鱼粉会导致牛蛙肠道蛋白酶活力、肝脏超氧化物歧化酶和过氧化氢酶的活力显著降低, 并显著降低牛蛙的生长性能。综上, 建议牛蛙饲料中豆粕可替代鱼粉的比例为60%~80%。

#### 参考文献:

- [1] Hu L, Yun B, Xue M, *et al.* Effects of fish meal quality and fish meal substitution by animal protein blend on growth performance, flesh quality and liver histology of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*)[J]. *Aquaculture*, 2013, 372-375: 52-61.
- [2] 赵海祥, 冯健, 宁毅, 等. 大豆粕替代鱼粉在吉富罗非鱼稚鱼实用饲料中的效果评价[J]. *动物营养学报*, 2011, 23(10): 1840-1846.
- Zhao H X, Feng J, Ning Y, *et al.* Evaluation of soybean meal as a substitute for fish meal in practical diets for juvenile genetic improvement of fanned tilapia[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(10): 1840-1846 (in Chinese).
- [3] 王海英, 孙谧, 薛长湖, 等. 大菱鲆配合饲料中植物蛋白替代鱼粉的可行性研究[J]. *海洋科学*, 2008, 32(6): 9-12, 34.
- Wang H Y, Sun M, Xue C H, *et al.* The feasibility of partial or total replacement of fish meal by soybean meal in diet for turbot[J]. *Marine Sciences*, 2008, 32(6): 9-12, 34 (in Chinese).
- [4] 王崇, 雷武, 解绶启, 等. 饲料中豆粕替代鱼蛋白对异育银鲫生长、代谢及免疫功能的影响[J]. *水生生物学报*, 2009, 33(4): 740-747.
- Wang C, Lei W, Xie S Q, *et al.* Effect of dietary replacement of fish meal protein by soybean meal protein on growth performance, metabolism and immunity of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*)[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(4): 740-747 (in Chinese).
- [5] Lin S M, Luo L. Effects of different levels of soybean meal inclusion in replacement for fish meal on growth, digestive enzymes and transaminase activities in practical diets for juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. Aureus*[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2011, 168(1-2): 80-87.
- [6] 黄雄斌, 李国富. 方正鲫饲料中发酵豆粕和豆粕替代鱼粉的研究[J]. *湖南农业科学*, 2010(13): 143-145, 148.
- Huang X B, Li G F. The replacement of fish meal by fermented soybean meal and soybean meal in compound diets of *Carassius auratus*[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2010(13): 143-145, 148 (in Chinese).
- [7] Zhang C X, Huang K K, Wang L, *et al.* Apparent digestibility coefficients and amino acid availability of common protein ingredients in the diets of bullfrog, *Rana (Lithobates) catesbeiana*[J]. *Aquaculture*, 2015, 437: 38-45.
- [8] 徐德平, 曾训江, 刘素文, 等. 牛蛙饲料中最适蛋白质含量的研究[J]. *湖南水产*, 1989(6): 15-18.
- Xu D P, Zeng X J, Liu S W, *et al.* Study on dietary optimum protein level for bullfrog[J]. *Hunan Fisheries*, 1989(6): 15-18 (in Chinese).
- [9] Olvera-Novoa M A, Ontiveros-Escutia V M, Flores-Nava A. Optimum protein level for growth in juvenile bullfrog (*Rana catesbeiana* Shaw, 1802)[J]. *Aquaculture*, 2007, 266(1-4): 191-199.
- [10] 皇康康, 张春晓, 王玲, 等. 饲料蛋白质和脂肪水平对牛蛙生长性能的影响[J]. *水产学报*, 2014, 38(6): 877-887.
- Huang K K, Zhang C X, Wang L, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on growth of bullfrog (*Rana catesbeiana*)[J]. *Journal of Fisheries of China*,

- 2014, 38(6): 877-887 (in Chinese).
- [11] 冯伟, 王玲, 张春晓, 等. 饲料脂肪源和乳化剂对牛蛙生长性能、肠道消化酶活力及肝脏生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(6): 1954-1962.
- Feng W, Wang L, Zhang C X, *et al.* Effects of dietary lipid source and emulsifier on growth performance, intestinal digestive enzyme activities and hepatic biochemical indexes of bullfrog, *Rana (Lithobates) catesbeiana*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(6): 1954-1962 (in Chinese).
- [12] 胡田恩, 王玲, 张春晓, 等. 饲料中添加胆汁酸对牛蛙生长性能、体组成和营养物质表观消化率的影响[J]. 水生生物学报, 2015, 39(4): 677-685.
- Hu T E, Wang L, Zhang C X, *et al.* Effects of dietary bile acid supplementation on the growth, whole-body composition and apparent nutrient digestibility of bullfrog (*Rana catesbeiana*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2015, 39(4): 677-685 (in Chinese).
- [13] Zhang C X, Huang K K, Lu K L, *et al.* Effects of different lipid sources on growth performance, body composition and lipid metabolism of bullfrog *Lithobates catesbeiana*[J]. Aquaculture, 2016, 457: 104-108.
- [14] 北京大学生物系生物化学教研室. 生物化学实验指导[M]. 北京: 人民教育出版社, 1979: 73-74.
- Biochemistry teaching and research section, department of biology, Beijing University. Biochemistry Experiment Instruction[M]. Beijing: People's Education Press, 1979: 73-74 (in Chinese).
- [15] 王赛, 陈刚, 张健东, 等. 不同蛋白质源部分替代鱼粉对褐点斑鱼幼鱼生长性能、体组成以及血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2012, 24(1): 160-167.
- Wang S, Chen G, Zhang J D, *et al.* Influence of Partial replacement of fish meal by different protein sources on growth performance, body composition and serum biochemical indices of juvenile *Epinephelus fuscoguttatus*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2012, 24(1): 160-167 (in Chinese).
- [16] 高荣兵, 庄平, 章龙珍, 等. 豆粕替代鱼粉对点篮子鱼生长性能的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(10): 1534-1540.
- Gao R B, Zhuang P, Zhang L Z, *et al.* Effects of replacement of fish meal by soybean meal on growth characters of siganidae (*Siganus guttatus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(10): 1534-1540 (in Chinese).
- [17] Hirai T. Diet composition of introduced bullfrog, *Rana catesbeiana*, in the Mizorogaike Pond of Kyoto, Japan[J]. Ecological Research, 2004, 19(4): 375-380.
- [18] 武正军, 王彦平, 李义明. 浙江东部牛蛙的自然种群及潜在危害[J]. 生物多样性, 2004, 12(4): 441-446.
- Wu Z J, Wang Y P, Li Y M. Natural populations of bullfrog (*Rana catesbeiana*) and their potential threat in the east of Zhejiang province[J]. Biodiversity Science, 2004, 12(4): 441-446 (in Chinese).
- [19] 刘勇, 冷向军, 李小勤, 等. 豆粕替代鱼粉对奥尼罗非鱼生长、表观消化率及血清非特异性免疫的影响[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(12): 95-100.
- Liu Y, Leng X J, Li X Q, *et al.* Effects of replacing fish meal with soybean meal on growth, digestibility and immunity of tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. Aureus*)[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2009, 24(12): 95-100 (in Chinese).
- [20] Yang Y H, Wang Y Y, Lu Y, *et al.* Effect of replacing fish meal with soybean meal on growth, feed utilization and nitrogen and phosphorus excretion on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Aquaculture International, 2010, 19(3): 405-419.
- [21] Yu D H, Gong S Y, Yuan Y C, *et al.* Effect of partial replacement of fish meal with soybean meal and feeding frequency on growth, feed utilization and body composition of juvenile Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus* (Bleeker)[J]. Aquaculture Research, 2013, 44(3): 388-394.
- [22] 孙碧桂. 豆粕替代鱼粉对鲤鱼生长的影响[J]. 内陆水产, 2008(4): 38-41.
- Sun B G. Effect of dietary fish meal replacement by soybean meal on growth of *Cyprinus carpio*[J]. Inland Fisheries, 2008(4): 38-41 (in Chinese).
- [23] Catacutan M R, Pagador G E. Partial replacement of fishmeal by defatted soybean meal in formulated diets for the mangrove red snapper, *Lutjanus argentimaculatus* (Forsskal 1775)[J]. Aquaculture Research, 2004, 35(3): 299-306.
- [24] 王桂芹, 周洪琪, 陈建明, 等. 翘嘴红鲌对饲料蛋白的营养需求及豆粕对鱼粉的适宜替代量[J]. 中国水产科学, 2006, 13(2): 277-285.
- Wang G Q, Zhou H Q, Chen J M, *et al.* Nutrition requirement of dietary protein and optimal replacement

- of fish meal protein by soybean protein in *Erythroculter ilishaeformis* juveniles[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(2): 277-285 (in Chinese).
- [25] Wilson R P, Poe W E. Relationship of whole body and egg essential amino acid patterns to amino acid requirement patterns in channel catfish, *Ictalurus punctatus*[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry, 1985, 80(2): 385-388.
- [26] Kaushik S J, Covès D, Dutto G, *et al.* Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, *Dicentrarchus labrax*[J]. Aquaculture, 2004, 230(1-4): 391-404.
- [27] Yu D H, Gong S Y, Yuan Y C, *et al.* Effects of replacing fish meal with soybean meal on growth, body composition and digestive enzyme activities of juvenile Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus*[J]. Aquaculture Nutrition, 2013, 19(1): 84-90.
- [28] 钱曦, 王桂芹, 周洪琪, 等. 饲料蛋白水平及豆粕替代鱼粉比例对翘嘴红鲌消化酶活性的影响[J]. 动物营养学报, 2007, 19(2): 182-187.
- Qian X, Wang G Q, Zhou H Q, *et al.* Effect of dietary protein on the activities of digestive enzymes of topmouth culter (*Erythroculter ilishaeformis* Bleeker)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2007, 19(2): 182-187 (in Chinese).
- [29] 樊月居, 李晓东, 罗智, 等. 饲料中用豆粕替代鱼粉对仿刺参幼参生长、体成分及消化酶活性的影响[J]. 大连水产学院学报, 2010, 25(1): 71-75.
- Fan Y J, Li X D, Luo Z, *et al.* Effects of replacement of dietary fish meal by soybean meal on growth, body composition and digestive enzyme activities in sea cucumber *Apostichopus japonicus* juveniles[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2010, 25(1): 71-75 (in Chinese).
- [30] Shields R J. Larviculture of marine finfish in Europe[J]. Aquaculture, 2001, 200(1-2): 55-88.
- [31] Fountoulaki E, Alexi M N, Nengas L, *et al.* Effect of diet composition on nutrient digestibility and digestive enzyme levels of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.)[J]. Aquaculture Research, 2005, 36(13): 1243-1251.
- [32] Baeverfjord G, Krogdahl A. Development and regression of soybean meal induced enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., distal intestine: a comparison with the intestines of fasted fish[J]. Journal of Fish Diseases, 1996, 19(5): 375-387.

## Effects of fish meal replacement by soybean meal on growth, body composition, digestive enzyme activities and hepatic biochemical indices of *Rana (Lithobates) catesbeiana*

FANG Weidong<sup>1,2</sup>, LU Kangle<sup>1</sup>, ZHANG Chunxiao<sup>1\*</sup>, WANG Ling<sup>1</sup>, FENG Wei<sup>1</sup>, LUO Yuan<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Healthy Mariculture for the East China Sea, Ministry of Agriculture;  
Key Laboratory for Feed Quality Testing and Safety Evaluation, Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China;  
2. Fujian Provincial Haixin Group Co., Ltd., Zhangzhou 363102, China)

**Abstract:** In order to decrease dietary fish meal content and culture cost, this experiment was conducted to investigate effects of fish meal replacement by soybean meal on growth performance, body composition, digestive enzyme activities and hepatic biochemical indexes of bullfrog, *Rana (Lithobates) catesbeiana*. The basal diet contained 300 g/kg fish meal, then fish meal of basal diet was replaced with 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% soybean meal to formulate six iso-nitrogenous and iso-energetic diets (D1, D2, D3, D4, D5 and D6, respectively). Bullfrogs were fed with six experimental diets for 60 days. The results showed that no significant differences in feeding rate (FR), survival rate (SR), hepatic somatic index (HSI), viscera somatic index (VSI) and hepatic malondialdehyde (MDA) were found among all treatments. Weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR), protein efficiency ratio (PER) and protein productive value (PPV) of bullfrogs fed with no-fish-meal diet (D6) were significantly lower than those of other groups, while the opposite is true for feed conversion ratio (FCR). Condition factor (CF) and hind leg index (HLI) significantly decreased as the dietary soybean meal increased. No-fish-meal group has the lowest CF among all treatments. Proteases activity in intestine significantly declined as dietary soybean meal level increased, while amylase and lipase activities were just opposite. Fish meal replacement by soybean meal had significant effects on hepatic superoxide dismutase (SOD) and catalases activity (CAT). SOD activity was the lowest in bullfrogs fed D5 diet. While, CAT activity was the lowest in bullfrogs fed D6 diet. Based on these results, we suggest that 60%–80% fish meal could be replaced by soybean meal in practical diets of bullfrog.

**Key words:** *Rana (Lithobates) catesbeiana*; fish meal replacement; soybean meal; growth

**Corresponding author:** ZHANG Chunxiao. E-mail: cxzhang@jmu.edu.cn

**Funding projects:** Special Fund for Agro-Scientific Research in the Public Interest (201303053); Scientific Research Project of Education Department of Fujian Province (JA15284)