

# 饲料中不同水解蛋白对鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*) 幼鱼鱼体及组织脂肪含量的影响\*

曹林<sup>1,2</sup> 张婷婷<sup>1,4</sup> 徐后国<sup>1</sup> 郑珂珂<sup>1</sup> 梁萌青<sup>1,3①</sup>

(1. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071;  
2. 上海海洋大学水产生命学院 上海 201306; 3. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋渔业科学与食物产出过程  
功能实验室 青岛 266071; 4. 大连海洋大学水产生命学院 大连 116023)

**摘要** 本研究通过 8 周的摄食生长实验来探讨高植物蛋白饲料中添加不同类型的水解蛋白对鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)幼鱼(初始平均体重为 31.99 g)鱼体及组织脂肪含量的影响。实验设 4 个等氮等能的饲料处理组, 对照组含有 30% 的鱼粉, 通过在对照组饲料基础上分别添加水解猪血蛋白、水解豆粕蛋白和水解酵母蛋白替代 10% 的鱼粉来获得不同类型的实验组饲料, 即水解猪血蛋白组、水解豆粕蛋白组和水解酵母蛋白组。养殖实验在近海浮式网箱中进行, 每组饲料投喂 3 个重复的养殖网箱, 每个网箱 30 尾鱼。实验结果显示, 高植物蛋白饲料中水解猪血蛋白、水解豆粕蛋白及水解酵母蛋白并没有对鲈鱼幼鱼的鱼体、肝脏、肌肉和内脏的脂肪含量产生显著影响。但与对照组相比, 添加水解酵母蛋白的处理组显著降低了鲈鱼幼鱼的血清甘油三酯、总胆固醇及低密度脂蛋白胆固醇含量( $P < 0.05$ )。水解酵母蛋白替代鱼粉显著提高了鲈鱼幼鱼肌肉中 C20:1n-9 的含量, 而水解豆粕蛋白和水解酵母蛋白显著降低了肌肉中 C22:5n-3 的含量( $P < 0.05$ )。与对照组相比, 水解酵母蛋白显著降低了血清中 C20:5n-3 的含量( $P < 0.05$ )。在腹部脂肪组织中, 与对照组相比, 猪血、豆粕及酵母蛋白水解物替代鱼粉极显著提高了饱和脂肪酸、十八碳及十六碳单不饱和脂肪酸、亚油酸及亚麻酸的含量, 而极显著降低了 C20:1n-9、C20:4n-6、C22:5n-3 和 C22:6n-3 的含量( $P < 0.01$ )。本研究表明, 高植物蛋白饲料中猪血、豆粕及酵母蛋白水解物替代 10% 的饲料鱼粉并未有效调节鲈鱼幼鱼鱼体、肝脏、肌肉及内脏的脂肪累积, 但水解酵母蛋白在一定程度上改善了血清甘油三酯和胆固醇的代谢。水解蛋白对鲈鱼幼鱼脂肪酸组成的调节因水解蛋白的类型及鱼体组织类型而异。本研究是国内外首次系统研究不同类型水解蛋白对养殖鱼类脂肪累积的调节作用, 对该领域相关研究具有重要借鉴和参考意义。

**关键词** 鲈鱼; 高植物蛋白饲料; 水解蛋白; 脂肪累积

**中图分类号** S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2017)03-0086-10

在当今水产养殖行业中, 鱼体脂肪的过度沉积已经成为影响我国水产养殖业持续发展的一个重要因素(艾庆辉, 2015)。由于受水环境、土地等水产养殖资源的限制, 高密度养殖成为必然趋势, 鱼类游泳运动受到限制, 加上目前对人工配合饲料营养组成研究

仍然不够精确, 从而导致了鱼体脂肪的过度沉积。鱼体脂肪的过度沉积会严重损害鱼的健康, 不但引起脂肪肝等病变, 还会严重损害鱼类的免疫功能和抗力。另外, 脂肪在鱼体腹部的过度沉积还会造成养殖鱼的“大肚子”现象, 大大降低市场价值, 同时, 肌

\* 国家自然科学基金项目(31172423)和公益性行业(农业)专项(201303053)共同资助[This work was supported by National Natural Science Foundation (31172423) and Special Fund for Agro-Scientific Research in the Public Interest (201303053)].

曹林, E-mail: 879272902@qq.com

① 通讯作者: 梁萌青, 研究员, E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2016-03-28, 收修改稿日期: 2016-04-20

肉中脂肪的过度沉积还会影响其营养价值和口感, 从而影响鱼的品质(Hillestad *et al.*, 1994; 梁洪等, 2007; 向泉等, 2013; 韩光明等, 2011; 孙瑞健等, 2015)。因此, 研究如何降低养殖鱼类的脂肪沉积已经成为当前水产养殖的一个迫切任务。采用“大体积低密度养殖”, 通过增强鱼类运动来降脂的方法受到目前养殖资源环境匮乏的制约, 因此, 改善饲料配方、调节饲料营养组成是调控养殖鱼类脂肪沉积的根本途径。

本实验室之前的研究工作发现, 以低值小杂鱼或水产品加工厂的下脚料为原料, 通过蛋白酶水解后得到的水解鱼蛋白, 不但具有诱食和促进鱼类生长的作用(Aksnes *et al.*, 2006; Kotzamanis *et al.*, 2007), 而且在高植物蛋白饲料中使用还具有调节鱼体脂肪沉积的作用(郑珂珂等, 2011; 卫育良等, 2014; 牟玉超等, 2016)。Xu 等(2016)对大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)幼鱼的研究发现, 在含 15%鱼粉的高植物蛋白饲料中, 以水解鱼蛋白替代饲料中 7%或者 14%的鱼粉, 能够有效降低鱼体、内脏及血清中的脂肪含量。而且, 高植物蛋白饲料中添加水解鱼蛋白降低动物体脂肪沉积的现象在哺乳动物及其他鱼类的研究中也具有类似发现。Espe 等(2012)对大西洋鲑(*Salmo salar*)的研究表明, 在高植物蛋白饲料中应用水解鱼蛋白能够降低大西洋鲑的腹部脂肪含量; 在哺乳动物中, Liaset 等(2009)也发现水解鱼蛋白具有类似的降低脂肪沉积的作用。

基于以上研究结果, 本实验设计的目的是在前期水解鱼蛋白研究结果的基础上, 继续探讨其他类型的水解蛋白(即水解猪血红蛋白、水解豆粕蛋白和水解酵母蛋白)在高植物蛋白饲料中的使用是否也同样具有降低鱼体脂肪沉积的作用。从而一方面为通过营养学途径调控鱼类脂肪沉积提供新的思路, 另一方面促进低值蛋白的高值化利用(通过蛋白酶解还可降低低值蛋白原料的营养抗性)。本研究选取我国重要的海水养殖种类鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)为研究对象, 以期为解决鲈鱼养殖过程中的脂肪过度沉积问题提供新的方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 水解蛋白的制备

本研究水解蛋白的来源为猪血粉、豆粕及酵母粉, 水解蛋白的制备参考 Zheng 等(2012), 选用 2 种蛋白酶(碱性蛋白酶和风味蛋白酶)进行双酶水解, 离心得到粗滤酶解液。将所得酶解液用 Pellicon 2 超

滤膜堆装置(1000 Da)超滤, 得到低分子水解蛋白, 使用旋转蒸发仪(BUCHI)浓缩得到浓缩液, 然后将其冷冻干燥后保存备用。

### 1.2 实验饲料

本研究以鱼粉、植物蛋白(豆粕、玉米蛋白粉、谷朊粉)及蛋白水解物为蛋白源, 以鱼油为脂肪源, 制作成 4 种等氮等能的饲料(表 1)。以不添加水解蛋白的饲料为对照组(C)。在基础饲料中分别添加水解猪血红蛋白、水解豆粕蛋白及水解酵母蛋白来替代饲料中 10%鱼粉中的蛋白, 制作另外 3 种实验饲料。调整高筋粉的添加量来调平配方。

所有原料粉碎过 80 目筛, 按照饲料配方(表 1)将原料混合, 制成粒径为 3 mm 的饲料, 用烘箱 55℃下 12 h 烘干, -20℃保存备用。

### 1.3 实验鱼养殖管理

实验鱼为从宁波海湾育苗场购买的同一批孵化的鱼苗, 实验开始前, 在大网箱(3.0 m×3.0 m×3.0 m)中投喂对照组饲料暂养 7 d, 以适应养殖水环境和实验饲料。

实验开始前, 将实验鱼饥饿 24 h, 然后用丁香酚麻醉(1:10000), 称重。将大小均一的鱼(初始平均体重为 31.99 g)随机分到 12 个海水浮式网箱(1.5 m×1.5 m×2.0 m)中, 每箱 30 尾; 每组饲料投喂 3 个重复网箱; 每天早晚(06:00 和 18:00)各投喂 1 次; 实验持续 8 周; 实验期间, 水温保持在 28–29.5℃, 盐度为 29–31, 溶解氧为 6 mg/L。

### 1.4 样品采集及检测分析

实验结束时, 停食 24 h, 每桶随机取 3 尾鱼, 保存于-20℃, 用于鱼体脂肪及水分分析; 每桶另外随机取 3 尾鱼, 用 27 号针和 1 ml 注射器从尾静脉取血, 血液放入消过毒的离心管, 室温凝结 2 h 后, 4℃凝结 4–6 h; 4℃, 836 × g 离心 10 min, 将血清吸出, -80℃保存备用。取血结束后, 取肌肉、肝脏及内脏用于脂肪及脂肪酸成分分析, 样品保存于-80℃备用。

饲料和鱼体样品在 105℃烘干至恒重, 通过失重法测定水分含量。鱼体及部分组织脂肪使用索氏抽提法测定。样品量较少的组织采用氯仿-甲醇法测定。鱼体组织的脂肪酸含量测定方法参考 Mourente 等(1999), 气相色谱法(GS, HP6890, 美国)稍作改进。

### 1.5 数据计算与统计

肥满度、肝脏指数及内脏指数的计算公式如下:

表1 饲料配方组成(干物质, %)  
Tab.1 Formulation and compositions of experimental diets (Dry matter, %)

原料 Ingredients	饲料处理 Dietary treatments			
	对照 Control	水解猪血蛋白 Pig blood protein hydrolysate	水解豆粕蛋白 Soy protein hydrolysate	水解酵母蛋白 Yeast protein hydrolysate
鱼粉 Fish meal	30	20	20	20
猪血水解蛋白 Pig blood protein hydrolysate		7		
豆粕水解蛋白 Soybean meal protein hydrolysate			12.5	
酵母水解蛋白 Yeast protein hydrolysate				14.5
豆粕 Soybean meal	13	13	13	13
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	12	12	12	12
谷朊粉 Wheat gluten	9	9	9	9
高筋粉 High gluten flour	11.1	13.1	7.6	5.6
小麦粉 Wheat meal	10	10	10	10
鱼油 Fish oil	7.5	8.5	8.5	8.5
卵磷脂 Soybean lecithin	1	1	1	1
维生素预混料 Vitamin premix <sup>1</sup>	1.5	1.5	1.5	1.5
矿物质预混料 Mineral premix <sup>2</sup>	1.5	1.5	1.5	1.5
磷酸二氢钙 CaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.5	1.5	1.5	1.5
50%氯化胆碱 50% Choline chloride	1	1	1	1
维生素 C Vitamin C	0.5	0.5	0.5	0.5
乙氧基喹啉 Ethoxyquin	0.05	0.05	0.05	0.05
富马酸 Fumaric acid	0.05	0.05	0.05	0.05
甜菜碱 Betaine	0.15	0.15	0.15	0.15
甘氨酸 Glycine	0.15	0.15	0.15	0.15
营养水平 Proximate composition				
水分 Moisture	5.80	5.07	5.15	5.23
粗蛋白 Crude protein	44.20	43.88	43.97	43.95
粗脂肪 Crude lipid	10.99	11.25	11.27	11.30
灰分 Ash	10.41	8.73	10.36	10.63
总能 Gross energy (kJ/g)	19.70	20.15	19.87	19.81

1. 维生素混合料(mg/kg or g/kg 饲料): 维生素 D 5 mg; 核黄素 45 mg; 生物素 1.20 mg; 盐酸吡哆醇 20 mg; 维生素 A 32 mg; 维生素 E 120 mg; 维生素 B<sub>12</sub> 0.1 mg; 肌醇 800 mg; 烟酸 200 mg; 硫胺素 25 mg; 叶酸 20 mg; 泛酸 60 mg; 维生素 K<sub>3</sub> 10 mg; 次粉 18.67 g

2. 矿物质混合料(mg/kg or g/kg 饲料): 硫酸镁 1200 mg; 硫酸锌 50 mg; 氯化钴 50 mg; 硫酸铜 10 mg; 碘化钾 0.8 mg; 磷酸二氢钙 3000 mg; 硫酸铁 80 mg; 氯化钠 100 mg; 氟化钠 2 mg; 沸石粉 15.51 g

1. Vitamin premix (mg/kg or g/kg diet): vitamin D 5 mg; riboflavin 45 mg; biotin 1.20 mg; pyridoxine 20 mg; vitamin A 32 mg; vitamin E 120 mg; vitamin B<sub>12</sub> 0.1 mg; inositol 800 mg; tocopherol acetate 200 mg; thiamine 25 mg; folic acid 20 mg; pantothenate 60 mg; menadione 10 mg; wheat flour 18.67 g

2. Mineral premix (mg/kg or g/kg diet): MgSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O 1200 mg; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 50 mg; CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 50 mg; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 10 mg; KI 0.8 mg; Ca (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O 3000 mg; FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 80 mg; NaCl 100 mg; NaF 2 mg; Mordenzeo 15.51 g

肥满度(Condition factor, CF)=体重/体长<sup>3</sup>×100

肝体比(Hepatosomatic index, HSI, %)=肝脏湿重/鱼体湿重×100

脏体比(Viserosomatic index, VSI, %)=内脏湿重/鱼体湿重×100

用 SPSS 16.0 统计软件对实验各处理的数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 当不同处理之间存在显著差异时( $P < 0.05$  为差异显著,  $P < 0.01$  为差异

极显著), 采用 Tukey 法进行均值间多重比较, 所有数值用平均值±标准误(Mean±SE)表示。

## 2 结果

### 2.1 不同类型的水解蛋白对鲈鱼幼鱼鱼体及组织脂肪的影响

不同类型的水解蛋白对鲈鱼幼鱼鱼体脂肪、鱼体

水分、肝脏脂肪、肌肉脂肪及内脏脂肪含量均没有产生显著影响( $P>0.05$ )(表 2)。肝体比、脏体比、肥满度等形体指标在各处理组间也没有显著差异( $P>0.05$ )。

与对照组相比,水解酵母蛋白组鲈鱼的血清甘油三酯水平显著降低( $P<0.05$ ),但血清甘油三酯水平在对照组、水解猪血蛋白组及水解豆粕蛋白组之间及在添加水解蛋白的 3 个处理组之间没有显著差异( $P>0.05$ )。血清胆固醇与低密度脂蛋白胆固醇受饲料处理影响的趋势与血清甘油三酯类似,但血清高密度脂蛋白胆固醇在各处理组间没有显著差异( $P>0.05$ )。

## 2.2 不同类型的水解蛋白对鲈鱼幼鱼鱼体及组织脂肪酸组成的影响

表 4、5、6、7 分别表示了鲈鱼幼鱼肝脏、肌肉、血清及脂肪组织的脂肪酸组成受饲料处理影响的情况。本研究中,鲈鱼肝脏脂肪酸组织并未受到饲料处理的显著影响( $P>0.05$ )(表 3)。

对肌肉脂肪酸组成来说,与对照组相比,饲料中水解酵母蛋白替代鱼粉显著提高了鲈鱼肌肉中的 C20:1n-9 含量( $P<0.05$ )(表 4),而肌肉 C22:5n-3 含量在对照组、水解猪血蛋白组、水解豆粕蛋白组及水解酵母蛋白组间依次显著下降( $P<0.01$ )。对照组 C22:5n-3 含量显著高于水解豆粕蛋白组及水解酵母蛋白组,而

水解酵母蛋白组最低,显著低于对照组及水解猪血蛋白组( $P<0.01$ )。肌肉其他脂肪酸含量并未受到饲料处理的显著影响( $P>0.05$ )。

对血清脂肪酸来说,水解酵母蛋白组的 C20:5n-3 含量显著低于对照组( $P<0.05$ )(表 5),而血清 C20:5n-3 含量在对照组、水解猪血蛋白组及水解豆粕蛋白组之间以及 3 种不同水解蛋白处理组之间均没有显著性差异( $P>0.05$ )。血清中其他脂肪酸含量并未受到饲料处理的显著性影响( $P>0.05$ )。

不同类型的水解蛋白对脂肪组织脂肪酸组成影响较为显著(表 6)。对照组的 C14:0 含量显著低于水解猪血蛋白组及水解豆粕蛋白组( $P<0.05$ ),而其 C16:0、C16:1n-7、C18:0、C18:1n-9、C18:1n-7、C18:2n-6 及饱和脂肪酸含量则显著低于添加水解蛋白的所有 3 个处理组( $P<0.01$ )。对照组的 C18:3n-3 含量显著低于水解猪血蛋白组及水解豆粕蛋白组( $P<0.01$ )。对照组的 C20:1n-9 含量显著高于添加水解蛋白的 3 个处理组( $P<0.01$ )。对照组的 C20:4n-6、C22:5n-3、C22:6n-3、n-3 脂肪酸、n-3 长链多不饱和脂肪酸含量及 n-3/n-6 比例显著高于其他 3 个处理组( $P<0.01$ ),水解猪血蛋白组和水解豆粕蛋白组的 C20:4n-6 含量显著低于对照组和水解酵母蛋白组,而

表 2 不同类型的水解蛋白对鲈鱼幼鱼鱼体及组织脂肪的影响(平均值±标准误,  $n=3$ )

Tab.2 Effects of different types of protein hydrolysates on the lipid concentrations in whole body and tissues of juvenile *L. japonicus* (Mean±SE,  $n=3$ )

指标 Parameters	处理 Treatments				P 值 P value
	对照 Control	水解猪血蛋白 Pig blood protein hydrolysate	水解豆粕蛋白 Soy protein hydrolysate	水解酵母蛋白 Yeast protein hydrolysate	
鱼体脂肪 Lipid (Dry matter %)	23.29±1.14	23.60±0.77	25.71±1.21	25.66±1.45	0.360
鱼体水分 Moisture (%)	71.88±0.58	71.60±0.91	72.27±0.66	72.41±0.45	0.820
肝脏脂肪 Liver lipid (Dry matter %)	16.19±1.68	17.20±0.71	17.80±1.93	16.16±2.12	0.890
肌肉脂肪 Muscle lipid (Dry matter %)	3.65±0.28	4.27±0.23	3.86±0.29	3.85±0.38	0.540
内脏脂肪 Gut lipid (Dry matter %)	57.14±6.06	57.66±5.12	69.10±8.02	65.36±2.52	0.430
肝体比 HIS (%)	1.56±0.08	1.69±0.23	1.56±0.04	1.82±0.04	0.440
脏体比 VSI (%)	9.60±0.47	9.52±0.21	9.61±0.34	9.97±0.21	0.770
肥满度 CF	1.49±0.03	1.42±0.03	1.34±0.06	1.45±0.02	0.110
血清甘油三酯 Serum triglyceride (mmol/L)	1.88±0.11 <sup>a</sup>	1.82±0.12 <sup>ab</sup>	1.77±0.20 <sup>ab</sup>	1.31±0.06 <sup>b</sup>	0.030
血清胆固醇 Serum cholesterol (mmol/L)	5.54±0.30 <sup>a</sup>	4.94±0.22 <sup>ab</sup>	4.63±0.11 <sup>ab</sup>	4.39±0.13 <sup>b</sup>	0.020
血清 HDL-C <sup>2</sup> (mmol/L)	1.20±0.06	1.08±0.21	1.05±0.10	1.03±0.09	0.780
血清 LDL-C <sup>3</sup> (mmol/L)	4.34±0.25 <sup>a</sup>	3.86±0.14 <sup>ab</sup>	3.58±0.13 <sup>ab</sup>	3.37±0.21 <sup>b</sup>	0.030

注: 同一行中, 标相同上标字母的数据间无显著性差异( $P>0.05$ ); 2. HDL-C: 高密度脂蛋白胆固醇; 3. LDL-C: 低密度脂蛋白胆固醇

Note: Values in each row with same superscripts showed no significant differences ( $P>0.05$ ); 2. HDL-C: High-density lipoprotein cholesterol; 3. LDL-C: Low density lipoprotein cholesterol

表3 不同类型的水解蛋白对鲈鱼幼鱼肝脏脂肪酸组成的影响(总脂肪酸, %)(平均值±标准误, n=3)

Tab.3 Effects of different types of protein hydrolysates on the liver fatty acid composition of juvenile *L. japonicus* (% of total fatty acids)(Mean±SE, n=3)

脂肪酸 Fatty acid	处理 Treatments				P 值 P value
	对照 Control	水解猪血蛋白 Pig blood Protein hydrolysate	水解豆粕蛋白 Soy protein hydrolysate	水解酵母蛋白 Yeast protein hydrolysate	
C 14: 0	2.49±0.05	2.46±0.14	2.91±0.06	2.68±0.25	0.198
C 16: 0	18.47±0.91	17.41±0.16	17.28±0.78	18.57±0.24	0.366
C 18: 0	4.43±0.39	3.93±0.21	3.84±0.23	4.00±0.13	0.419
∑SFA	25.39±1.25	23.80±0.30	24.03±0.94	25.25±0.36	0.442
C 16: 1n-7	6.57±0.20	6.78±0.28	6.53±0.35	6.73±0.25	0.900
C 18: 1n-9	22.07±0.53	21.89±0.11	20.41±0.99	20.38±0.55	0.172
C 18: 1n-7	3.20±0.01	2.80±0.13	3.13±0.09	3.15±0.08	0.053
C 20: 1n-9	1.77±0.10	1.64±0.08	1.67±0.09	1.77±0.11	0.684
∑MUFA	31.83±0.59	31.47±0.29	30.06±1.02	30.26±0.68	0.268
C 18: 2n-6	10.32±0.91	9.39±0.67	12.45±0.96	9.94±0.58	0.105
C 20: 4n-6	1.16±0.03	1.24±0.14	1.02±0.07	1.13±0.02	0.386
∑n-6	11.48±0.93	10.63±0.65	13.47±0.92	10.70±0.95	0.152
C 18: 3n-3	1.07±0.09	1.08±0.09	1.41±0.10	1.12±0.04	0.052
C 20: 5n-3	4.09±0.20	4.17±0.35	4.58±0.44	4.03±0.25	0.635
C 22: 5n-3	1.98±0.14	2.11±0.16	2.18±0.21	1.56±0.08	0.084
C 22: 6n-3	11.34±1.01	12.07±0.58	12.41±1.05	12.86±1.29	0.761
∑n-3	18.48±1.23	19.43±1.08	20.57±1.66	19.57±1.42	0.763
∑n-3/∑n-6	1.64±0.19	1.84±0.10	1.53±0.12	1.89±0.32	0.593
∑n-3 LC-PUFA	17.42±1.25	18.35±1.00	19.16±1.58	18.44±1.45	0.834

SFA: 饱和脂肪酸; MUFA: 单不饱和脂肪酸; n-6: n-6 系列不饱和脂肪酸; n-3: n-3 系列不饱和脂肪酸; LC-PUFA: 长链多不饱和脂肪酸。同一行中标相同上标字母的数据间无显著性差异( $P>0.05$ )。下表同

SFA: Saturated fatty acids; MUFA: Monounsaturated fatty acid; n-6: n-6 series unsaturated fatty acids; n-3: n-3 series unsaturated fatty acids; LC-PUFA: Long chain polyunsaturated fatty acids. Values in each row with same superscripts showed no significant differences ( $P>0.05$ ). The same as following tables

表4 不同类型的水解蛋白对鲈鱼幼鱼肌肉脂肪酸组成的影响(总脂肪酸, %)(平均值±标准误, n=3)

Tab.4 Effects of different types of protein hydrolysates on the muscle fatty acid composition of juvenile *L. japonicus* (% of total fatty acids)(Mean±SE, n=3)

脂肪酸 Fatty acid	处理 Treatments				P 值 P value
	对照 Control	水解猪血蛋白 Pig blood protein hydrolysate	水解豆粕蛋白 Soy protein hydrolysate	水解酵母蛋白 Yeast protein hydrolysate	
C 14: 0	2.35±0.36	2.34±0.06	2.68±0.29	2.31±0.22	0.730
C 16: 0	19.09±0.29	19.17±0.20	18.65±0.22	19.38±0.29	0.296
C 18: 0	5.20±0.45	5.37±0.26	5.10±0.28	5.37±0.10	0.895
∑SFA	26.64±0.11	26.90±0.37	26.43±0.22	27.06±0.41	0.507
C 16: 1n-7	4.59±0.21	4.94±0.01	5.08±0.17	4.52±0.23	0.154
C 18: 1n-9	16.40±0.60	17.75±0.38	17.89±0.11	16.57±0.80	0.182
C 18: 1n-7	2.57±0.06	2.45±0.06	2.58±0.04	2.58±0.03	0.294
C 20: 1n-9	1.35±0.05 <sup>b</sup>	1.52±0.04 <sup>ab</sup>	1.54±0.06 <sup>ab</sup>	1.69±0.06 <sup>a</sup>	0.011
∑MUFA	23.56±0.80	25.15±0.41	25.54±0.32	23.68±1.06	0.190
C 18: 2n-6	9.96±0.75	9.96±0.34	10.36±0.52	9.69±0.21	0.825
C 20: 4n-6	2.11±0.44	1.74±0.22	1.52±0.17	2.10±0.39	0.538
∑n-6	12.07±0.56	11.70±0.50	11.88±0.35	11.79±0.33	0.945
C 18: 3n-3	1.07±0.13	1.14±0.03	1.23±0.09	1.21±0.04	0.529
C 20: 5n-3	5.46±0.19	5.66±0.48	5.86±0.24	5.78±0.11	0.774
C 22: 5n-3	2.62±0.10 <sup>a</sup>	2.27±0.10 <sup>ab</sup>	2.19±0.02 <sup>bc</sup>	1.81±0.12 <sup>c</sup>	0.002
C 22: 6n-3	15.28±1.01	14.95±0.84	15.87±1.02	17.78±0.79	0.212
∑n-3	24.42±1.08	24.02±1.29	25.15±1.16	26.58±0.87	0.431
∑n-3/∑n-6	2.03±0.14	2.07±0.18	2.13±0.15	2.26±0.07	0.701
∑n-3 LC-PUFA	23.36±1.17	22.88±1.26	23.92±1.24	25.37±0.89	0.492

表 5 不同类型的水解蛋白对鲈鱼幼鱼血清脂肪酸组成的影响(%总脂肪酸)(平均值±标准误,  $n=3$ )Tab.5 Effects of different types of protein hydrolysates on the serum fatty acid composition of juvenile *L. japonicus* (% of total fatty acids) (Mean±SE,  $n=3$ )

脂肪酸 Fatty acid	处理 Treatments				P 值 P value
	对照 Control	水解猪血蛋白 Pig blood Protein hydrolysate	水解豆粕蛋白 Soy protein hydrolysate	水解酵母蛋白 Yeast protein hydrolysate	
C 14: 0	2.02±0.16	2.05±0.27	1.70±0.03	1.85±0.17	0.530
C 16: 0	18.40±0.18	18.57±0.30	17.89±0.27	18.05±0.22	0.267
C 18: 0	4.41±0.08	4.59±0.01	4.48±0.21	4.25±0.12	0.383
∑SFA	24.83±0.32	25.22±0.43	24.08±0.22	24.15±0.37	0.128
C 16: 1n-7	3.71±0.36	3.64±0.20	3.28±0.11	3.55±0.16	0.586
C 18: 1n-9	13.36±1.02	13.35±0.81	12.19±0.79	12.92±0.43	0.703
C 18: 1n-7	2.16±0.15	1.98±0.07	1.94±0.10	2.20±0.10	0.296
C 20: 1n-9	1.19±0.06	1.17±0.05	1.13±0.06	1.30±0.05	0.233
∑MUFA	19.23±1.52	18.98±1.08	17.41±1.00	18.67±0.68	0.673
C 18: 2n-6	7.28±0.39	6.29±0.34	6.55±0.46	6.39±0.36	0.336
C 20: 4n-6	1.66±0.15	1.67±0.08	1.90±0.10	1.81±0.11	0.411
∑n-6	8.94±0.26	7.96±0.27	8.46±0.42	8.20±0.25	0.220
C 18: 3n-3	0.84±0.05	0.73±0.06	0.78±0.04	0.77±0.06	0.530
C 20: 5n-3	8.41±0.32 <sup>a</sup>	7.71±0.24 <sup>ab</sup>	7.98±0.21 <sup>ab</sup>	7.34±0.04 <sup>b</sup>	0.049
C 22: 5n-3	2.47±0.09	2.26±0.12	2.35±0.18	2.00±0.04	0.118
C 22: 6n-3	24.24±2.10	23.80±1.04	26.68±0.75	25.91±0.89	0.407
∑n-3	35.96±2.29	34.50±1.10	37.79±0.81	36.02±0.83	0.469
∑n-3/∑n-6	4.04±0.37	4.35±0.26	4.49±0.26	4.41±0.22	0.710
∑n-3 LC-PUFA	35.12±2.34	33.77±1.15	37.02±0.84	35.25±0.86	0.500

表 6 不同类型的水解蛋白对鲈鱼幼鱼脂肪组织脂肪酸组成的影响(总脂肪酸, %)(平均值±标准误,  $n=3$ )Tab.6 Effects of different types of protein hydrolysates on the adipose tissue fatty acid composition of juvenile *L. japonicus* (% of total fatty acids) (Mean±SE,  $n=3$ )

脂肪酸 Fatty acid	处理 Treatments				P 值 P value
	对照 Control	水解猪血蛋白 Pig blood protein hydrolysate	水解豆粕蛋白 Soy protein hydrolysate	水解酵母蛋白 Yeast protein hydrolysate	
C 14: 0	0.85±0.27 <sup>b</sup>	3.81±0.41 <sup>a</sup>	4.16±0.13 <sup>a</sup>	2.38±0.84 <sup>ab</sup>	0.017
C 16: 0	3.09±0.91 <sup>b</sup>	15.84±1.63 <sup>a</sup>	16.78±0.58 <sup>a</sup>	12.55±1.95 <sup>a</sup>	0.002
C 18: 0	0.57±0.18 <sup>b</sup>	2.94±0.32 <sup>a</sup>	3.03±0.11 <sup>a</sup>	2.33±0.25 <sup>a</sup>	0.002
∑SFA	4.52±1.36 <sup>b</sup>	22.60±2.36 <sup>a</sup>	23.97±0.81 <sup>a</sup>	18.08±2.56 <sup>a</sup>	0.002
C 16: 1n-7	1.23±0.40 <sup>b</sup>	6.07±0.65 <sup>a</sup>	6.60±0.20 <sup>a</sup>	4.31±0.81 <sup>a</sup>	0.002
C 18: 1n-9	3.28±0.93 <sup>b</sup>	16.77±1.85 <sup>a</sup>	18.46±0.59 <sup>a</sup>	12.31±1.87 <sup>a</sup>	0.002
C 18: 1n-7	0.49±0.14 <sup>b</sup>	2.19±0.30 <sup>a</sup>	2.27±0.07 <sup>a</sup>	1.84±0.25 <sup>a</sup>	0.005
C 20: 1n-9	6.01±0.30 <sup>a</sup>	2.30±0.49 <sup>b</sup>	1.99±0.18 <sup>b</sup>	2.44±0.56 <sup>b</sup>	0.002
∑MUFA	5.01±1.47 <sup>b</sup>	25.03±2.77 <sup>a</sup>	27.33±0.83 <sup>a</sup>	18.45±2.92 <sup>a</sup>	0.002
C 18: 2n-6	2.70±0.76 <sup>b</sup>	12.63±1.45 <sup>a</sup>	14.06±0.45 <sup>a</sup>	9.35±1.65 <sup>a</sup>	0.002
C 20: 4n-6	6.79±0.04 <sup>a</sup>	0.53±0.02 <sup>c</sup>	0.54±0.03 <sup>c</sup>	0.74±0.01 <sup>b</sup>	0.000
∑n-6	9.49±0.80	13.17±1.65	14.60±0.46	10.09±1.66	0.086
C 18: 3n-3	0.87±0.02 <sup>b</sup>	1.71±0.08 <sup>a</sup>	1.84±0.05 <sup>a</sup>	1.23±0.13 <sup>b</sup>	0.000
C 20: 5n-3	4.19±0.18	4.57±0.19	4.73±0.08	3.89±0.42	0.116
C 22: 5n-3	7.62±0.14 <sup>a</sup>	1.93±0.09 <sup>bc</sup>	2.20±0.07 <sup>b</sup>	1.49±0.14 <sup>c</sup>	0.000
C 22: 6n-3	14.61±0.24 <sup>a</sup>	5.91±0.76 <sup>b</sup>	6.92±0.35 <sup>b</sup>	4.80±0.71 <sup>b</sup>	0.000
∑n-3	27.29±0.09 <sup>a</sup>	14.12±0.99 <sup>b</sup>	15.69±0.46 <sup>b</sup>	11.41±1.40 <sup>b</sup>	0.000
∑n-3/∑n-6	2.87±0.17 <sup>a</sup>	1.09±0.09 <sup>b</sup>	1.08±0.03 <sup>b</sup>	1.14±0.05 <sup>b</sup>	0.000
∑n-3 LC-PUFA	26.42±0.07 <sup>a</sup>	12.41±0.91 <sup>b</sup>	13.85±0.45 <sup>b</sup>	10.18±1.27 <sup>b</sup>	0.000

C22:5n-3 含量在水解酵母蛋白组显著低于对照组和水解豆粕蛋白组( $P<0.01$ )。

### 3 讨论

养殖鱼类的脂肪过度沉积问题已经成为困扰水产养殖健康和可持续发展的重要因素,尤其是对一些脂肪含量相对较高的鱼类(如鲈鱼),养殖鲈鱼的脂肪过度沉积(“大肚子”现象)严重降低了其品质和价值。因此,如何通过营养学途径开发降低鱼体脂肪沉积的技术措施成为鲈鱼养殖产业一个迫切的问题。在这方面,本实验室之前对大菱鲆的研究取得了成功的经验,即利用高植物蛋白饲料中添加水解鱼蛋白的方式能够降低大菱鲆机体及组织脂肪含量。然而,本研究中,高植物蛋白饲料中利用其他水解蛋白进行鱼粉替代的尝试并未取得同水解鱼蛋白一样的降低鱼体脂肪累积的作用效果。仅仅是水解酵母蛋白对鲈鱼幼鱼的血清甘油三酯、胆固醇以及低密度脂蛋白胆固醇的含量起到了显著的降低作用。这与其他一些研究中观察到的水解低值蛋白原料对养殖鱼类体脂累积的影响结果类似,杨凡等(2015)研究发现,酵母水解物配合豆粕替代部分的鱼粉,不会对异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)的肥满度、肝体比产生影响。胡先勤等(2005)研究也发现,将不同量的大豆水解蛋白小肽添加到豆浆中投喂鲫鱼(*Carassius auratus*)苗,鱼体的粗脂肪含量没有发生明显的变化。

在哺乳动物及大西洋鲑等种类中进行的研究表明,水解鱼蛋白中调节脂肪代谢的物质主要是一些小分子物质,如牛磺酸、肉碱及肌酸等(Brosnan *et al.*, 2004; Arslan, 2006; Pegg, 2009; Liaset *et al.*; 2009)。本研究中水解猪血蛋白、水解豆粕蛋白及水解酵母蛋白并未降低机体主要脂肪累积指标的结果表明,这些水解蛋白中调节脂肪代谢的有效功能物质的含量跟水解鱼蛋白中可能存在很大的不同。而且,研究还表明,蛋氨酸也可能是水解鱼蛋白中调节脂肪代谢的主要功能物质,Espe 等(2010)对大西洋鲑的研究则表明,当给大西洋鲑投喂蛋氨酸缺乏的饲料时,其机体甘油三酯含量上升。蛋氨酸降低脂肪生成酶及甘油三酯含量的作用在 Dias 等(2005)对欧洲黑鲈(*Dicentrarchus labrax*)的研究中也得到了证明。Gaylord 等(2007)研究也表明,蛋氨酸能够调节虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)脂肪代谢及内脏脂肪含量。因为猪血蛋白、豆粕蛋白和酵母蛋白中普遍蛋氨酸含量较低,因此,本研究结果从侧面为上述理论提供了证据,即蛋氨酸可能是水解蛋白中调节动物脂肪累积的主要功能物质之一。不

过,本研究中,即便饲料中添加3种不同的水解蛋白均未对鲈鱼幼鱼的机体脂肪累积主要指标产生降低作用,水解酵母蛋白降低血清甘油三酯及胆固醇的结果仍然具有正面意义。Yun 等(2012)对大菱鲆的研究发现,在高植物蛋白饲料中添加1.0%牛磺酸(水解鱼蛋白中调节鱼体脂肪代谢的主要功能物质之一),能够有效降低大菱鲆血浆总胆固醇、游离胆固醇及低密度脂蛋白胆固醇的含量,胆固醇合成代谢关键酶—3-羟基-3-甲基戊二酰辅酶A还原酶(HMG-CoA)的mRNA表达量也显著降低。结合本研究的结果,表明水解酵母中可能存在其他能够调节鱼类胆固醇代谢的功能物质。而鱼类机体胆固醇尤其是低密度脂蛋白胆固醇的降低可以减少胆固醇在肝脏及血管中的累积,提高鱼类的机体健康水平。

本研究中,不同水解蛋白对鱼体组织脂肪组成的影响在鲈鱼各组织中差异较大。水解酵母蛋白降低了肌肉中C22:5n-3及血清中C20:5n-3的含量,但提高了肌肉中C20:1n-9的含量,这可能是水解酵母蛋白降脂能力有限的一个原因,因为通常C20:1n-9是用来氧化供能的主要脂肪酸(Tocher *et al.*, 1985),而C20:1n-9含量的升高表明水解酵母蛋白并未促进脂肪的氧化。而在鲈鱼的腹部脂肪组织中,猪血、豆粕及酵母蛋白水解物的添加极显著提高了饱和脂肪酸、十八碳及以下单不饱和脂肪酸、亚油酸及亚麻酸的含量,而极显著降低了C20:1n-9、C20:4n-6、C22:5n-3和C22:6n-3的含量。基于现有的结果,很难解释本研究中水解蛋白引起的腹部脂肪的脂肪酸组成变化,可能是水解蛋白中的某些未知活性物质造成了鲈鱼腹部脂肪中的长链多不饱和脂肪酸的选择性利用。然而,水解蛋白的添加造成的腹部脂肪组织中饱和脂肪酸含量的升高和长链多不饱和脂肪酸含量的下降对鲈鱼养殖业来说是一个利好因素,因为腹部脂肪组织是非食用部分,腹部脂肪组织中长链多不饱和脂肪酸的降低有利于节省饲料中长链多不饱和脂肪酸的供给。

目前,关于不同类型的水解蛋白(水解猪血蛋白、水解豆粕蛋白和水解酵母蛋白)对鱼类生长及生理机能影响的差异,相关研究非常少,仅有的一些研究主要关注了对其生长性能的影响。Skalli 等(2014)在最新的研究中使用不同梯度(6%和12%)的水解酵母蛋白、水解猪血蛋白及水解猪血红球蛋白投喂欧洲黑鲈仔稚鱼,结果发现,当这些水解蛋白的添加量在6%时,与对照组(添加12%水解鱼蛋白)相比并没有降低实验鱼的生长及成活率。而且,这些水解蛋白处理组相互之间也没有显著性差异。本研究是国内外首次系

统地比较不同水解蛋白在高植物蛋白饲料中对鱼体脂肪的调节作用, 填补了该领域的空白。

除了水解蛋白的差异方面的原因, 养殖鱼种类的不同也可能是造成水解蛋白脂肪代谢调节功能差异的重要原因。虽然实验室之前的研究发现了在高水平的植物蛋白饲料中水解鱼蛋白对大菱鲂脂肪累积的调节作用(Xu *et al.*, 2016), 但在牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)、大黄鱼(*Larimichthys crocea*)及虹鳟上却并未发现水解鱼蛋白类似的作用(郑珂珂等, 2011; 刘峰等, 2006; Barrias, 2000)。另外, 曾本和等(2015)对草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)的研究以及牟玉超等(2016)对大菱鲂幼鱼的研究都发现了水解酵母对鱼体脂肪累积的调节作用, 但本研究对鲈鱼幼鱼使用类似的水解酵母蛋白却没有发现类似的作用, 这表明, 不同种类的养殖鱼类其脂肪代谢情况差异很大, 因此, 需要采取不同的营养策略调节其脂肪代谢和累积。

综上所述, 高植物蛋白饲料添加不同类型的水解蛋白(水解猪血蛋白、水解豆粕蛋白及水解酵母蛋白)没有显著影响鲈鱼鱼体及组织脂肪累积。但是, 高植物蛋白饲料中水解酵母蛋白替代 10%鱼粉显著降低了鲈鱼幼鱼血清甘油三酯、总胆固醇及低密度脂蛋白胆固醇含量。水解蛋白对鲈鱼组织脂肪酸组成的影响因组织和水解蛋白的种类而异。高植物蛋白饲料中水解蛋白的添加降低了腹部脂肪组织中长链多不饱和脂肪酸的含量, 提高了十八碳及以下脂肪酸的含量。

## 参 考 文 献

- Ai QH. Ocean University of China Prof. Ai Qinghui: Fish fat deposition and regulation. *Current Fisheries*, 2015(11): 53–54 [艾庆辉. 中国海洋大学艾庆辉教授: 鱼类脂肪沉积以及调控研究. *当代水产*, 2015(11): 53–54]
- Aksnes A, Hope B, Høstmark Ø, *et al.* Inclusion of size fractionated fish hydrolysate in high plant protein diets for Atlantic cod, *Gadus morhua*. *Aquaculture*, 2006, 261(3): 1102–1110
- Arslan C. L-Carnitine and its use as a feed additive in poultry feeding a review. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 2006, 157(3): 134–142
- Barrias C, Oliva-Teles A. The use of locally produced fish meal and other dietary manipulations in practical diets for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research*, 2000, 31(2): 213–218
- Brosnan JT, Jacobs RL, Stead LM, *et al.* Methylation demand: A key determinant of homocysteine metabolism. *Acta Biochimica Polonica*, 2004, 51(2): 405–413
- Dias J, Alvarez MJ, Arzel J, *et al.* Dietary protein source affects lipid metabolism in the European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A Molecular and Integrative Physiology*, 2005, 142(1): 19–31
- Espe M, Rathore RM, Du ZY, *et al.* Methionine limitation results in increased hepatic FAS activity, higher liver 18:1 to 18:0 fatty acid ratio and hepatic TAG accumulation in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Amino Acids*, 2010, 39(2): 449–460
- Espe M, Ruohonen K, El-Mowafi A. Hydrolysed fish protein concentrate (FPC) reduces viscera mass in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed plant-protein-based diets. *Aquaculture Nutrition*, 2012, 18(6): 599–609
- Gaylord TG, Barrows FT, Teague AM, *et al.* Supplementation of taurine and methionine to all-plant protein diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 2007, 269(1): 514–524
- Han GM, Wang AM, Xu P, *et al.* Effects of dietary lipid levels on fat deposition and fatty acid profiles of GIFT, *Oreocheromus niloticus*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(2): 338–349 [韩光明, 王爱民, 徐跑, 等. 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼体脂沉积及脂肪酸组成的影响. *中国水产科学*, 2011, 18(2): 338–349]
- Hillestad M, Johnsen F. High-energy/low-protein diets for Atlantic salmon: Effects on growth, nutrient retention and slaughter quality. *Aquaculture*, 1994, 124(1–4): 109–116
- Hu XQ, Han JH. Soybean peptide applications in the carp fry. *Scientific Fish Farming*, 2005(2): 67–68 [胡先勤, 韩继宏. 大豆小肽在鲫鱼鱼苗中的应用. *科学养鱼*, 2005(2): 67–68]
- Kotzamanis YP, Gisbert E, Gatesoupe FJ, *et al.* Effects of different dietary levels of fish protein hydrolysates on growth, digestive enzymes, gut microbiota, and resistance to *Vibrio anguillarum* in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A Molecular and Integrative Physiology*, 2007, 147(1): 205–214
- Liang H, Qian YX. The effects of food on lipid metabolism in cultured fish. *Fishery Sciences*, 2007, 26(9): 521–524 [梁洪, 钱云霞. 食物对养殖鱼类脂肪代谢的影响. *水产科学*, 2007, 26(9): 521–524]
- Liaset B, Madsen L, Qin H, *et al.* Fish protein hydrolysate elevates plasma bile acids and reduces visceral adipose tissue mass in rats. *Biochimica Et Biophysica Acta*, 2009, 1791(4): 254–262
- Liu F, Mai KS, Ai QH, *et al.* Effects of dietary fish protein hydrolysate levels on growth, survival and body composition of larvae in *Pseudosciaena crocea*. *Journal of Fisheries of China*, 2006, 30(4): 502–508 [刘峰, 麦康森, 艾庆辉, 等. 鱼肉水解蛋白对大黄鱼稚鱼存活、生长以及体组成的影响. *水产学报*, 2006, 30(4): 502–508]
- Mourete G, Tocher DR, Diaz-Salvago E, *et al.* Study of the n-3 highly unsaturated fatty acids requirement and antioxidant status of *Dentex dentex* larvae at the Artemia feeding stage. *Aquaculture*, 1999, 179(1–4): 291–307



- Mu YC, Liang MQ, Zheng KK, *et al.* Effects of small molecule weight fish protein hydrolysate in high plant protein diets on the expression of liver IGF-I receptor and the growth of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(3): 49–57 [牟玉超, 梁萌青, 郑珂珂, 等. 高植物蛋白饲料中不同水平低分子水解鱼蛋白对大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.)幼鱼生长及肝脏 IGF-I 受体表达的影响. *渔业科学进展*, 2016, 37(3): 49–57]
- Pegg AE. Mammalian polyamine metabolism and function. *IUBMB Life*, 2009, 61(9): 880–894
- Skalli A, Zambonino-infante JL, Kotzamanis Y, *et al.* Peptide molecular weight distribution of soluble protein fraction affects growth performance and quality in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Aquaculture Nutrition*, 2014, 20(2): 118–131
- Sun RJ, Xu W, Mi HF, *et al.* Effects of dietary lipid level and feeding frequency on growth, body composition and lipid deposition in juvenile large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(3): 401–409 [孙瑞健, 徐玮, 米海峰, 等. 饲料脂肪水平和投喂频率对大黄鱼生长、体组成及脂肪沉积的影响. *水产学报*, 2015, 39(3): 401–409]
- Tocher DR, Fraser AJ, Sargent JR, *et al.* Fatty acid composition of phospholipids and neutral lipids during embryonic and early larval development in Atlantic herring (*Clupea harengus*, L.). *Lipids*, 1985, 20(2): 69–74
- Wei YL, Liang MQ, Zheng KK, *et al.* The effects of fish protein hydrolysate on the digestibility of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Acta Hydrobiology Sinica*, 2014, 38(5): 910–920 [卫育良, 梁萌青, 郑珂珂, 等. 水解鱼蛋白对大菱鲆幼鱼消化率的影响. *水生生物学报*, 2014, 38(5): 910–920]
- Xiang X, Zhou XH, Chen J, *et al.* Effect of dietary lipid level on body index, fat deposition and lipid metabolic enzyme activities of juvenile *Onychostoma sima*. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37(9): 1349–1358 [向泉, 周兴华, 陈建, 等. 饲料脂肪水平对白甲鱼幼鱼形体指数、脂肪沉积和脂肪代谢酶活性的影响. *水产学报*, 2013, 37(9): 1349–1358]
- Xu HG, Mu YC, Zhang Y, *et al.* Graded levels of fish protein hydrolysate in high plant diets for turbot (*Scophthalmus maximus*): Effects on growth performance and lipid accumulation. *Aquaculture*, 2016, 454: 140–147
- Yang F, Chen CF, Yi JH, *et al.* Effect of autolyzed yeast on the growth and immune function of silver crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). *Feed Industry*, 2015, 36(4): 60–64 [杨凡, 陈昌福, 易建华, 等. 酵母水解物对异育银鲫生长和免疫性能的影响. *饲料工业*, 2015, 36(4): 60–64]
- Yun B, Ai QH, Mai KS, *et al.* Synergistic effects of dietary cholesterol and taurine on growth performance and cholesterol metabolism in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) fed high plant protein diets. *Aquaculture*, 2012, 324(1): 85–91
- Zeng BH, Xiang X, Yang WJ, *et al.* Effects of yeast hydrolyzate on growth and body composition of juvenile *Ctenopharyngodon idellus*. *Feed Industry*, 2015, 36(16): 16–19 [曾本和, 向泉, 杨文娇, 等. 酵母水解物对草鱼生长性能和体成分的影响. *饲料工业*, 2015, 36(16): 16–19]
- Zheng KK, Liang MQ, Yao HB, *et al.* Effect of dietary fish protein hydrolysate on growth, feed utilization and IGF-I levels of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture Nutrition*, 2012, 18(3): 297–303
- Zheng KK, Liang MQ, Yao HB, *et al.* Inclusion of size-fractionated fish protein hydrolysate in high plant protein diets for Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Acta Hydrobiology Sinica*, 2011, 35(5): 829–834 [郑珂珂, 梁萌青, 姚宏波, 等. 在高植物蛋白饲料中添加水解鱼蛋白对牙鲆幼鱼的影响. *水生生物学报*, 2011, 35(5): 829–834]

(编辑 马瑾艳)

## Effects of Different Protein Hydrolysates in High Plant Protein Diets on the Lipid Accumulation of Juvenile Japanese Seabass (*Lateolabrax japonicus*)

CAO Lin<sup>1,2</sup>, ZHANG Tingting<sup>1,4</sup>, XU Houguo<sup>1</sup>, ZHENG Keke<sup>1</sup>, LIANG Mengqing<sup>1,3①</sup>

(1. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture; Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; 2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 3. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071; 4. College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian 116023)

**Abstract** An 8-week feeding trial was conducted to investigate the effects of different types of protein hydrolysate in high plant protein diets on the lipid accumulation of juvenile Japanese seabass *Lateolabrax japonicus* (initial body weight 31.99 g). Four experimental diets were formulated. The control diet contained 30% fishmeal. Different types of protein hydrolysate, i.e., pig blood protein hydrolysate, soy protein hydrolysate and yeast protein hydrolysate was separately added to the basal diet to replace 10% fishmeal to formulate three experimental diets. The feeding trail was conducted in sea floating net cages. Each diet was assigned to triplicate groups of 30 fish. The results showed that compared to the control group, the supplementation of protein hydrolysates from pig blood, soybean meal and yeast did not significantly influence most indices of lipid accumulation in *L. japonicus*. However, compared to the control group, the yeast protein hydrolysate significantly reduced the concentrations of triglyceride, cholesterol, and low density lipoprotein cholesterol in serum ( $P<0.05$ ). The fatty acid analysis showed that compared to the control group, the yeast protein hydrolysate significantly increased the C20:1n-9 content in muscle, while the soy protein hydrolysate and yeast protein hydrolysate significantly reduced the C22:5n-3 content in muscle ( $P<0.05$ ). Compared to the control group, the yeast protein hydrolysate significantly reduced the C20:5n-3 content in serum ( $P<0.05$ ). In adipose tissue, compared to the control group, the protein hydrolysates from pig blood, soy, and yeast significantly increased the contents of saturated fatty acids, 18C monounsaturated fatty acids, linoleic acid and linolenic acid, but significantly reduced the contents of C20:1n-9, C20:4n-6, C22:5n-3 and C22:6n-3 ( $P<0.01$ ). These results suggested that in high plant protein diets the supplementation of protein hydrolysates from pig blood, soy, and yeast did not modulate the lipid accumulation in whole body, liver, muscle and gut of juvenile *L. japonicus*, but the yeast protein hydrolysate significantly reduced the concentrations of triglyceride, cholesterol, and low density lipoprotein cholesterol in serum. The modulation of fish fatty acid profiles by protein hydrolysates varied depending upon the type of protein hydrolysate and the type of fish tissue. This is the first study comprehensively investigating the effects of different types of protein hydrolysate on the lipid accumulation in aquaculture species, and the results were indicative for the relevant studies in the future.

**Key words** Japanese seabass *Lateolabrax japonicus*; High plant protein diet; Protein hydrolysate; Lipid accumulation

① Corresponding author: LIANG Mengqing, E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn