

大口黑鲈不同生长阶段肝脏脂肪沉积及脂肪代谢酶活性研究*

但言,余凤琴,李双,李锋,陈元坤,陈红霖,李燕,王恕桥
(重庆市水产科学研究所,重庆401120)

摘要:【目的】考察大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)不同生长阶段肝脏的脂肪沉积情况及脂肪代谢酶的活性。【方法】分别采集150,180,210,270,300,360,420,450和480日龄共9个生长时期的实验鱼,测定形态学指标和肝脏的粗脂肪含量及脂肪代谢关键酶的活性。【结果】随着生长时期的延长,体质量、体长逐渐增加;肥满度在450日龄最大;脏体比在150日龄最高,450日龄最低;肝体比整体呈现出缓慢降低的趋势;肝脂肪在150~210日龄积累较为严重,肝脂肪含量在生长中后期呈现出下降升高交替出现的趋势。脂蛋白脂酶活性在生长中期(360~420日龄)达到峰值后逐渐降低;激素敏感性脂肪酶、蛋白激酶A和乙酰CoA羧化酶(ACC)活性在生长初期的变化趋势较一致,均呈现先下降后升高再降低的趋势。脂肪酸合成酶(FAS)活性在生长初期先升高后降低,在后期又逐步提升。在养殖中期,肝脂肪含量与ACC活性具有统计学意义上的负相关关系($p < 0.05$),与FAS活性具有统计学意义上的负相关关系($p < 0.01$)。【结论】大口黑鲈肝脏的脂肪沉积和脂肪代谢与生长阶段密切相关,在养殖过程中应在不同的生长阶段及时做好相应的脂肪肝病预防。

关键词:大口黑鲈;生长阶段;肝脏;脂肪沉积;脂肪代谢

中图分类号:S964.3

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2022)03-0014-07

大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)俗称加州鲈,隶属鲈形目(Perciformes)太阳鱼科(Ceetrachidae)黑鲈属(*Micropterus*)。20世纪70年代末,中国从国外引种该鱼种并繁育成功;因它具有生长快、肉质鲜嫩、营养丰富等特点,现已成为中国重要的淡水养殖品种之一^[1]。中国大口黑鲈养殖产量逐年递增,至2019年淡水养殖总产量约为477 808 t,占中国淡水鱼类养殖产量1.88%^[2]。

大口黑鲈是一种肉食性鱼类,对养殖中作为鱼类主要营养来源的颗粒配合饲料中淀粉的利用能力较差。在使用配合饲料养殖的中、后期,养殖鱼类常出现明显的肝脏疾病,表现为肝脏肿大、脂肪过度积累等;由此造成代谢紊乱,导致生长性能和饲料利用率下降^[3-4]。目前,关于鱼类的脂肪沉积研究主要集中在饲料营养^[5-6]、投喂频率及水平^[7-8]等外源性因素的影响。尽管有研究证明鱼龄、性别等鱼类生理因素也是影响脂肪代谢的因素之一^[9-10],但是相关研究目前仍然较少。本研究分析了大口黑鲈在不同生长阶段肝脏的脂肪沉积及脂肪代谢酶活性,以便为大口黑鲈的肝脏疾病防治提供参考资料。

1 材料和方法

1.1 养殖实验及管理

养殖实验在重庆市水产科学研究所长寿湖基地养殖池塘中进行。实验用大口黑鲈鱼苗均为2019年3月孵出,4月购入并养于池塘,实验期间每日8:30和16:00分别饱食投喂各1次,根据不同日龄选用不同粒径规格的商业饲料。饲料为源牌加州鲈配合饲料(实测产品主要成分粗蛋白、粗脂肪和粗灰分的质量分数分别为50%,8%和16%),日投喂量为鱼体质量的3%~5%,并根据摄食情况适时调整。实验期间水温变化范围为8.23~28.66℃;溶氧量的变化范围为5.86~6.78 mg·L⁻¹。

1.2 样品采集

分别于150日龄(2019年8月)、180日龄(2019年9月)、210日龄(2019年10月)、270日龄(2019年12月)、300日龄(2020年1月)、360日龄(2020年3月)、420日龄(2020年5月)、450日龄(2020年6月)和480日龄

* 收稿日期:2021-06-18 修回日期:2021-08-02 网络出版时间:2022-05-17 09:35

资助项目:国家自然科学基金(No.31901183);重庆市科技局自然科学基金面上项目(No.cstc2019jcyj-msxmX0748)

第一作者简介:但言,男,正高级工程师,研究方向为动物微生态、渔业环境,E-mail:435896207@qq.com

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20220516.1541.006.html

(2020年7月)采集样品。每次随机采集大口黑鲈12尾,测量体长、体质量、内脏质量和肝脏质量,并取肝脏置于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中保存。

1.3 测定指标及方法

形态指标脏体比(I_{vs})、肝体比(I_h)及肥满度(F_c)的计算公式如下:

$$I_{vs} = \frac{m_{\text{内脏}}}{m} \times 100\%, I_h = \frac{m_{\text{肝脏}}}{m} \times 100\%, F_c = \frac{m}{d^3} \times 100\%$$

其中: m 为体质量(单位:g), $m_{\text{内脏}}$ 为内脏质量(单位:g), $m_{\text{肝脏}}$ 为肝脏质量(单位:g), d 为体长(单位:cm)。

肝脂肪含量(以鲜质量计)按照文献[11]的方法进行测定。

肝脏中脂肪代谢酶的测定:准确称取0.5g肝脏组织,用质量分数为0.86%的生理盐水按质量体积比1:4进行匀浆, $3\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心10min后取上清液测定酶活性。采用上海羽朵生物科技有限公司提供的ELISA检测试剂盒测定蛋白激酶A(PKA)、激素敏感性脂肪酶(HSL)、乙酰CoA羧化酶(ACC)、脂蛋白脂酶(LPL)和脂肪酸合成酶(FAS)的活性,测定方法严格按试剂盒说明书进行。

1.4 数据处理

用Excel 2016软件对实验数据做初步处理,并均用“平均值±标准误”表示,再用SPSS 17.0软件进行单因素方差分析,并用LSD法进行多重比较。相关性分析采用偏相关分析,控制变量为日龄,当 $p < 0.05$ 时,有关统计结果具有统计学意义。

2 结果

2.1 形体指标的变化

不同生长阶段大口黑鲈的形体指标变化见表1。由表1可知:随着日龄的增加,大口黑鲈的体质量、体长整体呈增长趋势,肥满度在450日龄最大。150日龄时脏体比最高,与270日龄、420日龄及450日龄时脏体比的差异具有统计学意义($p < 0.05$);450日龄时脏体比最低,与150日龄时脏体比的差异具有统计学意义($p < 0.05$)。随着大口黑鲈的生长,肝体比总体呈现缓慢降低的趋势,270日龄时肝体比最高,与300日龄、420~480日龄时肝体比的差异具有统计学意义($p < 0.05$);480日龄肝体比最低,与150~360日龄及450日龄时肝体比的差异具有统计学意义($p < 0.05$)。肝脂肪在生长前期(150~210日龄)积累较为严重,在生长中后期,肝脂肪含量呈现出下降升高交替出现的趋势,且在210日龄时肝脂肪积累最为严重。150~210日龄和450~480日龄时肝脂肪含量比270~420日龄时更高,与后者的差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

表1 大口黑鲈不同生长阶段形体指标的变化

Tab.1 The change of physical index in different growth stages of *Micropterus salmoides*

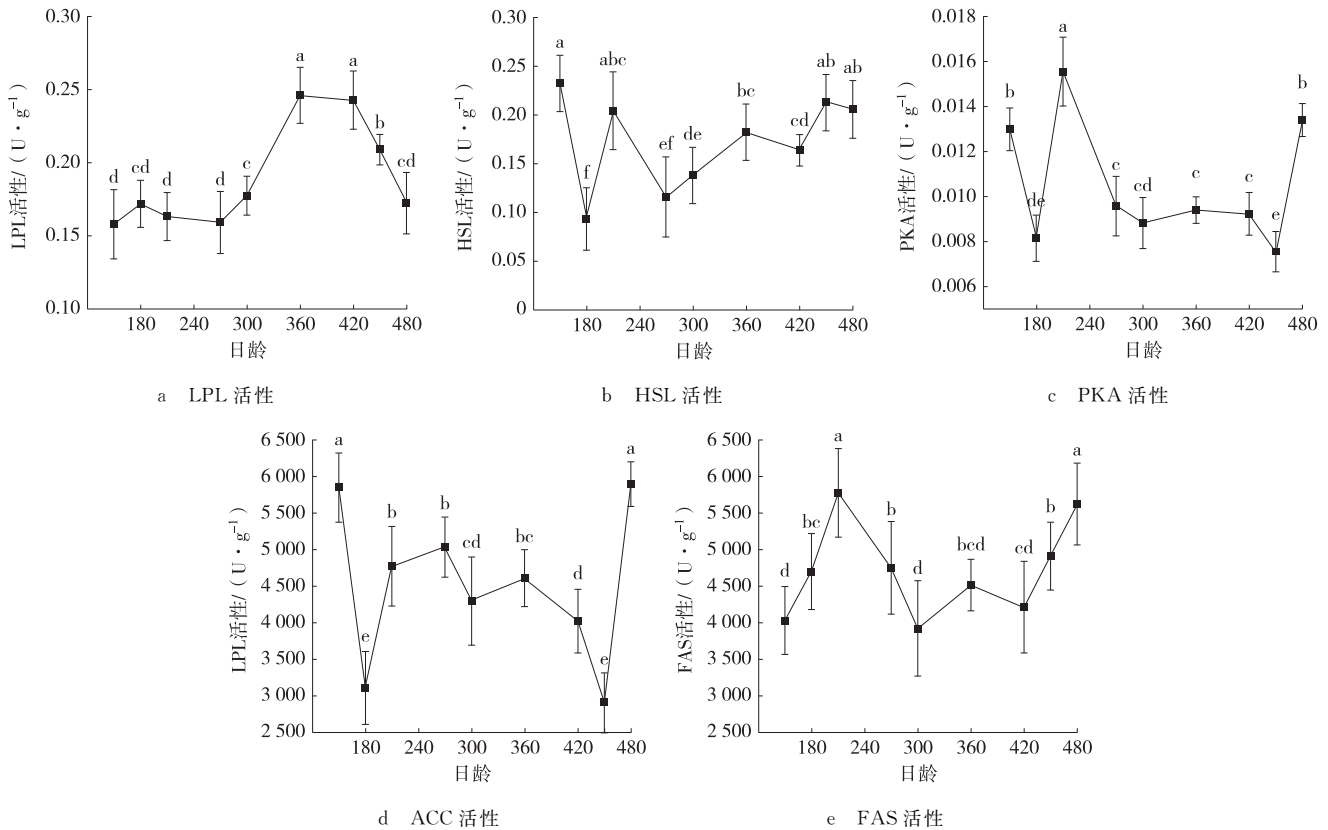
日龄	体质量/g	体长/mm	肥满度/%	脏体比/%	肝体比/%	肝脂肪含量/(mg·g ⁻¹)
150	54.76±24.15 ^f	150±21 ^c	2.45±0.30 ^{ab}	12.23±0.92 ^a	2.46±0.74 ^{abc}	49.3±15.2 ^b
180	97.81±27.12 ^e	186±16 ^c	2.43±0.16 ^b	11.56±2.29 ^{ab}	2.70±0.97 ^{ab}	48.3±6.50 ^b
210	177.35±34.95 ^d	227±17 ^c	2.27±0.28 ^{cd}	10.14±2.07 ^{ab}	2.60±0.51 ^{ab}	55.2±14.8 ^a
270	191.65±37.13 ^d	234±14 ^c	2.20±0.13 ^d	9.85±2.16 ^b	2.76±0.44 ^a	24.4±9.20 ^d
300	222.18±54.91 ^d	241±14 ^{bc}	2.18±0.19 ^d	11.37±3.97 ^{ab}	2.33±0.47 ^{bc}	26.0±12.2 ^c
360	223.38±34.82 ^{cd}	273±72 ^{abc}	2.42±0.13 ^{ab}	10.24±1.91 ^{ab}	2.73±0.13 ^{ab}	28.7±6.20 ^c
420	288.31±73.92 ^{bc}	279±13 ^a	2.52±0.21 ^a	8.81±1.31 ^b	1.59±0.23 ^{de}	35.8±4.80 ^c
450	305.00±70.33 ^b	267±16 ^{ab}	2.62±0.21 ^a	8.62±0.94 ^b	1.98±0.26 ^{cd}	38.3±8.40 ^b
480	372.63±42.99 ^a	286±6 ^a	2.41±0.20 ^{bc}	11.41±3.71 ^{ab}	1.38±0.19 ^e	48.3±11.0 ^b

注:不同上标字母代表不同日龄时大口黑鲈某一指标的差异具有统计学意义($p < 0.05$);每组样本量为12尾

2.2 肝脏脂肪代谢酶活性的变化

由图1可知:随着大口黑鲈的生长,LPL活性呈现出升高降低交替出现的趋势,最大值出现在360日龄,最小值出现在150日龄。HSL和PKA活性均表现出降低升高交替出现的趋势,其中:HSL活性最大值出现在150

日龄,最小值出现在 180 日龄。PKA 活性最大值出现在 210 日龄,与其他生长阶段时 PKA 活性的差异均具有统计学意义($p < 0.05$);最小值出现在 450 日龄。ACC 活性最大值出现在 480 日龄,与 180~450 日龄时 ACC 活性的差异均具有统计学意义($p < 0.05$);最小值出现在 450 日龄。FAS 活性在 150~210 日龄升高,最大值出现在 210 日龄;随后 FAS 活性降低,最小值出现在 300 日龄。



注:不同小写字母表示组间数据差异具有统计学意义($p < 0.05$);每组样本为 12 尾

图 1 大口黑鲈不同生长阶段肝脂肪代谢酶活性的变化

Fig. 1 The change of liver lipid metabolism enzymes activities in different growth stage of *M. salmoides*

对肝脏含量与 5 种脂肪代谢酶活性进行偏相关分析(表 2)。从养殖全过程来看,肝脂肪含量与 5 种脂肪代谢酶活性无统计学意义上的相关性关系。在养殖中期,肝脂肪含量与 ACC 活性具有统计学意义上的负相关关系($p < 0.05$),且与 FAS 活性在 $p < 0.01$ 水平具有统计学意义上的负相关关系。

表 2 肝脂肪含量与代谢酶活性的相关性

Tab. 2 Correlation analysis of liver lipid and metabolism enzymes

不同生长阶段肝脂肪含量	LPL 活性	HSL 活性	PKA 活性	ACC 活性	FAS 活性
前期(150~210 日龄)肝脂肪含量	0.323	-0.105	-0.183	-0.225	0.382
中期(270~360 日龄)肝脂肪含量	-0.391	-0.114	0.001	-0.483*	-0.657**
后期(420~480 日龄)肝脂肪含量	-0.376	-0.023	0.310	0.384	-0.064
全程肝脂肪含量	-0.173	-0.029	0.061	0.088	-0.072

注:**表示在 $p < 0.01$ 水平(双侧)上具有统计学意义上的相关关系;*表示在 $p < 0.05$ 水平(双侧)上具有统计学意义上的相关关系

3 讨论

3.1 不同生长阶段大口黑鲈的形体指标及肝脏脂肪沉积

本研究中,随着大口黑鲈的生长,肝体比整体呈现出缓慢下降的趋势,与牛波^[12]对齐口裂腹鱼

(*Schizothorax prenanti*)的研究结果相似。高等动物肝脏和肌肉都可作为脂肪的储存位点。大量研究表明^[13-14],鱼类的脂肪主要储存位点是肝脏,因此比高等动物更容易产生脂肪肝的问题。鱼类的脂肪肝从产生机制上可分为纯营养型脂肪肝与非营养型脂肪肝两大类^[15-16]。纯营养型脂肪肝一般源于饲料能量过剩或营养素配比不平衡,生理表现就是传统意义上的典型脂肪肝症状,包括肝脏变大、肝体比增加、肝色苍白、脂肪浸润、脂滴增多、细胞核偏移等^[17]。朱志明等人^[18]发现大口黑鲈对饲料中脂质的需求占比为10%~15%,这可能导致脂质在鱼体肌肉、肝脏和腹腔中大量积累。本研究所采用的饲料粗脂肪含量仅为8%,难以使实验鱼体出现纯营养型的脂肪肝,所以实验鱼体肝脂肪的变化主要受到生理及其他因素的影响。Lin等人^[19]在对草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)脂肪肝的研究中认为,草鱼肝体比大于3%、肝脏脂肪大于5%时即为出现脂肪肝的现象。在本研究中,150~210日龄鱼体肝体比和肝脂肪在整个实验阶段处在较高水平,接近于Lin等人的研究标准,说明大口黑鲈在养殖前期的肝脏脂肪积累较多,可能更容易受到脂肪肝病的威胁。

自然环境条件下,鱼类生理特性是导致鱼类肝脏脂肪过量积累的重要原因之一^[17]。幼鱼的各个器官发育还不够完善,摄食代谢能力还不足,不能有效地代谢和吸收饲料中的脂质,容易在体内形成沉积;而成鱼生理机能相对完善,外源性脂肪酸不能完全满足鱼体生长,需要内源性脂肪酸补给。Hatlen等人^[9]的研究表明,鱼龄是鱼类肝脏脂肪沉积的重要影响因子,鱼龄较大的鱼的肝脏脂肪积累对于饲料能量变化并不敏感,而幼鱼的肝脂积累则较易受到饲料能量变化的影响。因此,在大口黑鲈幼鱼阶段应合理投喂饲料及掌握配比,防止营养过剩产生脂肪肝病并诱发其他疾病。

3.2 不同生长阶段大口黑鲈的肝脏脂肪代谢关键酶活性

动物体内脂肪的沉积是受脂肪合成和分解共同作用的结果,机体通过协调控制有关脂肪合成和分解的酶的活性和基因的表达来调节体脂的沉积^[20]。同时外部环境如水温及饲料成分分配比对鱼类肝脏脂肪代谢也有着重要的影响^[21]。本研究通过测定肝脂肪代谢酶活性来研究大口黑鲈生长过程中肝脏脂肪代谢的变化。研究发现LPL活性随着大口黑鲈的生长表现出先增后减的趋势,150~300日龄与480日龄时LPL活性无统计学意义上的差异,360~450日龄时LPL活性较高,与其他时期LPL活性的差异具有统计学意义($p < 0.05$),与肝脏脂肪含量变化呈现相反的趋势,这与LPL能够促进肝脂肪分解有关。倪燕君等人^[22-23]在人(*Homo sapiens*)和小鼠(*Mus musculus*)上的研究也表明,脂肪肝会明显降低LPL活性。牛波^[12]发现齐口裂腹鱼亚成鱼个体在肌肉和肝胰脏中LPL基因mRNA的表达量均高于稚鱼和成鱼组,这也进一步说明了不同生长阶段对肝脏代谢酶具有影响。本研究中实验鱼270~420日龄肝脏LPL活性不断升高,这可能是肝脏利用LPL水解脂肪,为生长发育提供更多的能量。此外,本研究中大口黑鲈养殖初期肝脂肪含量较高,此时LPL活性较低;养殖后期肝脂肪含量上升,此时LPL活性不断降低。这也与牛波^[12]的研究结果基本一致。

HSL在动物机体内主要水解脂肪组织中的甘油三酯并释放游离的脂肪酸以参与氧化供能,但是该调控机制复杂且涉及多个反应机制^[24]。解琦等人^[25]在研究不同温度对翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis*)幼鱼脂肪酶活性的影响中发现,肝胰脏中脂肪酶活性随着水温升高呈现先升高后降低的趋势。向泉等人^[26]在温度对嘉陵江鲴鱼(*Silurus asotus*)消化酶影响研究中也得出一致的结论。本实验中随着大口黑鲈的生长,HSL活性表现出降低升高交替出现的现象,在150~210日龄HSL活性变化幅度较大,在270~480日龄该酶活性略有变化,这可能是由于水温的季节性变化对HSL活性具有一定程度的影响。

活化的PKA可通过抑制脂质合成,促进脂质分解、氧化及产热等多方面改善肥胖症^[27]。李富强^[28]的研究表明,提升PKA活性能抑制脂肪细胞的分化,PKA在抑制脂肪细胞分化的效应中起着关键的作用。本研究中实验鱼在210日龄时PKA活性最高,说明此阶段肝脏脂肪沉积作用开始不断减弱,这也与实验中期肝脂肪含量开始降低的趋势相一致。

ACC作为脂肪酸合成过程中的关键酶,主要调节脂肪酸合成以及脂肪酸的 β -氧化,对脂肪沉积有着重要作用^[29]。ACC参与长链脂肪酸的从头合成,酶活性的高低可影响肝脏和肌肉组织中的脂肪代谢^[30]。孙军军等人^[31]研究发现在高糖饲料投喂下,草鱼ACC基因在肝脏中的表达量上升,也说明了ACC与肝脂肪含量有着正相关关系。但是在本研究中ACC活性在养殖中期与实验鱼肝脂肪含量呈统计学意义上的负相关关系($p < 0.05$),这可能是因为在养殖中期大口黑鲈处在生长的关键节点,在机体合成脂肪酸的同时,脂肪水解为机体提供能量的强度也在增加。

FAS是内源性脂肪酸合成的关键酶,能够催化丙二酰辅酶A、乙酰辅酶A和还原型辅酶II体内合成为长链

(16 碳)饱和软脂酸盐^[32]。本研究中 FAS 活性在养殖初期表现出上升趋势,说明大口黑鲈生长初期肝脏内脂肪酸合成作用不断增强。在养殖中期 FAS 活性与肝脏脂肪含量呈统计学意义上的负相关关系($p < 0.01$),与同一时期 ACC 活性和肝脂肪含量呈明显的负相关关系一致,这说明养殖中期实验鱼肝脂肪含量降低,但性脂肪的合成仍在继续。有研究表明^[33],脂肪对 FAS 基因的表达具有抑制作用,而养殖中期肝脂肪降低对 FAS 活性的抑制效果减弱。

肝脂肪含量与大多数脂肪酶之间的关系十分复杂。鱼类脂肪代谢过程也有着许多重要的调控通路,受到众多脂肪代谢调控因子的影响,大口黑鲈肝脂肪沉积的机制还需要进一步的研究分析。

4 结论

本研究结果表明,随着大口黑鲈的生长,脏体比、肝体比整体呈现出缓慢降低的趋势;肝脂肪在养殖初期积累较为严重;在养殖中期,肝脂肪含量与 ACC 活性、FAS 活性均呈统计学意义上的负相关关系($p < 0.05$),鱼龄增长也会对肝脂肪代谢酶活性产生一定的影响。因此,在养殖过程中应该根据大口黑鲈生长情况,及时做好脂肪肝病预防。

参考文献:

- [1] 王秀娟,胡嘉雯,王悦,等.大口黑鲈营养需求的研究进展[J].饲料研究,2019,31(8):112-115.
WANG X J, HU J W, WANG Y, et al. Research progress of nutritional requirement for largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. Feed Research, 2019, 31(8): 112-115.
- [2] 农业农村部渔业管理局.中国渔业统计年鉴 2020[M].北京:中国农业出版社,2020.
Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. China fishery statistical yearbook 2020[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020.
- [3] 白俊杰,李圣杰.我国大口黑鲈产业现状分析与发展对策[J].中国渔业经济,2013,31(5):104-108.
BAI J J, LI S J. Current status and development trend on China largemouth bass industry[J]. Chinese Fisheries Economics, 2013, 31(5): 104-108.
- [4] MAETINS 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.
- [5] 龚红,孙凤刚,黄志毅,等.植物甾醇对加州鲈生长性能、形体指标、肌肉成分及肝脏生化指标的影响[J].水产养殖,2020,41(8): 26-30.
GONG H, SUN F G, HUANG Z Y, et al. Effect of phytosterol on growth performance, physical indicators, muscle composition and hepatic biochemical index of *Micropterus salmoides* [J]. Aquaculture, 2020, 41(8): 26-30.
- [6] 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.
ZHANG C N, WANG A M, LIU W B, et al. Effects of dietary lipid levels on fat deposition, lipid metabolize enzyme and antioxidant activities of *Chelon haematocheilus* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(1): 108-115.
- [7] 刘康,何金钊,冯鹏霏,等.投喂频率和水平对长吻鮠幼鱼消化酶和肝胰脏脂肪代谢酶活性的影响[J].云南农业大学学报(自然科学),2019,34(5):779-784.
LIU K, HE J Z, FENG P F, et al. Effect of feed frequency and level on the digestive enzyme and fat metabolism enzyme in hepatopancreas of Juvenile *Leiostichus longirostris* [J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2019, 34(5): 779-784.
- [8] 钱宝英,黄红丽,李娟.饥饿胁迫对大黄鱼激素敏感性脂肪酶和乙酰辅酶 A 羧化酶 mRNA 表达及酶活性的影响[J].海洋学报,2018,40(12):31-39.
QIAN B Y, HUANG H L, LI J. Effects of fasting on the mRNA levels and enzymatic activities of hormone sensitive lipase and acetyl-CoA carboxylase in the large yellow croaker *Larimichthys crocea* [J]. Haiyang Xuebao, 2018, 40(12): 31-39.
- [9] HATLEN B, GRISDALE-HELLAND B, HELLAND S J. Growth, feed utilization and body composition in two size groups of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed diets differing in protein and carbohydrate content [J]. Aquaculture, 2005, 249(3): 401-408.
- [10] ZHANG W, ZHANG Y T, ZHANG H X, et al. Sex differences in transcriptional expression of FABPs in zebrafish liver after chronic perfluorononanoic acid exposure [J]. Environmental Science & Technology, 2012, 46(9): 5175-5182.

- [11] 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中脂肪的测定(GB5009.6—2016)[M]. 北京:中国标准出版社,2016.
China Food and Drug Administration. Determination of fat in national standard food for foodsafety(GB5009.6—2016)[M]. Beijing:Standards Press of China,2016.
- [12] 牛波. 齐口裂腹鱼肌肉品质、血脂、和 FAS 及 LPL 基因表达的研究[D]. 雅安:四川农业大学,2014.
NIU B. Research on muscle quality, blood lipid and expression of fatty acid synthase and lipoprotein lipase gene of *Schizothorax prenanti* Tchang[D]. Ya'an:Sichuan Agricultural University,2014.
- [13] LIN H S, ROMSOS D R, TACK P I, et al. Influence of dietary lipid on lipogenic enzyme activities in coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum)[J]. Journal of Nutrition,1977,107(5):846-851.
- [14] 朱择敏,马冬梅,白俊杰,等. 大口黑鲈两种脂蛋白脂肪酶基因 cDNA 的克隆及表达特征分析[J]. 水产学报,2013,37(5):641-650.
ZHU Z M, MA D M, BAI J J, et al. Cloning and expression analysis of two cDNAs encoding lipoprotein lipase of *Micropterus salmoides*[J]. Journal of Fisheries of China,2013,37(5):641-650.
- [15] TESSARII P, CORACINA A, COSMA A, et al. Hepatic lipid metabolism and non-alcoholic fatty liver disease[J]. Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases,2009,19(4):291-302.
- [16] TARIQ Z, GREEN C J, HODSON L. Are oxidative stress mechanisms the common denominator in the progression from hepatic steatosis towards nonalcoholic steatohepatitis (NASH)[J]. Liver International,2014,34(7):180-190.
- [17] 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.
DU Z Y. Causes of fatty liver in farmed fish:a review and new perspectives[J]. Journal of Fisheries of China,2014,38(9):1628-1638.
- [18] 朱志明,朱旺明,蓝汉冰. 加州鲈(*Micropterus salmoides*)生物学特性和营养需求研究进展[J]. 饲料工业,2014,35(16):31-36.
ZHU Z M, ZHU W M, LAN H B. The biological characteristics and nutritional requirement of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Feed Industry,2014,35(16):31-36.
- [19] LIN D, MAO Y Q, CAI F S. Nutritional lipid liver disease of grass carp *Ctenopharyngodon idullus* [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology,1990,8(4):363-373.
- [20] 罗建学,李春风,初晓辉,等. 脂肪酸合成酶基因的研究进展[J]. 中国畜牧兽医,2011,38(6):118-123.
LUO J X, LI C F, CHU X H, et al. Research on the fatty acid synthase (FAS) gene[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine,2011,38(6):118-123.
- [21] 周梦馨. 三种温度条件下吉富罗非鱼对饲料脂肪需要量及脂肪代谢研究[D]. 上海:上海海洋大学,2018.
ZHOU M X. Effect of three different temperature on lipid requirement and metabolism of GIFT, *Oreochromis niloticus* [D]. Shanghai:Shanghai Ocean University,2018.
- [22] 倪燕君,刘厚钰,张顺财,等. 肝脂酶、脂蛋白脂肪酶在脂肪肝发病中的作用[J]. 中华消化杂志,1999,19(5):324-327.
NI Y J, LIU H Y, ZHANG C S, et al. The role of hepatic lipase and lipoprotein lipase in the pathogenesis of fatty liver[J]. Chinese Journal of Digestion,1999,19(5):324-327.
- [23] AUWERX J, LEROY P, SGHOONJANS K. Lipoprotein lipase:recent contribution from molecular biology[J]. Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences,1992,29(3/4):243-268.
- [24] LONDOS C, BRASAEMLE D L, SCHULTZ C J, et al. On the control of lipolysis in adipocytes[J]. Annals of the New York Academy of Sciences,1999,892:155-168.
- [25] 解琦,向泉,周新华,等. 不同温度对翘嘴红鲌幼鱼脂肪酶活性的影响[J]. 渔业现代化,2014,41(4):17-20.
XIE Q, XIANG X, ZHOU X H, et al. Effect of temperature on the lipase activities of juvenile *Erythroculter ilishaeformis* [J]. Fishery Modernization,2014,41(4):17-20.
- [26] 向泉,周兴华,陈建,等. 温度对嘉陵江鲂消化酶活性影响的研究[J]. 西南大学学报(自然科学版),2013,35(11):67-73.
XIANG X, ZHOU X H, CHEN J, et al. Effect of temperature on the digestive enzymes in catfish (*Silurus asotus* Linnaeus) in the Jialing river[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition),2013,35(11):67-73.
- [27] 徐海燕,林翠,秦虹. 蛋白激酶 A 在常见慢性病病理过程中调控作用的研究进展[J]. 中国病理生理杂志,2021,37(1):166-172.
XU H Y, LIN C, QIN H. Regulatory role of protein kinase A in pathological process of common chronic disease[J]. Chinese Journal of Pathophysiology,2021,37(1):166-172.
- [28] 李富强. PKA 抑制 3T3-L1 前脂肪细胞的分化[D]. 上海:中国科学院上海生命科学研究院,2008.
LI F Q. PKA inhibits 3T3-L1 preadipocytes differentiation[D]. Shanghai:Shanghai Institutes for Biological Science,2008.
- [29] SONE H, KAMIYAMA S, HIGUCHI M, et al. Biotin augments acetyl CoA carboxylase 2 gene expression in the

- hypothalamus, leading to the suppression of food intake in mice[J]. *Biochemical and Biophysical Research Communication*, 2016, 476(3):134-139.
- [30] CHENG H L, JI N J, PENG Y X, et al. Molecular characterization and tissue-specific expression of the acetyl-CoA carboxylase gene from Grass carp, *Ctenopharyngodon idella* [J]. *Gene*, 2011, 487(1):46-51.
- [31] 孙军军, 卢荣华, 常志光, 等. 糖对草鱼肝脂代谢关键基因转录水平的调控研究[J]. *水产科学*, 2015, 34(11):696-701.
SUN J J, LU R G, CHANG Z G, et al. Effect of carbohydrates on transcription of five key genes involved in lipid metabolism in hepatopancreas of grass carp *Ctenopharyngodon idella* [J]. *Fisheries Science*, 2015, 34(11):696-701.
- [32] MENENDEZ J A, LUPU R. Fatty acid synthase-catalyzed de novo fatty acid biosynthesis: from anabolic-energy-storage pathway in normal tissues to jack-of-all-trades in cancer cells[J]. *Archivum Immunologiae et Therapiae*, 2004, 52(6):414-426.
- [33] CLARKE S D, ARMSTRONG M K, JUMP D B. Nutritional control of rat liver fatty acid synthase and S14 mRNA abundance [J]. *The Journal of Nutrition*, 1990, 120(2):218-224.

Animal Sciences

Liver Fat Deposition and Lipid Metabolism Enzyme Activities in Different Growth Stages of *Micropterus salmoides*

DAN Yan, YU Fengqin, LI Shuang, LI Feng, CHEN Yuankun, CHEN Honglin, LI Yan, WANG Shuqiao
(Chongqing Fishery Science Research Institute, Chongqing 401120, China)

Abstract: [Purposes] The purpose was to investigate the fat deposition in the liver and the activity of fat metabolizing enzymes in the different growth stages of *Micropterus salmoides*. [Methods] A total of 9 growth periods of sample fish were collected at 150, 180, 210, 270, 300, 360, 420, 450, 480 days of age to determine the morphological indicators, the crude fat content of the liver and the activity of key enzymes in fat metabolism. The liver fat deposition was more serious in the age of 150 to 210 days. In the middle and late stages of growth, the content of liver fat presented a trend of decreasing and increasing alternately. [Findings] With the extension of the growth period, the weight and body length gradually increased. The condition factor was the largest at 450 days of age. Viscero-somatic index is highest at 150 days of age, and the lowest at 450 days of age. The hepatosomatic index as a whole showed a slow downward trend. In terms of lipid metabolizing enzymes, lipoprotein lipase (LPL) activity gradually decreased after reaching its peak in the mid-growth period (260~420 days of age); hormone-sensitive lipase (HSL), protein kinase A (PKA) and acetyl CoA carboxylate (ACC) activity in the early stage of growth were relatively consistent, showing a trend of first decline, then increase and then decrease. Fatty acid synthase (FAS) activity first increases and then decreased in the early stages of growth, and then gradually increased in the later stages. There was a statistically negative correlation between liver fat content with ACC activity at the $p < 0.05$ level; a statistically negative correlation with FAS at the $p < 0.01$ level. [Conclusions] Different growth stages of *M. salmoide* had certain effects on liver fat deposition. Therefore, the prevention of liver fatty disease should be done in time in the breeding process according to the growth status of *M. salmoides*.

Keywords: *Micropterus salmoides*; growth stages; liver; liver fat deposition; lipid metabolism

(责任编辑 黄 颖)