

任艳华, 张隽美, 卢荣华, 等. 鱼类营养代谢性疾病研究进展[J]. 江苏农业学报, 2021, 37( 6 ): 1623-1629.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.06.033

## 鱼类营养代谢性疾病研究进展

任艳华, 张隽美, 卢荣华, 曹香林, 张玉茹

(河南师范大学水产学院, 河南省水产动物养殖工程技术研究中心, 河南 新乡 453007)

**摘要:** 集约化养殖模式下, 由饲料营养和养殖模式等因素引发的鱼类营养代谢性疾病频繁发生, 已经严重危害了水产养殖业的健康可持续发展, 鱼类营养代谢性疾病的防治迫在眉睫。目前, 鱼类营养代谢性疾病的研究多集中在发病的原因、症状及调控疾病发生的相关基因表达和功能等方面, 但仍需对相关研究进行深入系统的总结和分析。为了明晰导致营养代谢性疾病的具体原因, 本文从诱发营养代谢性疾病的环境因素和关键遗传基因着手, 对鱼类营养代谢性疾病的类型、诱因、防治措施和未来研究方向进行综述, 以期对鱼类营养代谢性疾病的防治提供参考。

**关键词:** 鱼类; 代谢性疾病; 营养; 基因

**中图分类号:** S941.7      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-4440(2021)06-1623-07

## Research progress on fish nutritional metabolic diseases

REN Yan-hua, ZHANG Jun-mei, LU Rong-hua, CAO Xiang-lin, ZHANG Yu-ru

(College of Fisheries, Henan Normal University, Engineering Technology Research Center of Henan Province for Aquatic Animal Cultivation, Xinxiang 453007, China)

**Abstract:** In the mode of intensive cultivation, fish nutritional metabolic diseases caused by factors such as feed nutrition and breeding mode occurred frequently, which have made serious endangerment to healthy and sustainable development of aquaculture industry, so it's imminent to prevent and control nutritional and metabolic diseases in fishes. At present, most studies on nutritional and metabolic diseases of fishes focus on the causes of pathogenesis, symptoms, as well as expression and function of genes involved in disease regulation, but it is still necessary to summarize and analyze related research in-depth and systematically. To make clear specific causes of nutritional and metabolic diseases, this paper summarized types, causes, prevention and control measures, as well as future research directions of fish nutritional and metabolic diseases from the aspects of environmental factors and key genetic genes which induced nutritional and metabolic diseases, so as to provide reference for the prevention and control of nutritional and metabolic diseases in fishes.

**Key words:** fishes; metabolic diseases; nutrition; gene

中国已成为世界第一渔业生产大国、水产品贸易大国和主要远洋渔业国家。但是, 在中国养殖渔业迅猛发展的同时, 集约化养殖鱼类普遍存在脂肪

过度蓄积、瘦肌病和脂肪肝等营养代谢性疾病, 严重制约了渔业的可持续发展<sup>[1-2]</sup>。据报道, 草鱼( *Ctenopharyngodon idellus* )、罗非鱼( *Oreochromis mossambicus* )、牙鲈( *Paralichthys olivaceus* )等养殖鱼类摄食高能量饲料后, 均会出现肝胰脏和肠系膜脂肪大量蓄积的现象<sup>[3]</sup>, 进而导致脂代谢紊乱、免疫系统功能下降、水产品口感和营养价值变差等问题<sup>[4]</sup>。因此, 如何有效地防治鱼类营养代谢性疾病迫在眉睫。

收稿日期: 2021-03-29

基金项目: 河南省自然科学基金面上项目( 212300410361 ); 河南师范大学国家级科研项目培育基金( 2021PL19 )

作者简介: 任艳华( 1995- ), 女, 河南新乡人, 硕士研究生, 研究方向为鱼类脂代谢研究。( E-mail ) ryanhua2018@ 163.com

通讯作者: 张玉茹, ( E-mail ) zyuru\_2004@ 163.com

鱼类营养代谢性疾病是指因鱼体内各种营养素过多、过少或不平衡而导致机体营养过剩、缺乏或代谢异常而造成的一类疾病。为了深入系统研究鱼类营养代谢性疾病产生的原因、危害以及防治措施,我们调研分析了饲料营养、饲养模式和营养代谢关键基因等因素对营养代谢性疾病的调控作用,归纳总结了鱼类营养代谢性疾病的常见类型、诱发因素、病理特征以及防治措施,以期水产养殖业的发展提供理论依据。

## 1 鱼类营养代谢性疾病常见类型

根据常见症状及诱发原因,鱼类常见的营养代谢性疾病有脂肪肝<sup>[5]</sup>、肝胆综合征<sup>[6]</sup>、鲤鱼出血病<sup>[7]</sup>和瘦肌病<sup>[8]</sup>等(表 1)。观其症状,脂肪肝和肝胆综合征均表现出肝脏脂肪过度蓄积的表型,且每种疾病均呈现不同程度的代谢紊乱症状。

### 1.1 脂肪肝

鱼类脂肪肝主要是指鱼体肝脏脂肪过量积累的生理现象,是人工养殖鱼类中常见的营养代谢性疾病<sup>[9]</sup>。据报道,牙鲆、草鱼、罗非鱼、鲤鱼(*Cyprinus carpio*)等常见的养殖鱼类长期摄入高能量饲料后均会出现食欲不振、生长减缓、抗应激能力降低等症状,严重时甚至会导致鱼类暴发性死亡。病理学分析发现,病鱼肝胰脏肥大、脂肪积累增多、脂滴变大<sup>[10]</sup>。研究发现,将草鱼幼鱼饲料中的脂质含量从 0 g/kg 提高至 120 g/kg,会导致其肝胰脏中脂肪过量积累,出现脂肪肝病的轻微症状<sup>[11]</sup>。与之相似,分别用脂质含量为 13.3%(对照组)和 27.7%(高脂组)的饲料饲喂大黄鱼 9 周后,高脂组大黄鱼肝胰脏脂质含量显著高于对照组,组织切片也呈现脂肪空泡显著增加等病变表型<sup>[12]</sup>。Martins 等<sup>[13]</sup>研究膳食脂质水平对大西洋比目鱼生长的影响时发现,比目鱼肝胰脏中脂质含量随膳食脂质摄入的增加而增加,严重时发生代谢紊乱。此外,饲料霉变或含有毒素及营养物质缺乏也可诱发养殖鱼类的肝胰脏脂肪病变。比如,目前饲料中普遍含有霉菌毒素,特别是黄曲霉毒素,已有研究发现,黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 能够造成鱼类脂肪肝<sup>[14]</sup>。

### 1.2 鱼类肝胆综合征

由养殖密度增加、水环境恶化、投饲过量、维生素缺乏、饲料变质及营养失衡等因素引起的鱼类肝胆发生病变的现象称为鱼类肝胆综合征(图 1)<sup>[15]</sup>。该病

在鲤鱼、鲫鱼(*Carassius auratus*)、草鱼和团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)等主要经济养殖鱼类中普遍存在。例如养殖草鱼多患有肝胰脏和胆囊功能障碍,通常还伴随着肝胰脏中脂质的积累。这主要是由于饲料中缺乏某种营养元素造成的。研究发现,当饲料中维生素含量较低,不能满足鱼类生长发育的需求时,草鱼免疫能力降低,进而诱发肝胆综合征<sup>[16]</sup>;而当饲料中胆碱含量不足时,会导致黄颡鱼生长缓慢,脂肪代谢紊乱,肝胰脏脂肪蓄积量增加<sup>[17]</sup>。

水体中的氨氮也是鱼类肝胆综合征的诱因之一。高养殖密度加速了水体污染发生进度,水中氨氮浓度升高,鱼体内氨代谢产物无法正常排泄,从而引起鱼肝胰脏组织水肿及胆囊肿大<sup>[15]</sup>,严重影响肝胰脏的代谢功能,造成机体代谢紊乱。

饲料氧化变质及饲料原料中的有毒有害物质(硫苷、棉酚等)也能诱发鱼类患肝胆综合征。例如,饲料中脂肪氧化后产生的酮、醛、酸等会对鱼类肝脏造成直接伤害<sup>[18]</sup>,导致鱼体的细胞器功能失调,严重时会造成肝坏死<sup>[9]</sup>。用含 55% 棉籽的饲料饲喂斑点叉尾鲴,10 周后发现斑点叉尾鲴出现肝坏死<sup>[19]</sup>。当饲料中棉籽(主要成分硫代葡萄糖苷,简称硫苷)含量为 64% 时,草鱼的肝细胞坏死<sup>[20]</sup>,鱼体生长减缓,死亡率升高。

### 1.3 瘦肌病

瘦肌病的主要症状是鱼游动减缓、食欲不振、身体发直、眼球突出、背部极瘦、腹部积水且内脏呈灰黑色<sup>[21]</sup>。饲料变质或缺乏维生素 C、维生素 E、硒等营养元素可能是导致瘦肌病的主要原因。研究发现,当饲料中缺乏维生素 E 时,鱼苗容易发生脂质过氧化,从而导致生理机能失常、发育迟缓甚至畸形<sup>[22]</sup>;还会使胰腺发生病变,使腺细胞变性,胰岛素分泌减少,造成骨骼肌营养不良,肌纤维萎缩<sup>[21]</sup>。当缺乏维生素 E 时,草鱼生长会受到抑制,肝胰脏及肌肉受到氧化损伤,存活率降低<sup>[23]</sup>。与之类似,当饲料中缺乏维生素 C 时,病鱼生长减慢,脊柱弯曲,死亡率上升<sup>[24]</sup>。同时,当鲤饲料中缺乏硒时,病鱼背部消瘦,脊柱前凸,瘦肌病的发病率和死亡率分别高达 46.7% 和 26.7%<sup>[25]</sup>。

### 1.4 某些鱼类特有的代谢性疾病

鲤出血病主要变现为体表充血、鳞片下部出血、身体失衡或侧翻、眼球突出、身体变黑、鳍和鳃盖底部出血<sup>[26]</sup>。解剖后发现病鱼心脏及肝胰脏肥大,腹腔

积水,内脏器官充血<sup>[8]</sup>。投喂过多高能饲料造成的底泥过厚、水质恶化及氨氮中毒等都可能为鲤出血病的诱因。刘兴海等<sup>[27]</sup>在辽宁调研时发现,饲喂高能饲料后鲤鱼患有出血症,这可能因为鲤鱼脂肪过量积累

引起心脏负担加重,导致鱼体代谢失调。此外,研究者对中国南方 215 个鱼塘调研时发现,养殖密度过高、水体氨氮及亚硝酸盐浓度高、底泥太厚等因素均能显著增加草鱼患出血病的概率<sup>[28]</sup>。

表 1 鱼类常见营养性疾病及其主要症状

Table 1 Common nutritional diseases and their associated symptoms of fishes

常见鱼类营养代谢性疾病	常见症状	引起疾病的原因	参考文献
脂肪肝	食欲不振、生长缓慢,抗应激能力下降,还会引起鱼类暴发性死亡	饲料营养中能量过高;维生素 B <sub>12</sub> 、胆碱等物质缺乏;饲料投喂过度;饲料变质;高养殖密度,水体环境恶化;滥用药物等	[5,9,29]
肝胆综合征	患有肝胰脏和胆囊的功能障碍,肝胰脏中脂质积累	高养殖密度,水环境污染,投饲过量,维生素缺乏,饲料变质及营养失衡	[2,11,15]
瘦肌病	游动缓慢,食欲不振,禁食,身体发直,眼球突出,背部肌肉极瘦,腹部积水	长期投喂氧化变质的饲料,饲料营养不均衡,缺乏维生素 C、维生素 E、硒等	[8,21]
鲤出血病	眼球突出,身体变黑,鳃和鳃盖底以及鳞片下部出血。心脏、肝胰脏肥大,腹腔内有血水,内脏器官充血	投喂过多高能饲料;底泥过厚,水质恶化;氨氮中毒等	[27-28,30]
罗非鱼越冬障碍	腹部肿大,体表充血,眼球突出,脊柱弯曲,肝胰脏肿大呈淡黄色	水温过低,水质恶化	[18,31]
石斑鱼综合征	腹部充胀,浮于水面,在水中打转,肠道周围附着大量脂肪,肝胰脏肿胀	营养障碍,脂质过氧化	[32]

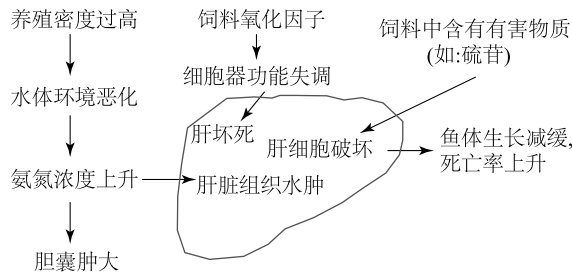


图 1 养殖鱼类肝胆综合征的发生原因及症状

Fig.1 Causes and symptoms of farmed fish liver syndrome

罗非鱼越冬障碍是指当罗非鱼长期处于低温或水温不稳定、水质恶化等环境中时,其代谢紊乱、免疫力降低的现象<sup>[31]</sup>。病鱼腹部肿大,体表充血,眼球突出,脊柱弯曲,解剖后发现,病鱼肝胰脏肿大呈淡黄色<sup>[33]</sup>。

石斑鱼综合征是指石斑鱼在养殖过程中出现鳔肿大、腹部膨胀,鱼体浮于水面,并呈现顺时针或逆时针打转,俗称打转病<sup>[34]</sup>。此病在中国南方 6-9 月容易爆发,且死亡率高达 30%<sup>[10]</sup>。研究者认为该病是营养代谢障碍<sup>[35]</sup>或脂质过氧化中毒<sup>[36]</sup>引起的。

## 2 导致营养代谢疾病发生的主要原因

研究表明,营养元素、饲养模式和遗传基因等因素都可能导致鱼类的营养代谢性疾病。综合文

献资料,对此进行总结和分析(图 2)。

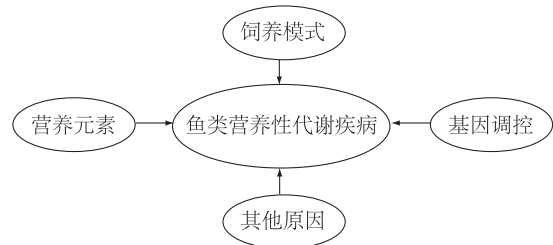


图 2 鱼类营养性代谢疾病的主要成因

Fig.2 Main causes of fish nutritional metabolic diseases

### 2.1 营养元素

2.1.1 蛋白质 蛋白质是鱼类生长和发育的关键营养素,是构成机体免疫防御和生理代谢的物质基础<sup>[37]</sup>。与哺乳动物相比,鱼类对蛋白质的需要量更高<sup>[38]</sup>。饲料中蛋白质含量过低时,鱼生长减缓,但蛋白质含量过高时,鱼机体代谢紊乱,严重时会造成脂肪肝。研究表明,过量的动物混合蛋白质替代鱼粉会导致石斑鱼肝胰脏脂肪蓄积,并影响肉碱脂酰转移酶 1(CPT1)、脂肪酸合成酶(FAS)和脂蛋白脂肪酶(LPL)等脂质代谢过程中基因的表达<sup>[39]</sup>。

2.1.2 脂类物质 脂类为鱼类提供了能量和必需脂肪酸<sup>[40]</sup>。肝胰脏是鱼类脂质代谢的重要场所,若饲料营养素配比失衡,容易造成脂肪在肝胰脏中的



大量蓄积,影响鱼类的正常生理功能。不同鱼类对脂肪的需求不同,青鱼饲料中的最适粗脂肪含量为 3%~8%<sup>[41]</sup>,团头鲂饲料中最适脂肪含量为 2%~5%<sup>[42]</sup>,长吻鮠鱼种饲料中脂肪最佳含量为 6%~12%<sup>[43]</sup>。当饲料脂肪含量不足时,可能造成鱼体代谢失常、脂溶性维生素和必需脂肪酸缺乏等症状。若饲料脂肪超过自身需求,则会导致使鱼体脂肪过量蓄积<sup>[44]</sup>,从而影响鱼体健康等。

**2.1.3 碳水化合物** 碳水化合物是鱼类人工配合饲料中重要的能量物质<sup>[45]</sup>。在适宜范围内,碳水化合物能促进鱼类生长及提高蛋白质利用效率,但其含量过高会使鱼体出现血糖升高、免疫力降低、生长停滞等现象<sup>[46]</sup>。不同食性的鱼对碳水化合物的需求各异,肉食性鱼类对碳水化合物需求量一般低于饲料总量的 20%,而杂食性或草食性鱼类对碳水化合物的需求量一般占饲料总量的 30%~50%,若碳水化合物添加量过高时会引起能量蛋白比失衡,导致鱼体生长受到抑制、肝糖原含量增高、细胞肿大等症状<sup>[47]</sup>。长期摄入高碳水化合物饲料,糖类会经过糖酵解及三羧酸循环等代谢过程将过多的能量以脂肪的形式蓄积在肝胰脏和肠系膜中,过量的脂肪蓄积将造成脂肪肝。

**2.1.4 维生素** 维生素是鱼类维持机体正常代谢的一类重要有机化合物,在物质代谢过程中发挥重要作用。它能够促进碳水化合物、脂肪与蛋白质的新陈代谢以及骨骼的发育,防止胆固醇在动脉中凝结、沉淀。机体中特定维生素缺乏会导致代谢紊乱,如维生素 C、维生素 E 和胆碱等都参与鱼体脂肪代谢,若缺乏则会导致鱼体脂肪代谢障碍,导致脂肪在肝胰脏中蓄积,诱发脂肪肝。研究表明,维生素 E 的缺乏会导致鱼体内脂质过氧化、生理机能失常、发育迟缓甚至畸形<sup>[48]</sup>。同样的,饲料中缺乏乙酰胆碱会导致鱼类脂肪代谢障碍并诱导脂肪肝。相反,过量的维生素也能诱导肝胆等疾病的产生。Bo 等<sup>[49]</sup>研究发现,摄入过量维生素 A 会导致武昌鱼肝细胞中的脂滴增加,进而引起脂肪肝。

**2.1.5 矿物质** 鱼体对矿物质的营养需求和其体内矿物质的营养组成有着密切的关系。矿物质作为鱼类骨骼的重要成分和酶的必要因子,在参与渗透压调节、机体代谢等生命过程中作用重大<sup>[50]</sup>。如鲷的饮食中缺乏磷会导致细胞缺氧,引起体脂肪积累和抑制氧化磷酸化<sup>[51]</sup>。

## 2.2 调控鱼类代谢的关键基因及相互作用通路

鱼体肝胰脏蓄积的脂肪主要有 2 种来源:一种对饲料脂肪的直接吸收<sup>[41]</sup>,另一种则是由饲料中蛋白质和碳水化合物代谢转化而来<sup>[46]</sup>,若这些脂肪不能及时转运出去,就会蓄积于肝胰脏中,从而影响到肝胰脏的代谢。鱼类肝胰脏中脂质常常和载脂蛋白结合,然后运输至血液中,再转运到其他组织中加以利用或储存,若肝胰脏中脂蛋白合成不足,则储存的脂肪不能及时被转运,就会以油滴的形式在肝胰脏中蓄积<sup>[52]</sup>。细胞内脂蛋白脂酶(*LPL*)能够将极低密度脂蛋白(Very low density lipoprotein, VLDL)和乳糜微粒(Chylomicron, CM)中的甘油三酯水解成甘油和脂肪酸,然后进入细胞中参与脂肪酸代谢(图 3)。研究结果表明,*LPL* 在鱼类肝胰脏中大量表达,当机体处于饥饿状态时,肝胰脏中 *LPL* 的表达水平显著增高<sup>[53]</sup>。说明 *LPL* 可通过水解鱼肝胰脏中的 VLDL 以及脂肪酸来完成机体的供能,而机体长期处于饥饿状态时,鱼体代谢现紊乱从而影响其他关键基因调控的代谢途径,导致机体患病。当长期摄入高能量食物时,血浆中游离脂肪酸会不断增加,血浆白蛋白(Albumin)与脂肪酸结合,通过脂肪酸移位酶(*FAT*)和脂肪酸转运蛋白(Fatty acid transporter, *FATP*)将脂肪酸运输至肝胰脏等组织细胞中,在脂肪酸结合蛋白(Fatty acid binding protein, *FABP*)运输下参与脂肪酸代谢。当鱼体内 *FAT*、*FATP* 和 *FABP* 任何一种蛋白质缺失时,都会影响脂肪酸代谢。

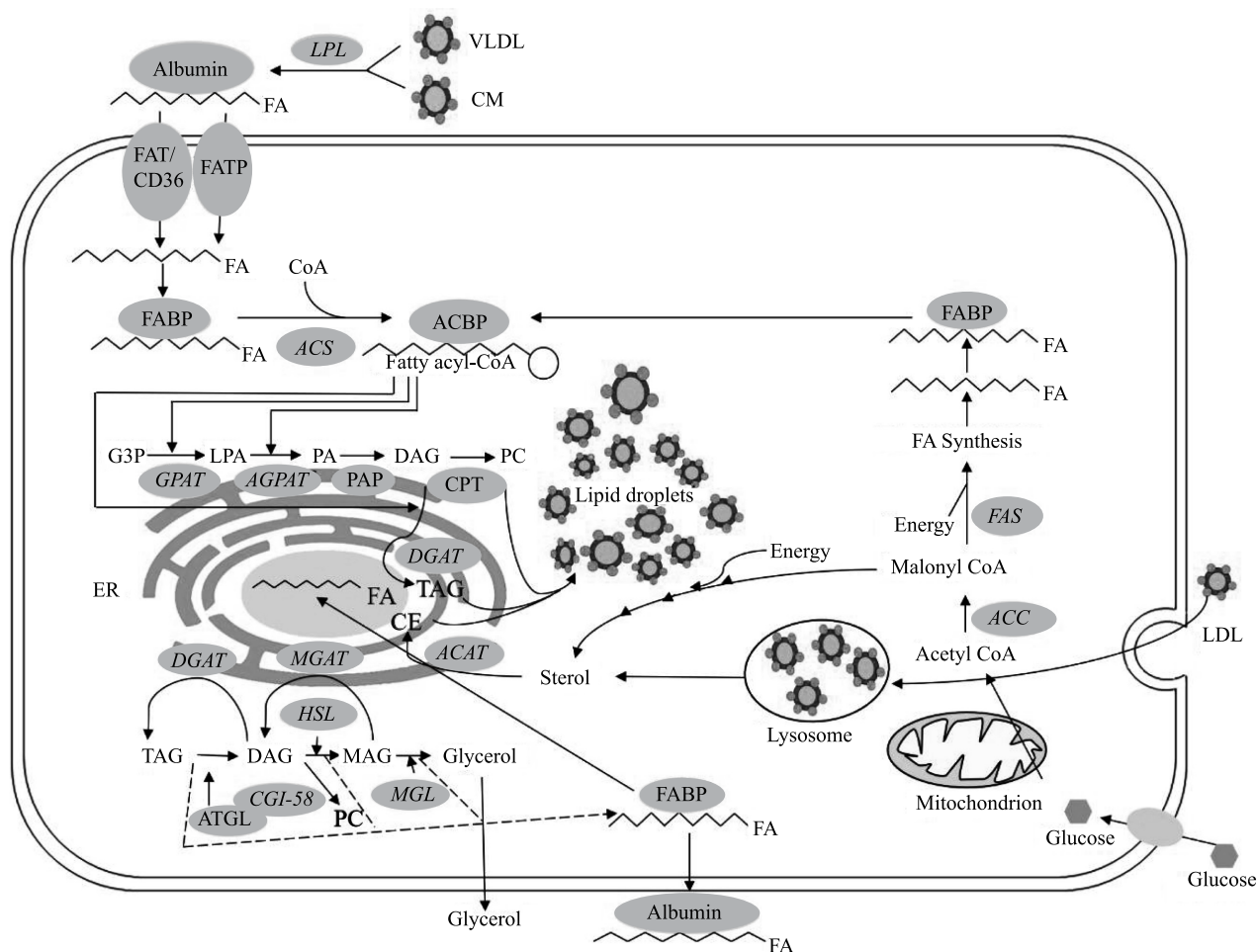
当饲料中胆固醇含量过高时,胆固醇会在胆固醇酰基辅酶 A 转移酶(*ACAT*)的催化下生成胆固醇酯,胆固醇酯与甘油三酯及磷脂会形成脂滴,因此胆固醇摄入过多时,脂滴生成增加,鱼类肝胰脏负担加重,造成营养性疾病。甘油三酯水解酶(*ATGL*)作为甘油三酯水解的关键限速酶,必须经过对比相似性基因-58(*CGI-58*)的激活,当 *ATGL* 或 *CGI-58* 基因功能缺失时,会导致甘油三酯在体内的积累。

## 2.3 饲养模式

由于高养殖密度、饲料营养素配比失衡、高投饲频率、短养殖周期以及水环境污染等问题,导致养殖鱼类营养代谢性疾病频发。在自然界和人工饲养条件下,鱼类因饲养模式、饲养密度、季节变化、饲料投喂情况等因素的影响受到胁迫,从而影响到鱼类的行为及生长代谢,甚至威胁到鱼类的生存<sup>[54]</sup>。水产养殖活动中的非生物环境因素(即温度、盐度和光

周期)<sup>[55]</sup>的变化都与鱼类营养状况相关。鱼类饲养的环境条件直接影响鱼的生长甚至生存,当饲料营养不足或过剩时,鱼体就会出现代谢紊乱、活动能力明显减弱、免疫力下降,严重时甚至引起死亡<sup>[56]</sup>。

另外,当养殖密度增加时,鱼类产生一系列的应激反应来适应复杂的环境,这需要消耗大量的能量,对鱼类生长造成不利影响<sup>[57]</sup>。



CM:乳糜微粒(Chylomicron);LDL:低密度脂蛋白(Low density lipoprotein);VLDL:极低密度脂蛋白(Very low density lipoprotein);LPL:脂蛋白脂酶(Lipoprotein lipase);Albumin:血浆蛋白;FAT:脂肪酸移位酶(Fatty acid transferase);FATP:脂肪酸转运蛋白(Fatty acid transporter);FABP:脂肪酸结合蛋白(Fatty acid binding protein);ACS:乙酰辅酶A合成酶(Acetyl-CoA synthetase);ACBP:酰基辅酶A结合蛋白(Acyl-CoA-binding protein);GPAT:甘油-3-磷酸酰基转移酶(Glycerol-3-phosphate acyltransferases);DGAT:二酰基甘油酰基转移酶(Diacylglycerol acyltransferase);AGPAT:酰基甘油-3-磷酸酰基转移酶(Acylglycerol-3-phosphate O-acyltransferase);CPT:肉碱酰基转移酶(Carnitine palmitoyl transferase);ACAT:胆固醇酰基辅酶A转移酶(Cholesterol acyl coenzyme A transferase);CGI-58:对比相似性基因-58(Comparative gene identification-58);ACC:乙酰辅酶A羧化酶(Acetyl CoA carboxylase);FAS:脂肪酸合成酶(Fatty acid synthase);MGL:单酰甘油脂肪酶(Monoacylglycerol);HSL:激素敏感性甘油三酯脂肪酶(Hormone-sensitive lipase);G3P:甘油醛3-磷酸(Glyceraldehyde 3-phosphate);LPA:溶血磷脂酸(Lysophosphatidic acid);DAG:二酰基甘油(Diacylglycerol);PA:磷脂醇(Phosphatidylcholine);TAG:三脂酰甘油(Triacylglycerol);DAG:甘油二酯(Diacylglycerol);MAG:甘油一酯(Monoacylglycerol);MGAT:甘油单酰基转移酶(Monoacylglycerol acyltransferase);Glycerol:甘油;Glucose:葡萄糖;FA:脂肪酸(Fatty acid);CoA:辅酶A(Coenzyme A);ER:内质网(Endoplasmic reticulum);ATGL:脂肪甘油三酯脂肪酶(Adipose triglyceride lipase);PC:磷脂酰胆碱(Phosphatidyl choline);PAP:磷脂酸酯酶(Phosphatidic acid phosphate ester enzyme);CE:胆固醇酯(Cholesteryl ester);Fatty acyl-CoA:脂酰辅酶A;Malonyl CoA:丙二酰辅酶A;Acetyl CoA:乙酰辅酶A;Sterol:固醇;Lipid droplets:脂滴;Lysosome:溶酶体;Energy:能量;Mitochondrion:线粒体;Albumin:白蛋白。

图3 鱼类肝胰脏脂质合成分解及转运

Fig.3 Synthesis, decomposition and transport of lipids in fish hepatopancreas

## 2.4 其他原因

水温、农药和重金属残留等外部环境因素均可影响鱼类代谢稳态<sup>[58-59]</sup>。适当提高水温能够提高鱼体的新陈代谢速率,促进鱼类对饲料的摄入,进而促进脂肪在鱼体内的积累。如适当提高温度会造成塞内加尔鲷稚鱼体脂肪含量显著升高<sup>[51]</sup>。此外,水中过量的敌百虫会造成异育银鲫肝胰脏脂肪沉积<sup>[60]</sup>。

## 3 防治措施

为了有效地防治营养代谢病的发生,可从精准营养配方和规范的饲养管理等方面着手。首先,严格控制饲料的品质,要投喂无毒、清洁且没有腐败、发霉的饲料。同时要注意饲料中各营养成分的比例平衡,根据鱼的种类、生长阶段、季节等因素,制定合理科学的配方。此外,可在饲料中添加胆汁酸、中草药、益生菌和益生元等饲料添加剂预防鱼类营养代谢性疾病。同时,加强对养殖水域环境的保护,提高人工养殖水产品品质,严格规范养殖用药、投饵、病害防治、排污等生产行为,不断完善养殖空间布局,发展健康绿色的生态养殖环境,实现科学、绿色、健康的养殖模式。

## 4 总结和展望

综合文献报道可知,鱼类营养代谢性疾病是由外在环境(饲料成分、饲养模式和水体环境等)和内部基因共同作用而产生的。水产养殖学界和业界应该综合考虑导致鱼类营养代谢疾病的内部基因及外在环境因素,通过营养调控、环境干预及基因操纵等手段减少脂肪在肝胰脏和肠系膜等内脏组织中的过度蓄积,进而减少鱼类营养疾病的发生,减少养殖户不必要的经济损失,促进水产养殖业的绿色健康发展。

### 参考文献:

- [1] 高红梅,王明学,张国辉. 鱼类营养代谢病[J]. 水生态学杂志, 2004, 24(2): 67-69.
- [2] BELL J D, MCEVOY J, TOCHER D R, et al. Depletion of  $\alpha$ -tocopherol and astaxanthin in Atlantic Salmon (*Salmo salar*) affects autoxidative defense and fatty acid metabolism[J]. Journal of Nutrition, 2000, 130(7): 1800-1808.
- [3] 吉红,曹艳姿,刘品,等. 饲料中 HUFA 影响草鱼脂质代谢的研究[J]. 水生生物学报, 2009, 33(5): 881-889.
- [4] 淦胜. 鱼类肝胆综合症是什么原因导致的?[J]. 渔业致富指南, 2017(6): 61-62.
- [5] 韩杰,郭黛健. 鱼类营养性脂肪肝的诱发因素及调控措施[J]. 北京水产, 2007(6): 5-7.
- [6] 谢刚,海波. 鱼类肝胆综合症的防治[J]. 江西饲料, 2006, 27(4): 43.
- [7] 金天明,杜国全. 鲤鱼出血病病因分析及预防对策[J]. 内蒙古民族大学学报, 2003, 18(4): 323-324.
- [8] 马俊岭,马学华,薛贵虎,等. 山东省淡水鱼类的营养性疾病[J]. 齐鲁渔业, 2005, 22(10): 19-20.
- [9] DU Z Y, LIU Y J, TIAN L X, et al. Effect of dietary lipid level on growth, feed utilization and body composition by juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2005, 11(2): 139-146.
- [10] 华鼎晶,蔡妙兰. 石斑鱼综合症的研究:治疗技术[J]. 海洋科学, 1992, 16(5): 7-8.
- [11] 李春洲. 鱼类肝胆综合症的防治[J]. 科学养鱼, 2009(11): 83.
- [12] WANG X, LI Y, HOU C, et al. Physiological and molecular changes in large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* R. with high-fat diet-induced fatty liver disease [J]. Aquaculture Research, 2015, 46(2): 272-282.
- [13] MARTINS D A, VALENTE L M, Lall, S P. Effects of dietary lipid level on growth and lipid utilization by juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) [J]. Aquaculture, 2007, 263(1): 150-158.
- [14] LU J W, YANG W Y, LIN Y M, et al. Hepatitis B virus X antigen and aflatoxin B1 synergistically cause hepatitis, steatosis and liver hyperplasia in transgenic zebrafish [J]. Acta Histochemica, 2013, 115(7): 728-739.
- [15] 刘迁. 草鱼“肝胆综合症”病理变化及莱籽粕对其肝脏毒性的研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2009.
- [16] 矫继峰,孙宗德,赵金香. 草鱼肝胆综合症的肉眼诊断及病因分析[J]. 科学养鱼, 2007(7): 57-85.
- [17] 施海涛,孙秀娟. 黄颡鱼肝胆疾病防治小结[J]. 渔业致富指南, 2013(3): 68-70.
- [18] 汪开毓,陈德芳,赵敏,等. 罗非鱼主要疾病介绍与防治技术(四)[J]. 科学养鱼, 2010(9): 12-13.
- [19] BARROS M M, LIM C, EVANS J J, et al. Effect of iron supplementation to cottonseed meal diets on the growth performance of channel catfish, *Ictalurus punctatus* [J]. Journal of Applied Aquaculture, 2000, 10(1): 65-86.
- [20] TAN Q, LIU Q, CHEN X, et al. Growth performance, biochemical indices and hepatopancreatic function of grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*, would be impaired by dietary rapeseed meal[J]. Aquaculture, 2013, 414/415: 119-126.
- [21] WANG K, WANG E, QIN Z, et al. Effects of dietary vitamin E deficiency on systematic pathological changes and oxidative stress in fish[J]. Oncotarget, 2016, 7(51): 838-869.
- [22] ZENG H, YILMAZ K. Antioxidant defence of the actively feeding *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum 1792) larvae in relation to dietary PUFA and vitamin E contents[J]. Regional Studies in Marine Science, 2016, 3(3): 2352-2359.
- [23] PAN J H, FENG L, JIANG W D, et al. Vitamin E deficiency depressed fish growth, disease resistance, and the immunity and structural integrity of immune organs in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*): Referring to NF- $\kappa$ B, TOR and Nrf2 signaling[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2017, 60: 219-236.
- [24] TRICHET V V, SANTIGOSA E, COCHIN E, et al. The effect of vitamin C on fish health[M]. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2015: 151-171.



- [25] WANG K Y, PENG C Z, HUANG J L, et al. The pathology of selenium deficiency in *Cyprinus carpio* L. [J]. Journal of Fish Diseases, 2013, 36(7): 609-615.
- [26] 张旭东,温海深,陈怀发,等. 鲤鱼出血病的病因及防治对策[J]. 黑龙江水产, 2008(6): 34-35.
- [27] 刘兴海,刘 伟,张 蓓. 鲤鱼出血病的病因探讨[J]. 水产科技情报, 1996, 23(6): 267-269.
- [28] YANG S, WU S, LI N, et al. A cross-sectional study of the association between risk factors and hemorrhagic disease of grass carp in ponds in Southern China [J]. Journal of Aquatic Animal Health, 2013, 25(4): 265-273.
- [29] 杜震宇. 养殖鱼类脂肪肝成因及相关思考[J]. 水产学报, 2014, 38(9): 1628-1638.
- [30] SIMMONDS E J. Evaluation of the quality of the North Sea herring assessment. [J]. ICES Journal of Marine Science / Journal du Conseil, 2009, 66(8): 1814-1822.
- [31] 曹闻阳. 罗非鱼越冬期的疾病防治[J]. 当代水产, 2001(2): 37-38.
- [32] 张海涛,王安利,李国立,等. 营养素对鱼类脂肪肝病变的影响[J]. 海洋通报, 2004, 23(1): 82-89.
- [33] 汪开毓,陈德芳,赵 敏,等. 罗非鱼主要疾病介绍与防治技术(四)[J]. 科学养鱼, 2010(9): 12-13.
- [34] 区又君. 石斑鱼综合症的防治[J]. 海洋与渔业, 2008(9): 47-48.
- [35] 毛叔良. 网箱石斑鱼膨胀病的防治[J]. 渔业致富指南, 2003(7): 41.
- [36] 华鼎可,张志宇. 石斑鱼综合征的研究: I. 病原学和病理组织学[J]. 仲恺农业技术学院学报, 1995, 8(2): 73-80.
- [37] ZHANG J, ZHAO N, SHARAWY Z, et al. Effects of dietary lipid and protein levels on growth and physiological metabolism of *Pelteobagrus fulvidraco* larvae under recirculating aquaculture system (RAS) [J]. Aquaculture, 2018, 495: 458-464.
- [38] JOBLING M. National research council (NRC): nutrient requirements of fish and shrimp [J]. Aquaculture International, 2012, 20(3): 601-602.
- [39] TAN X, SUN Z, LIU Q, et al. Effects of dietary ginkgo biloba leaf extract on growth performance, plasma biochemical parameters, fish composition, immune responses, liver histology, and immune and apoptosis-related genes expression of hybrid grouper (*Epinephelus lanceolatus* ♂×E) [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2017, 73: 399-409.
- [40] 张春暖,王爱民,刘文斌,等. 饲料脂肪水平对梭鱼脂肪沉积、脂肪代谢酶及抗氧化酶活性的影响[J]. 中国水产科学, 2013, 20(1): 108-115.
- [41] 王道尊,龚希章,刘玉芳. 饲料中脂肪的含量对青鱼鱼种生长的影响[J]. 水产学报, 1987, 11(1): 23-28.
- [42] 刘梅珍,石文雷. 饲料中脂肪的含量对团头鲂鱼种生长的影响[J]. 水产学报, 1992, 16(4): 330-336.
- [43] 张泽芸,张季涛,陈先均. 饲料中的脂肪含量对长吻(鱼危)鱼种生长的影响[J]. 西南农业学报, 1991, 4(4): 110-114.
- [44] LEE S M, JEON I G, LEE J Y. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegelii*) [J]. Aquaculture, 2002, 211(1): 227-239.
- [45] 林小植,罗毅平,谢小军. 饲料碳水化合物水平对南方鲇幼鱼餐后糖酵解酶活性及血糖浓度的影响[J]. 水生生物学报, 2006, 30(3): 304-310.
- [46] 罗毅平,谢小军. 鱼类利用碳水化合物的研究进展[J]. 中国水产科学, 2010, 17(2): 381-390.
- [47] ENES P, PANSEERAT S, KAUSHIK S, et al. Dietary carbohydrate utilization by european sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) and gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) Juveniles [J]. Reviews in Fisheries Science, 2011, 19(3): 201-215.
- [48] SAU S K, PAUL B N, MOHANTA K N, et al. Dietary vitamin E requirement, fish performance and carcass composition of rohu (*Labeo rohita*) fry [J]. Aquaculture, 2004, 240(1/2/3/4): 360-368.
- [49] BO L, ZHAO Z, BROWN P B, et al. Dietary vitamin A requirement of juvenile Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) determined by growth and disease resistance [J]. Aquaculture, 2016, 450: 23-30.
- [50] 杨 玲,区又君,李加儿. 鱼类的矿物质营养[J]. 水产科技, 2006(4): 4-6.
- [51] SAKAMOTO S, YONE Y. Effect of dietary phosphorus on chemical composition of red sea bream [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1978, 44(3): 227-239.
- [52] DEPLANO M, DIAZ J P, CONNES R, et al. Appearance of lipid-absorption capacities in larvae of the sea bass *Dicentrarchus labrax* during transition to the exotrophic phase [J]. Marine Biology, 1991, 108(3): 361-371.
- [53] TIAN J, WEN H, ZENG L B, et al. Changes in the activities and mRNA expression levels of lipoprotein lipase (LPL), hormone-sensitive lipase (HSL) and fatty acid synthetase (FAS) of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during fasting and re-feeding [J]. Aquaculture, 2013, 400-401: 29-35.
- [54] 朱站英,华雪铭,于 宁,等. 草鱼蛋白质和脂肪代谢对饥饿胁迫的响应[J]. 水产学报, 2012, 36(5): 756-763.
- [55] HERMESZ E, NEMCSOK J, ABRAHAM M. Stress response in fish [J]. Pathophysiology, 1998, 5(4): 96.
- [56] 吴本丽,黄 龙,何吉祥,等. 长期饥饿后异育银鲫对饲料蛋白质的需求[J]. 动物营养学报, 2018, 30(6): 202-212.
- [57] 张曦文,吴 垠,贺茹靖,等. 循环水养殖模式下养殖密度对青石斑鱼生长及生理指标的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2012, 27(6): 518-522.
- [58] 朱莉飞,李 伟,王赛赛,等. 氯化镉暴露对罗非鱼血液指标的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(18): 217-219.
- [59] 徐文杰,韩士群,周 庆,等. 饲料中添加抗氧化剂对鲫鱼抵抗藻毒素作用的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(2): 417-422.
- [60] XU W N, LIU W B, JIANG Y Y, et al. Effect of trichlorfon on oxidative stress and hepatocyte apoptosis of *Carassius auratus* gibelio in vivo [J]. Fish Physiology & Biochemistry, 2012, 38(3): 769-775.

(责任编辑:张震林)