

# 饲料不同蛋白源对泥鳅稚鱼生长性能、 体氨基酸组成和抗氧化性能的影响

燕 杰 文永辉 王卫民 曹小娟 高 坚

华中农业大学水产学院/农业动物遗传育种与繁育教育部重点实验室/  
农业部淡水生物繁育重点实验室, 武汉 430070

**摘要** 为研究泥鳅早期苗种阶段的饲料最适蛋白源,以鱼粉(FM)、大豆浓缩蛋白(SC)、菜籽粕(CM)及其1:1:1混合蛋白(MIX)作为蛋白源,探究其对泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)稚鱼生长性能、体氨基酸组成和抗氧化性能的影响。选取孵化后20 d初始体质量为(35.0 ± 0.1) mg的泥鳅稚鱼,随机分为4组,每组3个重复,每个重复100尾鱼,投喂试验30 d。结果发现:FM和MIX组泥鳅稚鱼的增重率和摄食量显著高于SC和CM组。各组的摄食量关系为:FM组>MIX组>SC组>CM组( $P<0.05$ ),而各组间的饵料系数和蛋白转化率没有差异;CM组泥鳅稚鱼全鱼体赖氨酸、缬氨酸和总必需氨基酸含量显著低于鱼粉组;SC组的谷胱甘肽过氧化物酶(GPX)活性明显高于其他组( $P<0.05$ ),超氧化物歧化酶(SOD)活性明显低于其他组( $P<0.05$ )。可见,鱼粉是泥鳅稚鱼饲料适宜蛋白源。

**关键词** 泥鳅; 蛋白源; 生长性能; 氨基酸组成; 抗氧化酶活性

**中图分类号** S 963.7; Q 959.46<sup>+</sup>8 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)03-0101-07

泥鳅广泛分布于中国、日本、韩国等国,是东亚国家重要的淡水鱼养殖品种之一。因其营养成分丰富,具有“水中人参”之美称。近年来,人们食品消费水平的提高带动了泥鳅市场的需求。但是,由于环境污染和过度捕捞,野生泥鳅的供应量一直在减少<sup>[1]</sup>。同时,在泥鳅早期养殖阶段的高死亡率限制了泥鳅养殖业的发展。目前为止,对于泥鳅的研究主要集中在繁殖和育种<sup>[2]</sup>、血液检测<sup>[3]</sup>、遗传与进化<sup>[4-5]</sup>、杂交育种<sup>[6]</sup>、消化系统<sup>[7]</sup>和年龄与生长等方面<sup>[8]</sup>。而关于泥鳅营养需求方面的研究还鲜有报道。

蛋白质是水产动物饲料中主要成分之一,不仅提供生物机体蛋白质组成所必需的氨基酸,而且是体内代谢活性物质的重要组成部分<sup>[9-11]</sup>。鱼粉(FM)是水产饲料主要的蛋白源,由于其氨基酸平衡和高消化率,被认为是水产饲料最佳的蛋白源。然而,鱼粉资源有限、价格高昂,因此,其使用量受到了限制<sup>[12]</sup>。近年来,为了实现以非鱼粉蛋白源降低或替代鱼粉而维持水产行业稳定的目标,关于鱼粉

替代的研究受到了越来越多的关注<sup>[13]</sup>。大豆制品因其营养成分相对平衡,消化率高、价格合理和供应稳定,大豆制品中的大豆浓缩蛋白(SC)作为替代鱼粉的蛋白源,在水产饲料方面已经有广泛的研究和应用<sup>[14-18]</sup>。菜籽粕(CM)也是水产饲料中替代鱼粉的重要蛋白源<sup>[19-21]</sup>,它的氨基酸组成适合水产养殖,并且具有和其他植物相似的可消化性<sup>[22]</sup>。这些植物蛋白也有缺点,与鱼粉相比较,植物蛋白难消化,适口性低,含有抗营养因子和较差的氨基酸组成。因此,在饲料中混合蛋白源被广泛采用。

活性氧在正常细胞中是由自由基和氧的衍生物产生的<sup>[23]</sup>。抗氧化酶包括清除过氧化氢的过氧化氢酶(catalase, CAT)和清除超氧化物的超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD),以及清除过氧化氢和脂质过氧化物的谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GPX)。研究表明,饲料中蛋白质成分可能会对动物和鱼类体内抗氧化酶的活性产生影响<sup>[24-26]</sup>。所以,探究不同饲料蛋白源对鱼体的抗氧化能力的影响相当重要。本试验以FM、SC、

收稿日期: 2015-07-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(34113053和31201719)

燕 杰, 硕士研究生, 研究方向: 水产动物营养与饲料学. E-mail: 1130428193@qq.com

通信作者: 高 坚, 博士, 副教授. 研究方向: 水产动物营养与饲料学. E-mail: gaojian@mail.hzau.edu.cn

CM 和 MIX 作为蛋白源,研究其对泥鳅稚鱼生长性能、全身氨基酸组成和抗氧化性能的影响,旨在为泥鳅稚鱼营养需求提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验鱼

野生鱼亲本从湖北省鄂州市附近采集。用流式细胞仪(CyAn ADP,美国)测定亲本倍性。以二倍体泥鳅作为亲本,注射绒毛膜促性腺激素(15 IU/g)促进排卵和排精。在 28 °C 培养 12 h,用 0.1% MS-222 麻醉,授精方法参照 Morishima 等<sup>[27]</sup>的方法。孵化后的养殖方法参照笔者所在实验室传统的方法。试验用鱼采用孵化后 20 d、完全可摄食人工配合饲料,且健康的泥鳅稚鱼。

### 1.2 试验饲料

本试验所用饲料在日本鹿儿岛大学水产动物营养实验室制备。鱼油和大豆卵磷脂为脂肪源。各组饲料中蛋白含量及脂肪含量分别使用干酪素和鱼肝油调平。微粒子饲料的制备参照 Teshima 等<sup>[28]</sup>的方法。首先,各原料粉碎过 0.075 0 mm 筛,其次,脂肪及脂溶性维生素用 60% 乙醇充分溶解并混匀,添加粉末原料混匀直至乙醇完全挥发,用冷冻干燥机干燥 24 h。用电动破碎机(Kagaku Kyoeisha Ltd., Tokyo)制成适口大小的颗粒,过筛后置于 -20 °C 冰箱。饲料的基本组成和基本成分见表 1。各组饲料中氨基酸组成见表 2。

### 1.3 养殖试验管理

孵化后 20 d,试验开始进行。挑选规格一致的泥鳅 1 200 尾,初始平均体质量为 35.0 mg。泥鳅置于养殖系统中(水量 40 L),每个鱼缸 100 尾泥鳅,随机分为 4 组,每组 3 个平行。每天投喂 4 次,时间依次为 08:00、12:00、16:00 和 20:00。每天记录鱼的摄食和死亡情况,饮食颗粒大小根据鱼嘴大小进行调整。投喂时仔细观察泥鳅稚鱼的摄食动作,继续投喂无反应则认为饱食。整个饲养试验中水温控制在(25.7±0.1) °C,溶氧 5.2~7.0 mg/mL,试验持续 30 d。

### 1.4 样本采集

30 d 养殖试验结束后,鱼体饥饿 24 h,测量每个缸的试验鱼总质量,同时计算泥鳅尾数、平均体质量、增重率、特定生长率和存活率;统计每个鱼缸投喂的饲料质量,计算饵料系数。每个重复随机取 20 尾泥鳅保存在 -80 °C,用于酶活性分析;每个重复

表 1 试验饲料配方及基本营养成分

Table 1 Composition and nutrients content of the basal diets

项目 Items	组别 Diet groups			
	鱼粉 FM	大豆浓缩蛋白 SC	菜籽粕 CM	混合蛋白 Mix
饲料组成 Ingredients				
鱼粉 Fish meal	30	—	—	10
大豆浓缩蛋白 Soya concentrate	—	30	—	10
菜籽粕 Canola meal	—	—	30	10
干酪素 Casein	23	30	32	26
纤维素 a-Cellulose	16.5	6.5	4.5	11.5
鱼肝油 Fish liver oil	2	5	5	4
大豆卵磷脂 Soybean lecithin	5	5	5	5
引诱剂 Attractants	1	1	1	1
维生素混合物 Vitamins mixture*	4	4	4	4
矿物质混合物 Minerals mixture*	3	3	3	3
维生素 C Vc	0.5	0.5	0.5	0.5
营养组成 Proximate composition				
水分 Moisture	8.6	8.6	8.3	8.9
粗脂肪 Lipid (dry mass)	8.3	8.2	8.7	8.8
粗灰分 Ash (dry mass)	8.5	6.9	7.7	7.5
粗蛋白 Protein (dry mass)	49.0	47.3	48.9	48.4

注:无机盐预混料及维生素预混料根据 Gao 等<sup>[29]</sup>。Note: Vitamins mixture and minerals mixture are formulated according to Gao et al<sup>[29]</sup>.

表 2 饲料配方氨基酸组成

Table 2 Total amino acid contents (g/100 g dry sample) of test diets

项目 Items	组别 Diet groups			
	鱼粉 FM	大豆浓缩蛋白 SC	菜籽粕 CM	混合蛋白 Mix
氨基酸 Amino acids				
精氨酸 Arginine	1.88	1.77	1.56	1.78
组氨酸 Histidine	1.24	1.05	0.99	1.17
异亮氨酸 Isoleucine	0.88	1.76	1.58	1.90
亮氨酸 Leucine	3.85	3.52	3.19	3.70
赖氨酸 Lysine	3.39	2.89	2.46	3.07
蛋氨酸 Methionine	0.63	0.56	0.53	0.67
苯丙氨酸 Phenylalanine	2.03	1.97	1.70	2.02
苏氨酸 Threonine	1.88	1.65	1.58	1.75
缬氨酸 Valine	2.55	2.27	2.20	2.48
色氨酸 Tryptophan	1.93	1.84	1.59	1.89
总必需氨基酸 Σ EAA	20.26	19.28	17.38	20.43
天冬氨酸 Aspartic acid	3.51	3.42	2.69	3.41
谷氨酸 Glutamic acid	8.52	8.81	7.89	8.95
丝氨酸 Serine	2.15	2.15	1.84	2.18
脯氨酸 Proline	3.44	3.52	3.19	3.41
甘氨酸 Glycine	1.57	1.08	1.20	1.27
丙氨酸 Alanine	1.94	1.36	1.33	1.55
总非必需氨基酸 Σ NEAA	21.13	20.34	18.14	20.77

注:数据为 3 组数据的平均值。Note: Data is the average of three numbers.

剩余的泥鳅冻存在-80℃冰箱,用于氨基酸分析。

### 1.5 指标测定

饲料和鱼体营养组成分析根据 A.O.A.C.<sup>[30]</sup> 分析方法。饲料和鱼体在 120℃ 下干燥至恒质量测定水分含量,粗蛋白采用凯式定氮法测定,粗脂肪采用索氏抽提法,灰分采用马福炉灰化法测定。

饲料和鱼体总氨基酸的测定参照 Teshima 等<sup>[31]</sup> 的高效液相色谱法。

鱼体中超氧化物歧化酶(SOD)活性采用黄嘌呤氧化酶法,过氧化氢酶(CAT)活性采用钼酸铵法测定,谷胱甘肽过氧化物酶(GPX)活性采用测定酶促反应速度的方法测定。均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒进行测定。

生长性能的计算方法参照 Gao 等<sup>[29]</sup> 方法。

### 1.6 数据处理

数据采用 SPSS16.0 统计软件中 One-way ANOVA 方差分析和 Duncan's 均值多重比较法对试验结果差异显著性进行分析处理。 $P < 0.05$ , 认为差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同蛋白源对泥鳅生长性能的影响

饲料不同蛋白源对泥鳅稚鱼生长性能和饲料利用率的影响结果见表 3。经过 30 d 生长,各组间的存活率、饵料系数和蛋白质效率没有显著差异。FM 组的终末鱼体质量、增重率及特定增长率显著高于植物蛋白源的 SC 和 SM 组。然而, MIX 组的这些指标与 FM 没有显著差异。饲喂 FM、SC 和 MIX

表 3 泥鳅稚鱼生长性能

Table 3 Growth performance of loach fingerling

项目 Items	组别 Diet groups			
	鱼粉 FM	大豆浓缩蛋白 SC	菜籽粕 CM	混合蛋白 Mix
初始鱼体质量/mg IW	35.0±0.1	35.0±0.2	35.0±0.0	35.0±0.1
终末鱼体质量/mg FW	176.0±15.5b	133.0±21.1a	110.8±11.1a	146.7±17.7ab
增重率/% BWG	402.8±44.3b	279.9±60.3a	216.5±31.8a	319.2±50.6ab
特定增长率/% SGR	5.37±0.30b	4.42±0.52a	3.83±0.35a	4.76±0.40ab
饵料系数 FCR	3.83±0.77	3.78±0.56	3.94±0.99	3.97±0.62
摄食量/(g/fish) FI	0.53±0.10b	0.34±0.10ab	0.27±0.10a	0.42±0.00ab
蛋白质效率 PER	0.57±0.12	0.60±0.09	0.60±0.13	0.57±0.09
存活率/% SR	82.9±3.2	84.6±8.3	85.9±4.4	85.4±5.1

注:同一行数据有不同字母的两组间有显著差异( $P < 0.05$ )。下表同。Note: The values with different letters in the same row indicate there are significant difference ( $P < 0.05$ ). The same as below.

组的摄食量没有明显差异,但饲喂 CM 组的摄食量明显低于其他 3 组。各组的摄食量关系为: FM 组 > MIX 组 > SC 组 > CM 组。

### 2.2 鱼体组成成分和氨基酸组成分析

各试验组间鱼体的水分、灰分、粗脂肪和粗蛋白没有受到不同蛋白源的影响,详细结果见表 4。全

鱼体的氨基酸组成见表 5。泥鳅稚鱼全身亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸和缬氨酸等必需氨基酸(EAA)和谷氨酸、甘氨酸等非必需氨基酸(NEAA)明显受到饲料不同蛋白源的影响( $P < 0.05$ )。多数情况下,饲喂 FM 组氨基酸含量明显高于饲喂 CM 组( $P < 0.05$ )。

表 4 鱼体的常规组成

Table 4 Whole body proximate analysis of loach fingerling

项目 Items	组别 Diet groups			
	鱼粉 FM	大豆浓缩蛋白 SC	菜籽粕 CM	混合蛋白 Mix
粗脂肪(干质量) Crude Fat (dry weight)	28.2±1.4	28.0±0.8	28.5±0.3	29.0±0.9
水分(鲜质量) Moisture (wet weight)	82.0±0.7	82.7±0.3	84.5±0.9	82.2±0.5
灰分(干质量) Crude ash (dry weight)	9.5±0.8	9.5±0.4	9.3±0.9	9.5±0.7
粗蛋白(干质量) Crude protein(dry weight)	68.1±1.3	71.4±1.0	69.0±1.2	70.0±0.4

表 5 泥鳅稚鱼鱼体氨基酸组成(干质量)

Table 5 Total amino acid contents (dry sample) of whole body of loach fingerling

g/100 g

项目 Items	组别 Diet groups			
	鱼粉 FM	大豆浓缩蛋白 SC	菜籽粕 CM	混合蛋白 Mix
必需氨基酸 EAA				
精氨酸 Arginine	3.89±0.21	3.94±0.13	3.88±0.13	3.92±0.13
组氨酸 Histidine	1.71±0.01	1.63±0.06	1.60±0.04	1.66±0.06
异亮氨酸 Isoleucine	2.82±0.01	2.79±0.05	2.75±0.05	2.81±0.08
亮氨酸 Leucine	5.27±0.09ab	5.23±0.05ab	5.12±0.03a	5.33±0.08b
赖氨酸 Lysine	5.87±0.10b	5.68±0.04a	5.67±0.01a	5.80±0.04ab
蛋氨酸 Methionine	1.55±0.01ab	1.58±0.01ab	1.54±0.02a	1.58±0.00b
苯丙氨酸 Phenylalanine	2.81±0.03	2.74±0.04	2.72±0.03	2.80±0.05
苏氨酸 Threonine	3.89±0.21	3.94±0.13	3.88±0.13	3.92±0.13
缬氨酸 Valine	3.52±0.03c	3.40±0.03b	3.33±0.02a	3.39±0.06ab
色氨酸 Tryptophan	2.28±0.02	2.28±0.04	2.26±0.04	2.31±0.02
总必需氨基酸 Σ EAA	29.28±0.04b	28.92±0.19ab	28.49±0.25a	29.27±0.16b
非必需氨基酸 NEAA				
天冬氨酸 Aspartic acid	6.55±0.19	6.52±0.10	6.34±0.17	6.50±0.12
谷氨酸 Glutamic acid	10.19±0.10b	9.75±0.10a	9.53±0.07a	9.62±0.25a
丝氨酸 Serine	2.84±0.05	2.92±0.05	2.81±0.08	2.87±0.11
脯氨酸 Proline	2.82±0.07	2.86±0.04	2.71±0.09	2.77±0.08
甘氨酸 Glycine	3.42±0.04a	3.62±0.05b	3.43±0.08a	3.39±0.08a
丙氨酸 Alanine	3.81±0.04	3.73±0.07	3.67±0.07	3.73±0.08
总非必需氨基酸 Σ NEAA	31.90±0.09	31.68±0.38	30.75±0.53	31.19±0.69

### 2.3 抗氧化酶活性分析

经过 30 d 投喂试验后,不同蛋白源显著影响了泥鳅稚鱼鱼体 CAT、SOD 和 GPX 的酶活性(图 1)。饲喂 FM 和 CM 组的泥鳅 CAT 含量明显高于饲喂 MIX 组( $P>0.05$ )。饲喂 SC 和 CM 组的 SOD 和 GPX 含量分别显著低于其他试验组( $P<0.05$ )。

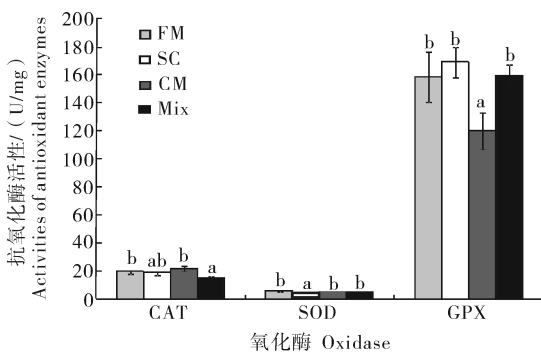


图 1 泥鳅稚鱼全鱼体抗氧化酶活性

Fig.1 Activities of antioxidant enzymes of loach fingerling

## 3 讨论

### 3.1 不同蛋白源对泥鳅生长性能的影响

本试验结果表明,FM 组的生长性能显著高于其他 2 种植物蛋白源(SC 组和 CM 组),这表明了饲料 FM 的添加可以提高泥鳅稚鱼的生长性能。FM 和 MIX 组的生长性能没有明显差异,FM 组的增重

率( $402.8\% \pm 44.3\%$ )高于 MIX 组( $319.2\% \pm 50.6\%$ ),这可能是因为鱼粉所含的蛋白,易被泥鳅稚鱼消化吸收,可促进泥鳅稚鱼的生长。在本研究中,泥鳅稚鱼的摄食量和增重率具有相似的趋势(FM>MIX>SC>CM),分析低增重率也可能与摄食量有关系。菜籽粕、大豆浓缩蛋白及其副产品之类的植物蛋白已经广泛应用到水产养殖中。但是由于这些蛋白的适口性差,难被水产动物摄食吸收。且有研究表明,添加高含量的植物蛋白严重影响了饲料的适口性,从而降低了摄食量<sup>[16,32]</sup>,摄食量的增加可以提高鱼体生长所需的蛋白质与能量<sup>[33]</sup>。因此,我们推断泥鳅主要靠嗅觉选择食物,低含量或不含动物蛋白的饲料(FM)降低了其摄食量,从而导致了生长缓慢。另外,本试验的饲料系数和鱼体蛋白效率结果显示,植物蛋白源 SC 组和 CM 组与 FM 组没有显著差异,表明了泥鳅稚鱼对饲料中不同蛋白源具有相同的利用效率。但是,本试验中各试验组饲料系数接近于 4,高出笔者所在实验室在泥鳅仔稚鱼的其他研究报告<sup>[29]</sup>,可能是由于在饲养过程中投喂不当或者饲料配方需要进一步改善。综上所述,与 SC 和 CM 组比较,FM 组的高增重率主要是因为 FM 的添加促进了泥鳅稚鱼的摄食,从而提高泥鳅增重率。

大多数具有潜在替代价值的植物蛋白都含有多



种抗营养因子。抗营养物质被定义为由物质自身或者其代谢产物产生,干扰食物利用率和动物的健康及生产的物质<sup>[34]</sup>。关于评估大豆中抗营养因子对鱼类生理影响的研究很少。Iwashita等<sup>[35]</sup>发现饲喂大豆的虹鳟的小肠末端缺乏微绒毛和胞饮液泡,并且上皮细胞脂肪变性。Cheng等<sup>[20]</sup>发现由于大豆浓缩蛋白中抗营养因子的出现,随着饲料中大豆浓缩蛋白含量增加,日本花鲈蛋白酶、脂肪酶及淀粉酶活性明显降低。蔡英华<sup>[36]</sup>发现大豆中的抗营养因子抑制了牙鲆的生长和蛋白利用率。本试验中由于鱼太小,无法收集粪便,试验饲料中的抗营养因子含量无法测定,关于抗营养因子和各蛋白消化率需要进一步研究。

### 3.2 不同蛋白源对鱼体氨基酸组成的影响

植物蛋白中缺乏赖氨酸和蛋氨酸等必需氨基酸<sup>[37]</sup>。赖氨酸和蛋氨酸的补给可以填补必需氨基酸和其他氨基酸的缺乏,并且能够提高植物蛋白饲料的适口性<sup>[38]</sup>。在本试验中,饲喂CM组泥鳅稚鱼的赖氨酸和缬氨酸这2种必需氨基酸含量明显低于饲喂FM组。至今还没有泥鳅对这些氨基酸需求量的相关报道,然而大部分鱼类对赖氨酸和缬氨酸的需求量分别在1.3%~3.2%<sup>[39-41]</sup>和1.3%~1.5%<sup>[42-44]</sup>范围内。本试验各组饲料中赖氨酸和缬氨酸含量分别在2.46%~3.39%和2.20%~2.55%范围内,已经远超过大部分鱼类的需求量,表明了各组饲料中的氨基酸组成满足了泥鳅稚鱼的需求量。

### 3.3 不同蛋白源对泥鳅稚鱼抗氧化酶活性的影响

当生物机体产生的ROS超过机体的抗氧化防御系统时,会产生氧化应激反应<sup>[45]</sup>。SOD值是具有代表性的氧化应激指标,CAT可以迅速和H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>结合将其分解为H<sub>2</sub>O和O<sub>2</sub>,GPX可以分解H<sub>2</sub>O<sub>2</sub><sup>[46]</sup>。本试验中,MIX组的CAT活性显著低于FM和SC组;SC组的SOD活性显著低于其他3组;CM组的GPX活性显著低于其他3组,虽然很难解释各蛋白源对泥鳅稚鱼全鱼体抗氧化酶活性影响的原因,本试验结果表明了几种蛋白源分别对CAT、SOD和GPX活性产生了不同的影响。在其他研究中也同样发现了不一致的结果,Dong等<sup>[26]</sup>发现饲喂蛆虫组鲶鱼肝脏的SOD和GPX含量明显低于饲喂鱼粉组。相反,饲喂蛆虫组的异育银鲫肝脏的SOD和GPX含量明显高于饲喂鱼粉组<sup>[26]</sup>。在哺乳动物试验中,Yahia等<sup>[24]</sup>研究发现饲喂鱼粉组的老鼠各个组织的SOD含量都低于饲喂植物蛋

白组。分析鱼体抗氧化酶活性是在不同组织和不同饲育时间变化,因此,关于抗氧化酶活性的研究需要采集在不同取样时间和不同组织。

综上所述,本研究对泥鳅稚鱼饲料最适蛋白源进行研究,发现饲料中FM的添加可以促进泥鳅稚鱼摄食量,从而提高生长性能。由于试验鱼太小还无法测定不同蛋白源下的消化率,但是通过饲料效率和蛋白转化率分析泥鳅稚鱼对各组饲料中蛋白的利用率相似。虽然SC组鱼体中的赖氨酸和缬氨酸比FM组显著降低,但是饲料中的赖氨酸和缬氨酸含量高于大多数鱼类的需求量,推测该必需氨基酸满足了泥鳅稚鱼的需求。各组饲料对全鱼体抗氧化酶活性产生了影响,还需要进一步分析不同饲育时间和不同组织的抗氧化酶活性。因此,本试验结果表明鱼粉是泥鳅稚鱼饲料适宜蛋白源,作为泥鳅稚鱼饲料蛋白源可以提高其生长性能,为泥鳅早期苗种专用饲料的研究提供了科学依据。

## 参 考 文 献

- [1] 翟旭亮.泥鳅繁殖生物学和人工繁殖技术研究[D].重庆:西南大学,2011.
- [2] 韩晓磊,朱绿定,韩曜平等.泥鳅亲本培育和规模化人工繁殖技术[J].科学养鱼,2015(3):6-7.
- [3] ZHOU X Y, LI M Y, ABBAS K, et al. Comparison of haematology and serum biochemistry of cultured and wild dojo loach *Misgurnus anguillicaudatus* [J]. *Fish Physiol Biochem*, 2009, 35:435-441.
- [4] MORISHIMA K, NAKAYAMA I, ARAI K, et al. Genetic linkage map of the loach *Misgurnus anguillicaudatus* (Teleostei: Cobitidae) [J]. *Genetica*, 2008, 132:227-241.
- [5] ZHANG X, WANG W, HUANG S, et al. The complete mitochondrial genomes of natural diploid and tetraploid loaches *Misgurnus anguillicaudatus* (Cypriniformes: Cobitidae) [J]. *Mitochondr DNA*, 2014, 3: 196-197.
- [6] YOU C, YU X, TONG J. Detection of hybridization between two loach species (*Paramisgurnus dabryanus* and *Misgurnus anguillicaudatus*) in wild populations [J]. *Environmental biology of fishes*, 2009, 86(1): 65-71.
- [7] 张建业,杨瑞斌,杨学芬,等.泥鳅仔稚鱼消化道黏液细胞的发育[J].华中农业大学学报,2014,33(4):93-98.
- [8] 黄松钱,王也可,赵婷,等.河南地区大鳞副泥鳅和泥鳅的年龄与生长[J].华中农业大学学报,2014,33(5):93-98.
- [9] MUNDHEIM H, AKSNES A, HOPE B. Growth, feed efficiency and digestibility in salmon (*Salmo salar* L.) fed different dietary proportions of vegetable protein sources in combination with two fish meal qualities [J]. *Aquaculture*, 2004, 237: 315-331.

- [10] GATLIN D M, BARROWS E T, BROWN P, et al. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review [J]. *Aquac Res*, 2007, 38: 551-579.
- [11] COLLINS S A, OVERLAND M, SKREDE A, et al. Effect of plant protein sources on growth rate in salmonids; meta-analysis of dietary inclusion of soybean, pea and canola/rapeseed meals and protein concentrates [J]. *Aquaculture*, 2013, 400/401: 85-100.
- [12] 文远红, 黄燕华, 王国霞, 等. 蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼抗氧化指标、消化酶活性及前肠、肝胰脏组织结构的影响 [J]. *饲料工业*, 2015, 36(4): 29-35.
- [13] MAMAUAGRE, KOSHIO S, ISHIKAWA M, et al. Soy peptide inclusion levels influence the growth performance, proteolytic enzyme activities, blood biochemical parameters and body composition of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* [J]. *Aquaculture*, 2011, 321: 252-258.
- [14] SAITOH S, KOSHIO S, HARADA H, et al. The effects of extruded soybean meal on growth and digestibility of kuruma shrimp, *Penaeus japonicus* juveniles [J]. *Suisanzoshoku*, 2000, 48: 649-655.
- [15] CARTER C G, HAULER R C. Fish meal replacement by plant meals in extruded feeds for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. [J]. *Aquaculture*, 2000, 185: 299-311.
- [16] DU L, NIU C J. Effects of dietary substitution of soya bean meal for fish meal on consumption, growth, and metabolism of juvenile giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* [J]. *Aquacult Nutr*, 2003, 9: 139-143.
- [17] KADER M A, KOSHIO S. Effect of composite mixture of sea-food by-products and soybean proteins in replacement of fish-meal on the performance of red sea bream, *Pagrus major* [J]. *Aquaculture*, 2012, 368: 95-102.
- [18] BULBUL M, KOSHIO S, ISHIKAWA M, et al. Performance of kuruma shrimp, *Marsupenaeus japonicus* fed diets replacing fishmeal with a combination of plant protein meals [J]. *Aquaculture*, 2013, 372: 45-51.
- [19] 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.
- [20] CHENG Z Y, AI Q H, MAI K S, et al. Effects of dietary canola meal on growth performance, digestion and metabolism of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* [J]. *Aquaculture*, 2010, 305: 102-108.
- [21] LUO Y W, AI Q H, MAI K S, et al. Effects of dietary rapeseed meal on growth performance, digestion and protein metabolism in relation to gene expression of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture*, 2012, 368/369: 109-116.
- [22] WEBSTER C D, THOMPSON K R, MORGAN A M, et al. Use of hempseed meal, poultry by-product meal, and canola meal in practical diets without fish meal for sunshine bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) [J]. *Aquaculture*, 2000, 188: 299-309.
- [23] MATE J M. Effects of antioxidant enzymes in the molecular control of reactive oxygen species toxicology [J]. *Toxicology*, 2000, 153: 83-104.
- [24] YAHIA D A, MADANI S, PROST E, et al. Tissue antioxidant status differs in spontaneously hypertensive rats fed fish protein or casein [J]. *J Nutr*, 2003, 133: 479-482.
- [25] OGUNJI J O, NIMPTSCH J, WIEGAND C, et al. Evaluation of the influence of housefly maggot meal (maggot) diets on catalase, glutathione S-transferase and glycogen concentration in the liver of *Oreochromis niloticus* fingerling [J]. *Comp Biochem Phys A*, 2007, 147: 942-947.
- [26] DONG G F, YANG Y O, SONG X M, et al. Comparative effects of dietary supplementation with maggot meal and soybean meal in gibel carp (*Carassius auratus* gibelio) and darkbarbel catfish (*Pelteobagrus vachelli*): growth performance and antioxidant responses [J]. *Aquacult Nutr*, 2013, 19: 543-554.
- [27] MORISHIMA K, FUJIMOTO T, SATO M, et al. Cold-shock eliminates female nucleus in fertilized eggs to induce androgenesis in the loach (*Misgurnus anguillicaudatus*), a teleost fish [J]. *BMC Biotechnol*, 2011, 11(1): 116.
- [28] TESHIMA S, KANAZAWA A, SAKAMOTO M. Microparticulate diets for the larvae of aquatic animals [J]. Mini review data file of fisheries research, 1982, 2: 67-86.
- [29] GAO J, KOSHIO S, WANG W, et al. Effects of dietary phospholipid levels on growth performance, fatty acid composition and antioxidant responses of Dojo loach *Misgurnus anguillicaudatus* larvae [J]. *Aquaculture*, 2014, 426: 304-309.
- [30] A.O.A.C. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists [M]. [S.l.]: Association of Official Analytical Chemists, 1990.
- [31] TESHIMA S, KANAZAWA A, YAMASHITA M. Dietary value of several proteins and supplemental amino acids for larvae of the prawn, *Penaeus japonicus* [J]. *Aquaculture*, 1986, 51: 225-235.
- [32] KADER M A, KOSHIO S, ISHIKAWA M, et al. Growth, feed efficiency and digestibility in salmon (*Salmo salar* L.) fed different dietary proportions of vegetable protein sources in combination with two fish meal qualities [J]. *Aquaculture*, 2010, 308: 136-144.
- [33] MAMAUAG R E P, GAO J, NGUYEN B T, et al. Supplementations of dl-methionine and methionine dipeptide in diets are effective for the development and growth of larvae and juvenile red sea bream, *Pagrus major* [J]. *World Aquacult Soc*, 2012, 43: 362-374.
- [34] MAKKARA H P S, KUMARA V, OYELEYEA O, et al. A new non-toxic *Jatropha* species: physical properties and chemical constituents including toxic and antinutritional factors of seeds [J]. *Food chemistry*, 2011, 125: 63-71.
- [35] IWASHITA Y, YAMAMOTO T, FURUITA H, et al. Influence of certain soybean antinutritional factors supplemented to a casein-based semipurified diet on intestinal and liver mor-

- phology in fingerling rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. Fisheries Sci, 2008, 74:1075-1082.
- [36] 蔡英华.几种大豆抗营养因子对牙鲆生长和消化生理的影响[D].青岛:中国海洋大学,2006.
- [37] ALAM M S, TESHIMA S, KOSHIO S, et al. Supplemental effects of coated methionine and/or lysine to soy protein isolate diet for juvenile kuruma shrimp, *Marsupenaeus japonicas* [J]. Aquaculture, 2005, 248:13-19.
- [38] TAKAGI S, SHIMENO S, HOSOKAWA H, et al. Effect of lysine and methionine supplementation to a soy protein concentrate diet for red sea bream *Pagrus major* [J]. Fish Sci, 2001, 67:1088-1096.
- [39] MARCOULI P A, ALEXIS M N, ANDRIOPOULOU A, et al. Dietary lysine requirement of juvenile gilthead seabream *Sparus aurata* L [J]. Aquacult Nutr, 2006, 12:25-33.
- [40] ZHOU F, SHAO J, XU R, et al. Quantitative l-lysine requirement of juvenile black sea bream (*Sparus macrocephalus*) [J]. Aquacult Nutr, 2010, 16:194-204.
- [41] KHAN M A, ABIDI S F. Effect of dietary L-lysine levels on growth, feed conversion, lysine retention efficiency and haematological indices of *Heteropneustes fossilis* (Bloch) fry [J]. Aquacult Nutr, 2011, 17:657-667.
- [42] ABIDI S F, KHAN M A. Dietary valine requirement of Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton) fry [J]. J Appl Ichth, 2004, 2:118-122.
- [43] BAE J Y, PARK G, YUN H, et al. The dietary valine requirement for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, can be estimated by plasma free valine and ammonia concentrations after dorsal aorta cannulation [J]. J Appl Anim Res, 2012, 40:73-79.
- [44] DONG M, FENG L, KUANG S Y, et al. Growth, body composition, intestinal enzyme activities and microflora of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) fed graded levels of dietary valine [J]. Aquacult Nutr, 2013, 19:1-14.
- [45] AGARWAL A, PRABAKARAN S A, SAID T M. Prevention of oxidative stress injury to sperm [J]. J Androl, 2006, 26:654-660.
- [46] HARRIS E D. Regulation of antioxidant enzymes [J]. FASEB J, 1992, 6:26.

## Effects of different dietary protein sources on growth performance, amino acid composition and antioxidant ability of loach, *Misgurnus anguillilcaudatus* fingerling

YAN Jie WEN Yonghui WANG Weimin CAO Xiaojuan GAO Jian

*College of Fisheries/Key Laboratory of Agricultural Animal Genetics, Breeding and Reproduction of Ministry of Education/ Key Lab of Freshwater Animal Breeding, Ministry of Agriculture, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

**Abstract** A feeding trial was conducted to investigate effects of fish meal (FM), soybean concentrate (SC), canola meal (CM) and a combination of these protein sources at ratio 1 : 1 : 1 (Mix) on growth performance, whole amino acid compositions and antioxidant ability of loach, *Misgurnus anguillilcaudatus* fingerling. A total of 1 200 loach with an average initial weight of  $35.0 \pm 0.1$  mg were fed on the test diets for 30 d in a flow-through fresh water system. The results showed that the body weight gain (BWG) of FM and Mix groups was significantly higher than those of SC and CM groups. Moreover, feed intake (FI) of the fingerling in FM was higher than that of the plant protein groups. Whole body lysine and valine concentrations in essential amino acid of the fingerling fed on CM were significantly lower than those fed on FM. In the term of antioxidant enzyme activities, the fingerling in SC group had higher glutathione peroxidase activity and lower superoxide dismutase activity compared with loach in the FM, CM and Mix diets groups. In conclusion, fish meal is suitable protein source for loach fingerling.

**Keywords** *Misgurnus anguillilcaudatus*; protein sources; growth performance; amino acid composition; antioxidant enzyme activities