

# 普安银鲫(*Carassius auratus gibelio*) 卵黄囊期脂蛋白脂酶和肝脂酶基因的表达 及葡萄糖、维生素 C 对其的影响\*

蒋左玉<sup>1,2</sup> 姚俊杰<sup>2①</sup> 熊铨龙<sup>1,2</sup> 安 苗<sup>2</sup> 朱忠胜<sup>2</sup> 宋 娇<sup>2</sup>

(1. 贵州省瓮安县农村工作局 瓮安 550400; 2. 贵州大学动物科学学院水产科学系  
高原山地动物遗传育种与繁殖教育部重点实验室 贵阳 550025)

**摘要** 为了探讨普安银鲫(*Carassius auratus gibelio*)卵黄囊期脂蛋白脂酶(Lipoprotein lipase, LPL)和肝脂酶(Hepatic lipase, HL)的表达特点及葡萄糖和维生素 C 溶液分别浸泡对它们的影响,本研究采用荧光定量 PCR 技术检测 LPL 和 HL 基因在普安银鲫卵黄囊仔鱼发育中的表达情况及 mRNA 表达水平,并检测了葡萄糖、维生素 C 对这两种基因 mRNA 表达量的影响。结果显示, LPL 和 HL 基因在普安银鲫内源营养期、混合营养期和外源营养期均有表达,且 LPL 和 HL mRNA 表达量呈上升变化。葡萄糖组 LPL 和 HL mRNA 表达量呈上升变化,维生素 C 组也呈上升变化。在内源营养期、混合营养期和外源营养期,葡萄糖能显著上调 LPL 和 HL mRNA 的表达量( $P < 0.05$ );在内源营养期、混合营养期和外源营养期,维生素 C 能显著上调 LPL mRNA 的表达量,而 HL mRNA 的表达量在混合营养期和外源营养期显著高于对照组( $P < 0.05$ )。研究表明,普安银鲫发育至混合营养期时,机体内脂质分解代谢增强。适宜水平的葡萄糖、维生素 C 能诱导 LPL 和 HL mRNA 的表达。

**关键词** 普安银鲫; 卵黄囊期; 脂蛋白脂酶; 肝脂酶; 葡萄糖; 维生素 C

**中图分类号** S917 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2015)06-0043-06

卵黄物质的组分及比例是卵生鱼类胚胎发育和卵黄囊仔鱼期发育的物质基础,会影响鱼类受精率、孵化率及成活率,并对混合性营养期及外源性营养期仔鱼的发育及成活起重要作用(宋志东等, 2014)。脂质是卵黄物质的主要营养成分之一,作为最高的营养素,在生理条件下,其含能是蛋白质和碳水化合物的 2.25 倍左右(朱大世, 2005)<sup>1</sup>。蒋左玉等(2014a)研究表明,在普安银鲫卵黄囊仔鱼发育过程中,脂类作为此发育阶段的主要能量来源而被代谢利用,这也见于其他淡水鱼类的仔鱼发育过程中(Gunasekera *et al*, 1999; Cejasa *et al*, 2004)。脂蛋白脂酶(Lipoprotein lipase,

LPL)是动物组织中脂肪沉积的关键酶,是甘油三酯降解为甘油和游离脂肪酸反应的限速酶,在脂质代谢和转运过程中起着重要作用;而肝脂酶(Hepatic lipase, HL)主要在肝脏中合成,作用于乳糜微粒、极低密度脂蛋白代谢残粒及高密度脂蛋白中的甘油三酯和磷脂的代谢,二者合称总脂酶(Total lipase, TL)。葡萄糖作为一种广受关注的营养物质,在脂质代谢中发挥着重要作用,它能通过调控脂质代谢酶相关基因的表达来促进脂肪的合成、贮存及分解,进而影响脂肪的沉积(符自英, 2008)<sup>2</sup>。维生素 C(Vitamin C, Vc)是鱼、虾、蟹不可或缺的一种营养素和免疫刺激剂,对维持机体

\* 国家自然科学基金项目(31160527)资助。蒋左玉, E-mail: gzuzuyjiang@163.com

① 通讯作者: 姚俊杰, 教授, E-mail: junjieyao@163.com

收稿日期: 2014-11-15, 收修改稿日期: 2014-12-29

1) 朱大世. 饥饿和不同脂肪源对草鱼体脂含量及脂肪酸合成酶的影响. 华中农业大学硕士研究生学位论文, 2005

2) 符自英. 胰岛素和葡萄糖对鹅肝细胞 TG 含量及脂肪代谢相关基因表达的调控. 四川农业大学硕士研究生学位论文, 2008

正常代谢、生长具有重要作用(Lightner *et al.*, 1979)。Hwang 等(2002)和颀志刚等(2003)研究表明, 维生素 C 能通过参与肉碱的合成而间接促进脂质代谢, 同时, 通过在脂质代谢中发挥抗氧化功能来阻断脂肪的氧化链, 防止脂质过氧化。

普安银鲫(*Carassius auratus gibelio*)属鲤形目、鲤科、鲤亚科、鲫鱼属, 作为贵州省普安县青山镇一带独特高原环境条件下形成的一种天然雌核发育鲫鱼, 相关学者已对其胚胎发育特点、胚胎发育中脂酶活性变化特点、仔稚鱼生长特性、早期发育中消化道组织学及酶活性等开展了研究(梁正其等, 2013; 姚俊杰等, 2013; 蒋左玉等, 2014a、b、c; 熊铎龙等, 2014)。鉴于此, 本研究探究普安银鲫卵黄囊仔鱼发育过程中脂蛋白脂酶和肝脂酶的基因的相对表达量及葡萄糖溶液和维生素 C 溶液分别浸泡对其相对表达量的影响, 旨在初步了解普安银鲫卵黄囊期仔鱼的脂质利用规律。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

实验在贵州省普安县普安银鲫原种场进行。普安银鲫为母本, 兴国红鲤(*Cyprinus carpio*)为父本, 经人工催产和干法异源授精后进行人工孵化, 从受精卵至外源营养期的整个发育过程均处于相同的实验环境, 待仔鱼发育至内源营养期、混合营养期和外源营养期时, 分别对正常组(对照组)、15 g/L 葡萄糖组和 30 mg/L 维生素 C 组取样。

### 1.2 实验设计

实验中根据前期实验结果(在 15 g/L 葡萄糖溶液、30 mg/L 维生素 C 溶液中, 仔鱼的孵化率及成活率最高, 仔鱼生长最快)(熊铎龙等, 2014), 分别设置葡萄糖浓度为 0 g/L 和 15 g/L、维生素 C 浓度为 0 mg/L 和 30 mg/L 进行实验。将受精卵放置在 90 cm × 50 cm ×

55 cm 的水箱内孵化, 孵化水体中卵(仔鱼)的平均密度为 1000 粒/L(尾/L), 水温控制在 24℃, 每 8 h 全部换 1 次同温度、同浓度的实验水。每个浓度设 3 个平行组。

本实验设定 80%的胚胎发育至某个时期为取样点, 用显微镜和解剖镜连续观察, 记录发育时间和发育时期。仔鱼的内源营养期为 1 日龄, 混合营养期为 2-3 日龄, 外源营养期为 4-5 日龄(梁正其等, 2013; 姚俊杰等, 2013)。在内源营养期(1 d)、混合营养期(3 d)及外源营养期(5 d) 3 个时期分别取样, 将样品用滤纸吸干水分后放入 1.5 ml 的 Eppendorf 管中, 将采集的所有样品放入液氮中速冻, 带回实验室后, 于 -80℃ 低温保存, 用于后续实验。

### 1.3 LPL 和 HL mRNA 表达量的测定

利用 Trizol 法对普安银鲫不同时期仔鱼样品进行总 RNA 提取, 逆转录为 cDNA, 以  $\beta$ -actin 为内参作为对照。采用 SYBR Green I 法对 LPL 和 HL 基因 mRNA 表达量进行相对定量分析。分别以 LPL、HL 和  $\beta$ -actin 基因 PCR 纯化产物为模板, 用 EASY Dilution 进行 10 倍梯度稀释, 以扩增对应 LPL、HL 和  $\beta$ -actin 基因的引物进行实时荧光定量 PCR 扩增, 建立标准曲线, 获得标准曲线方程、扩增效率及曲线拟合度。反应体系为 10  $\mu$ l: Ultra SYBR Mixture (With ROX) 5  $\mu$ l, Forward-primer (0.10  $\mu$ g/ $\mu$ l) 0.2  $\mu$ l, Reverse-primer (0.10  $\mu$ g/ $\mu$ l) 0.2  $\mu$ l, ddH<sub>2</sub>O 2.6  $\mu$ l, cDNA 模板 2.0  $\mu$ l。实时荧光定量 PCR 反应程序: 95℃ 预变性 3 min, 95℃ 变性 10 s, 退火温度退火 30 s, 读板收集荧光, 42 个循环, 最后从 65-95℃、按 0.5℃/s 升温, 得出溶解曲线, 检测引物特异性。试验对所有样本进行 3 个重复测定, 并在每次试验时设阴性对照。引物序列见表 1。

### 1.4 数据分析

采用 SPSS 17.0 软件进行统计分析检验, 结果用

表 1 引物序列及扩增片段大小  
Tab.1 Primer sequences and sizes of amplified fragments

基因 Gene	退火温度 $T_m$ (°C)	引物序列 Primer sequence(5'→3')	扩增长度 Amplification size (bp)	GenBank 登录号 GenBank Accession No.
$\beta$ -actin	59	F: TCCCTGTATGCCTCTGGTCGTA R: TGGTGAAGCTGTAGCCTCTCTC	183	NM_181601.4
LPL	55	F: ATGGACGGTCACGGGTATGT R: ATGTAGGGTAGTGCTGTTGC	127	FJ204474.1
HL	55	F: CCAGTGCGGACTTTCTTGAT R: CTCTTCATTGACTCCCTGTTA	149	FJ436064.1

平均值±标准差表示( $n=3$ ),  $P < 0.05$  表示差异显著。实验结果采用相对比较  $Ct$  法( $Qr = 2^{-\Delta\Delta Ct}$ )分析, 以内参基因  $\beta$ -actin 进行标准化校正。正常组中以内源营养期为对照, 3 个取样时间的数据进行单因素方差分析和 Duncan 法多重比较; 葡萄糖组和维生素 C 组均以正常组相对应的时期为对照, 数据进行组间差异  $t$  检验。

## 2 结果

### 2.1 普安银鲫卵黄囊仔鱼发育中 *LPL* 和 *HL* mRNA 的相对表达量

普安银鲫卵黄囊仔鱼发育中 *LPL* 和 *HL* mRNA 的表达水平见图 1。从内源营养期发育到外源营养期, *LPL* mRNA 相对表达量显著上升( $P < 0.05$ ), 混合营养期和 外源营养期的表达量分别为内源营养期的 1.351 倍和 1.519 倍。*HL* mRNA 表达量呈上升变化, 从内源营养期显著上升到混合营养期( $P < 0.05$ ), 随之上升到外源营养期, 且混合营养期和 外源营养期的表达量分别为内源营养期的 1.454 倍和 1.525 倍。

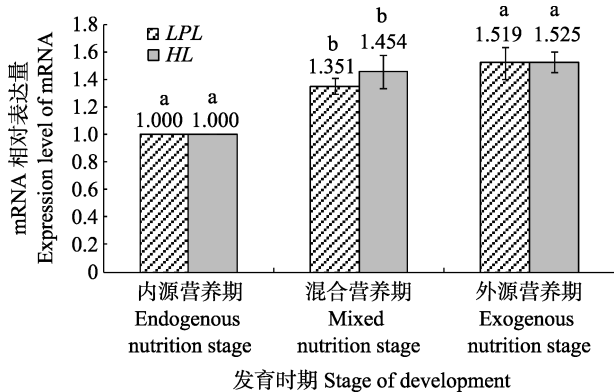


图 1 普安银鲫卵黄囊仔鱼发育中 *LPL* 和 *HL* mRNA 的相对表达量

Fig.1 The expression level of *LPL* and *HL* mRNA during yolk-sac larva development of *C. auratus gibelio*

相同基因不同上标字母表示显著差异( $P < 0.05$ )  
Different letters for same gene mean significant difference ( $P < 0.05$ )

### 2.2 葡萄糖、维生素 C 对普安银鲫卵黄囊仔鱼发育中 *LPL* 和 *HL* mRNA 相对表达量的影响

葡萄糖、维生素 C 对普安银鲫卵黄囊仔鱼发育中 *LPL* 和 *HL* mRNA 的表达量的影响见图 2。葡萄糖组和 维生素 C 组也呈上升变化。在内源营养期、混合营养期和 外源营养期, 葡萄糖能显著上调 *LPL* 和 *HL* mRNA 的表达量

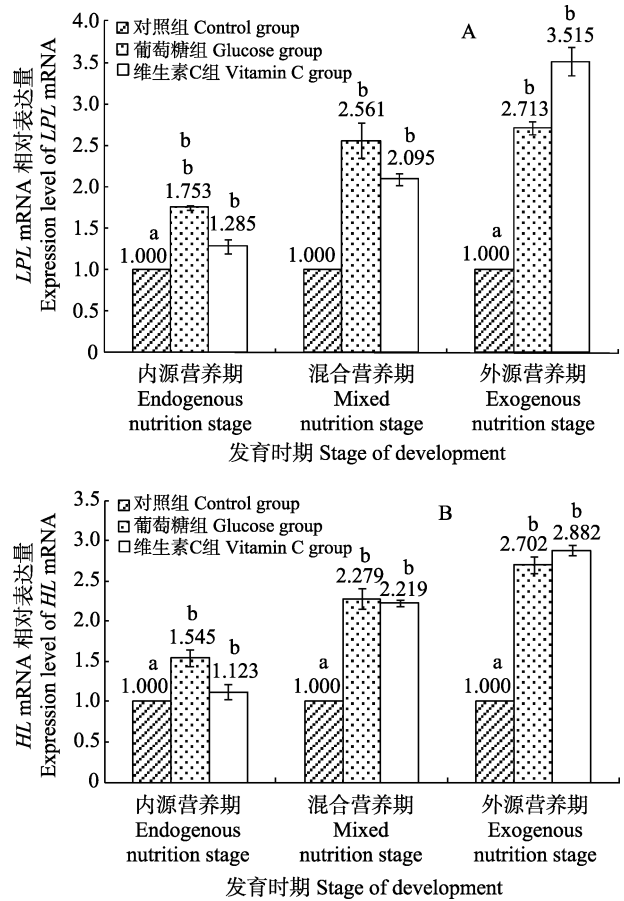


图 2 葡萄糖、维生素 C 对普安银鲫卵黄囊仔鱼发育中 *LPL*(A)和 *HL*(B) mRNA 相对表达量的影响

Fig.2 Effects of glucose and Vitamin C on the expression level of *LPL*(A) and *HL*(B) mRNA during yolk-sac larva development of *C. auratus gibelio*

同一时期图柱有不同上标字母表示组间差异显著( $P < 0.05$ )  
Different superscript letters in the same period of group mean significant difference ( $P < 0.05$ )

( $P < 0.05$ ); 在内源营养期、混合营养期和 外源营养期, 维生素 C 能显著上调 *LPL* mRNA 的表达量, 而 *HL* mRNA 的表达量在混合营养期和 外源营养期显著高于对照组( $P < 0.05$ )。

## 3 讨论

在脂质代谢中, 参与合成与分解代谢的脂质均需要经过血液中的乳糜微粒和极低密度脂蛋白等多种脂蛋白的携带完成转运, 被转运的甘油三酯到达脂肪和肌肉组织后, 需由一系列酶及辅助因子的参与, 分解并释放出脂肪酸, 在脂肪组织和肌肉的脂肪细胞中合成脂肪贮存或氧化供能。在此过程中, *LPL* 发挥着关键的调控作用, 它通常以同源二聚体的形式, 发挥甘油三酯水解酶及在受体介导的脂蛋白摄入时作为配

体或桥接因子的双重功能(吉红等, 2009)。Oku 等(2006)和朱俊华等(2014)研究表明, *LPL* 基因存在营养诱导性表达, 饥饿、高脂食物均是其表达诱导因子。脂质作为高能量物质, 当鱼类在饥饿状态时, 机体能量需求增多, 机体会通过消耗脂肪或蛋白质以获得维持生存的能量。为了满足能量的需要, 将动员贮存于脂肪组织细胞中的甘油三酯, 产生游离脂肪酸和甘油, 从脂肪组织中扩散进入血液, 产生能量, 这一过程主要是分解代谢(朱大世, 2005)<sup>1)</sup>。本研究结果表明, *LPL* mRNA 表达量呈上升变化, 在混合营养期时, 仔鱼虽已开口摄食, 但由于该时期仔鱼的摄食器官和消化器官均发育不太完善(梁正其等, 2013; 姚俊杰等, 2013), 摄食能力和消化能力都较弱, 因此, *LPL* 基因在饥饿过程中表达水平增加, 提示 *LPL* 在饥饿后水解甘油三酯, 为机体抵抗饥饿提供能量。仔鱼完全转入外源营养以后, 其摄食和消化能力有所加强(梁正其等, 2013), 外源营养的进入诱导了 *LPL* mRNA 的表达。*HL* 和 *LPL* 均属酯酶家族, 合称总脂酶。*HL* 是血液循环中内源性甘油三酯代谢有关酶之一, 具有多种脂酶活性, 几乎能水解各类脂蛋白中的甘油三酯、甘油二酯、甘油一酯及磷脂。对瓯江彩鲤(*Cyprinus carpio* var. *color*)早期发育过程中 *HL* 活性的研究表明, 随早期发育的进行, 其活性呈上升趋势, 且由于外源营养的诱导, 使其活性在仔鱼发育到外源营养期时达到最大值(朱俊华等, 2014)。本研究结果表明, 普安银鲫卵黄囊仔鱼发育中 *HL* mRNA 表达量呈上升变化, 这可能与仔鱼的各器官及系统(血液循环系统)不断趋于完善, 加之仔鱼开口摄食后外源营养物质进入血液中为 *HL* 提供一定量的底物有关(梁正其等, 2013; 姚俊杰等, 2013), 但具体原因还有待进一步研究。

葡萄糖不仅是一个能量源, 也能参与调控碳水化合物和脂肪代谢(Dentin *et al.*, 2005)。Brauge 等(1995)用放射性元素标记的葡萄糖喂虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*), 发现其可以把食物中的葡萄糖转化为体内的脂肪来储存。而鱼类能够调节酶的合成与分泌来形成新的代谢水平, 以适应营养条件的改变。糖可通过刺激脂肪分解相关酶的活性, 加强脂肪的分解供能作用(苗惠君等, 2014)。在吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)幼鱼饲料中糖添加水平分别为 30%和 20%时, *HL* 和

*LPL* 活性均达到峰值, 分别为 683.15 和 481.81 U/L(蒋利和等, 2013), 表明适宜的糖水平能提高脂质分解酶活性来分解利用脂质, 以确保机体内脂质代谢的动态平衡。Sartippour 等(2000)研究表明, 葡萄糖能诱导 *LPL* 基因的表达。本研究结果表明, 葡萄糖组 *LPL* 和 *HL* 的 mRNA 水平均显著高于对照组, 其可能原因为机体内脂质的代谢包括合成代谢和分解代谢, 当机体内合成代谢加强时, 分解代谢也会随之增强。在高糖条件下, *LPL* 的 mRNA 水平提高, 会使 *LPL* 对甘油三酯(Triglyceride, TG)的水解加剧, 减少 TG 的外运, 使更多的脂肪被组织利用和贮存(符自英, 2008)<sup>2)</sup>, 说明适宜水平的葡萄糖可以通过调节脂质代谢酶的表达来维持机体内脂质代谢的动态平衡。

研究表明, 维生素 C 可促进蛋白质和脂质的良性循环, 促进能量代谢, 同时, 其可通过参与肉碱的合成而间接促进脂质代谢(Hwang *et al.*, 2002; 颀志刚等, 2003)。本研究结果显示, 维生素 C 组 *LPL* 和 *HL* 的表达均高于对照组, 其可能原因有三个: 其一, 采用适宜浓度的维生素 C 溶液浸泡普安银鲫卵黄囊仔鱼, 降低了机体的损伤, 提高了普安银鲫卵黄囊仔鱼的免疫力, 从而为整个发育过程中正常的代谢提供了保障(蒋左玉等, 2014); 其二, 维生素 C 可能在脂质代谢中发挥了抗氧化功能(Hwang *et al.*, 2002); 其三, 维生素 C 通过参与肉碱的合成而间接促进了脂质代谢, 但具体原因还有待进一步研究。

## 参 考 文 献

- 吉红, 苏尚顺, 刘茜, 等. 草鱼 *LPL* 基因的表达及饥饿和再投喂对其影响. 水产学报, 2009, 33(6): 980-986
- 朱俊华, 姚俊杰, 冯亚楠, 等. 瓯江彩鲤早期发育中两种脂酶活性及间甲酚对其活性的影响. 淡水渔业, 2014, 44(1): 32-35
- 宋志东, 李培玉. 卵生鱼类的内源性营养研究进展(一). 饲料与畜牧, 2014, 9: 20-24
- 苗惠君, 聂琴, 苗淑彦, 等. 不同类型糖源对大菱鲆脂肪代谢酶活性和脂肪酸组成的影响. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2014, 44(4): 22-28
- 姚俊杰, 梁正其, 冯亚楠, 等. 普安银鲫消化系统胚后发育的组织学观察. 贵州农业科学, 2013, 41(11): 152-155
- 梁正其, 姚俊杰, 熊铎龙, 等. 普安银鲫仔稚鱼的发育及生长

1) 朱大世. 饥饿和不同脂肪源对草鱼体脂含量及脂肪酸合成酶的影响. 华中农业大学硕士研究生学位论文, 2005

2) 符自英. 胰岛素和葡萄糖对鹅肝细胞 TG 含量及脂肪代谢相关基因表达的调控. 四川农业大学硕士研究生学位论文, 2008

- 研究. 水产科学, 2013, 32(7): 380–384
- 颀志刚, 牛翠娟. 维生素 C 在鱼类营养与饲料研究中的重要作用及应用. 饲料广角, 2003(13): 29–32
- 蒋利和, 吴宏玉, 黄凯, 等. 饲料糖水平对吉富罗非鱼幼鱼生长和肝代谢功能的影响. 水产学报, 2013, 37(2): 245–255
- 蒋左玉, 姚俊杰, 熊铎龙. 普安银鲫早期发育过程中消化酶活性变化及外源维生素 C 对其的影响. 动物营养学报, 2014a, 26(5): 1246–1253
- 蒋左玉, 姚俊杰, 安苗, 等. 普安银鲫胚胎发育中两种脂酶活性及葡萄糖对其活性的影响. 淡水渔业, 2014b, 44(4): 3–6
- 蒋左玉, 安苗, 姚俊杰, 等. 维生素 C 对普安银鲫胚胎发育中两种脂酶活性的影响. 水产学杂志, 2014c, 27(3): 28–32
- 熊铎龙, 姚俊杰, 安苗, 等. 葡萄糖、维生素 C 对普安银鲫早期发育的影响. 南方水产科学, 2014, 10(6): 89–92
- Brauge C, Corraze G, Médale F. Effects of dietary levels of carbohydrate and lipid on glucose oxidation and lipogenesis from glucose in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, reared in freshwater or in seawater. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*, 1995, 111(1): 117–124
- Cejasa JR, Almansab E, Jérezs S, *et al.* Changes in lipid class and fatty acid composition during development in white sea bream (*Diplodus sargus*) eggs and larvae. *Comp Biochem Physiol B: Biochem Mol Biol*, 2004, 139(2): 209–216
- Dentin R, Girard J, Postic C. Carbohydrate responsive element binding protein (ChREBP) and sterol regulatory element binding protein-1c (SREBP-1c): two key regulators of glucose metabolism and lipid synthesis in liver. *Biochimie*, 2005, 87(1): 81–86
- Gunasekera RM, De SS, Ingram BA. Early ontogeny-related changes of the fatty acid composition in the Percichthyid fishes trout cod, *Maccullochella macquariensis* and Murray cod, *M. peelii peelii*. *Aquat Living Resour*, 1999, 12(3): 219–227
- Hwang DF, Lin TK. Effect of temperature on dietary vitamin C requirement and lipid in common carp. *Comp Biochem Physiol B: Biochem Mol Biol*, 2002, 131(1096–4959): 1–7
- Lightner DV, Hunter B, Magarelli PC, *et al.* Ascorbic acid: nutritional requirement and role in wound repair in penaeid shrimp // *Proceedings of the World Mariculture Society*. Blackwell Publishing Ltd, 1979, 10(1–4): 513–528
- Oku H, Koizum IN, Okumura T, *et al.* Molecular characterization of lipoprotein lipase, hepatic lipase and pancreatic lipase genes: Effects of fasting and refeeding on their gene expression in red sea bream *Pagrus major*. *Comp Biochem Physiol B: Biochem Mol Biol*, 2006, 145(2): 168–178
- Sartippour MR, Renier G. Differential regulation of macrophage peroxisome proliferator-activated receptor expression by glucose role of peroxisome proliferator-activated receptors in lipoprotein lipase gene expression. *Arterioscl Throm Vas*, 2000, 20(1): 104–110

(编辑 冯小花)

## The Effects of Glucose and Vitamin C on the Gene Expression of Lipoprotein Lipase and Hepatic Lipase During the Development of the Yolk-Sac Larva of *Carassius auratus gibelio*

JIANG Zuoyu<sup>1,2</sup>, YAO Junjie<sup>2①</sup>, XIONG Hualong<sup>1,2</sup>, AN Miao<sup>2</sup>, ZHU Zhongsheng<sup>2</sup>, SONG Jiao<sup>2</sup>

(1. Rural Work Bureau of Wengan County, Guizhou Province, Wengan 550400; 2. Key Laboratory of Animal Genetics, Breeding and Reproduction in the Plateau Mountainous Region, Ministry of Education; Department of Fisheries Science, College of Animal Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025)

**Abstract** In this study we investigated the expression patterns of lipoprotein lipase and hepatic lipase genes, as well as the effects of the glucose solution and the vitamin C solution on its regulation during the development of the yolk-sac larva of *Carassius auratus gibelio*. In the preliminary experiments, the membrane break time and hatching rates were recorded to determine the optimal concentrations of glucose and vitamin C. Solutions without (control group) and with glucose (optimal concentration 15 g/L glucose group) or vitamin C (optimal concentration 30 mg/L vitamin C group) were used for hatching, and the gene expression patterns of lipoprotein lipase and hepatic lipase were analyzed. Real-time PCR was applied to measure the mRNA level of lipoprotein lipase and hepatic lipase, and to test how glucose and vitamin C regulated the expression of two genes during the development of the yolk-sac larva. We found that genes of lipoprotein lipase and hepatic lipase were expressed at the endogenous nutrition stage, the mixed nutrition stage and the exogenous nutrition stage, and that the expression was increased over time. The mRNA levels of both lipoprotein lipase and hepatic lipase were up-regulated from the endogenous nutrition stage to the exogenous nutrition stage in the group treated with 15 g/L glucose ( $P<0.05$ ). Similarly they were also re-regulated from the endogenous nutrition stage to the exogenous nutrition stage in the group treated with 30 mg/L vitamin C, which caused a significant increase in the expression of lipoprotein lipase mRNA during the yolk-sac larva developmental stage. Vitamin C increased the expression of hepatic lipase mRNA during the mixed nutrition stage and the exogenous nutrition stage ( $P<0.05$ ). Our study suggested that the lipid catabolism of *C. auratus gibelio* increased during the mixed nutrition stage, and that appropriate concentrations of glucose (15 g/L) and vitamin C (30 mg/L) could induce the mRNA expression of lipoprotein lipase and hepatic lipase.

**Key words** *Carassius auratus gibelio*; Yolk-sac larva stage; Lipoprotein lipase; Hepatic lipase; Glucose; Vitamin C

① Corresponding author: YAO Junjie, E-mail: junjieyao@163.com