

葡萄糖和维生素 C 对普安银鲫卵黄囊仔鱼 ACC、FAS 及 CPT I 活性的影响

蒋左玉 熊铧龙 姚俊杰*

贵州大学动物科学学院水产科学系 贵阳 550025

摘要: 本实验旨在探究普安银鲫 (*Carassius auratus gibelio*) 卵黄囊仔鱼发育过程中乙酰辅酶 A 羧化酶 (ACC)、脂肪酸合成酶 (FAS) 及肉毒碱棕榈酰转移酶 I (CPT I) 活性变化及葡萄糖和维生素 C 溶液分别浸泡对它们的影响。采用酶学方法测定分析了普安银鲫内源营养期、混合营养期和外源营养期 ACC、FAS 及 CPT I 的活性变化特点。在卵黄囊仔鱼发育中, 对照组与维生素 C 组中 ACC 和 FAS 活性呈上升趋势, CPT I 活性呈“下降-上升”变化趋势, 而葡萄糖组 ACC、FAS 及 CPT I 活性均呈上升趋势, 且 3 种酶的活性均显著高于对照组 ($P < 0.05$)。维生素 C 组 ACC 活性在内源营养期显著高于对照组, FAS 活性在混合营养期和外源营养期显著高于对照组, CPT I 活性在内源营养期和外源营养期显著高于对照组 ($P < 0.05$)。研究表明适宜水平的葡萄糖、维生素 C 能促进普安银鲫卵黄囊仔鱼发育中 ACC、FAS 和 CPT I 的合成与分泌而形成新的代谢水平, 以维持仔鱼体中脂质代谢的动态平衡。

关键词: 葡萄糖; 维生素 C; 普安银鲫; 卵黄囊仔鱼; 脂肪酸合成酶; 乙酰辅酶 A 羧化酶; 肉毒碱棕榈酰转移酶 I

中图分类号: S917.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263(2014)06-904-09

Effects of Glucose and Vitamin C on Activities of ACC, FAS and CPT I during Yolk-sac Larva Development of *Carassius auratus gibelio*

JIANG Zuo-Yu XIONG Hua-Long YAO Jun-Jie*

Department of Fisheries Science, College of Animal Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China

Abstract: The experiment was conducted to study the effects of glucose and vitamin C on activities of acetyl-CoA carboxylase (ACC), fatty acid synthase (FAS) and carnitine palmitoyltransferases I (CPT I) during yolk-sac larvae development of *Carassius auratus gibelio*. Different concentrations of glucose and vitamin C were added to hatching water, respectively, until the yolk sac disappeared completely. The concentrations of glucose were 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L, and 20 g/L, and the concentrations of vitamin C were 20 mg/L, 25 mg/L, 30 mg/L and 35 mg/L, respectively. The incubation time, hatching rate and survival rate of larvae were recorded during the process of experiment, and the activities of acetyl-CoA carboxylase, fatty acid synthase and carnitine palmitoyltransferases at endogenous nutrition stage, mix nutrition stage and exogenous nutrition stage of *C. a. gibelio* were analyzed by the method of enzymology, and data were analysed by one way ANOVA. The

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31160527), 贵州省农业科技攻关项目 (黔科合 NY2008-3070);

* 通讯作者, E-mail: junjieyao@163.com;

第一作者介绍 蒋左玉, 女, 硕士研究生; 研究方向: 水产动物繁殖与发育生物学; E-mail: gzzyzuijiang@163.com。

收稿日期: 2014-03-13, 修回日期: 2014-05-31

results showed that the activities of acetyl-CoA carboxylase and fatty acid synthase increased, while the activity of carnitine palmitoyltransferases showed “down-up” trend during yolk-sac larva development of *C. a. gibelio* in the control group and vitamin C group. While the activities of acetyl-CoA carboxylase, fatty acid synthase and carnitine palmitoyltransferases were all increased, and the activities of these three enzymes were significantly higher in the glucose group than those in the control group ($P < 0.05$). The activity of acetyl-CoA carboxylase was significantly higher in experimental group than that in control group in endogenous nutrition stage, the activity of fatty acid synthase was significantly higher in mixed nutrition stage and exogenous nutrition stage, and the activity of carnitine palmitoyltransferases was significantly higher in endogenous nutrition stage and exogenous nutrition stage ($P < 0.05$) (Fig. 1–3). The research showed that appropriate glucose concentration (15 g/L) and vitamin C concentration (30 mg/L) could promote the synthesis and secretion of fatty acid synthase, acetyl-CoA carboxylase and carnitine palmitoyltransferases during yolk-sac larvae development of *C. a. gibelio*, which maintained the dynamic balance of lipid metabolism in the body of yolk-sac larvae.

Key words: Glucose; Vitamin C; *Carassius auratus gibelio*; Yolk-sac larva; Fatty acid synthase; Acetyl-CoA carboxylase; Carnitine palmitoyltransferases I

在鱼类胚胎发育阶段和仔鱼发育早期,其生长发育所需营养来自卵黄物质,而脂质是鱼类受精卵中重要的营养储备物质,可作为早期仔鱼发育所需能量的主要来源和细胞膜的组成性物质(Keembiyehetty et al. 1998)。卵黄囊仔鱼的发育是鱼类早期发育中由内源营养转向外源营养化的关键期,脂质被逐渐消耗,成为卵黄囊仔鱼发育阶段代谢的主要能量来源(Gunasekera et al. 1999, Cejasa et al. 2004)。葡萄糖(glucose, G)是一种受广泛关注的能源物质,对高首鲟(*Acipenser transmontanus*) (Hung et al. 1989)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*) (Hung et al. 1994)和军曹鱼(*Rachycentron canadum*)幼鱼(Cui et al. 2010)的研究结果表明,葡萄糖能促进鱼体内脂质的合成代谢。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,对维持机体正常代谢、生长具有重要作用(Lightner et al. 1979)。研究表明,维生素C可通过参与肉碱的合成而间接促进脂质代谢,进而改善能量代谢(John et al. 1979, 颜志刚等 2003)。同时鱼卵中积累较多的维生素C可保护卵免受氧化损伤,调控胚胎发育中的物质代谢和能量代谢,进而有效促进胚胎发育(Terova et al. 1998)。

普安银鲫(*Carassius auratus gibelio*)是在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,作为贵州省特有的鱼类种质资源,相关学者已对其人工繁育、脂质营养、消化生理及仔鱼生长特性等方面开展了大量研究(梁正其等 2012, 牟洪民等 2012, 梁正其等 2013, 姚俊杰等 2013),但在自然条件下,普安银鲫胚胎孵化率和仔鱼存活率低仍是制约其发展的瓶颈。本文通过探究普安银鲫卵黄囊仔鱼发育过程中与脂质合成代谢密切相关的乙酰辅酶A羧化酶(acetyl-CoA carboxylase, ACC)和脂肪酸合成酶(fatty acid synthase, FAS),以及与脂质 β -氧化分解代谢密切相关的肉毒碱棕榈酰转移酶I(carnitine palmitoyltransferases I, CPT I)活性变化特点,并探究适宜水平葡萄糖溶液和维生素C溶液分别浸泡对3种酶活性的影响,旨在提高该鱼人工繁育的孵化率和仔鱼存活率,进而为普安银鲫的资源保护和开发利用提供参考。

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受精后,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 实验方法 预实验设置葡萄糖浓度为 5 g/L、10 g/L、15 g/L 和 20 g/L，维生素 C 浓度为 20 mg/L、25 mg/L、30 mg/L 和 35 mg/L，将受精卵分别放在盛有不同浓度葡萄糖溶液和维生素 C 溶液的水箱内孵化，水箱规格为 90 cm × 50 cm × 55 cm，水体中卵(仔鱼)的平均密度为 1 000 粒/L(尾/L)，水温控制在 24℃，每 8 h 全部换一次同温度、同浓度葡萄糖和维生素 C 水。记录孵化时间、孵化率及仔鱼成活率。通过这 3 个指标综合比较选择最适葡萄糖浓度和维生素 C 浓度进行正式实验。

正式实验根据预实验结果，设置葡萄糖浓度为 0 g/L(对照组)和 15 g/L(实验组)，维生素 C 浓度为 0 mg/L(对照组)和 30 mg/L(实验组)，正式实验和预实验条件一致，每个浓度设 3 个平行组。

取样方法:本实验取样标准为 50% 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。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，用于酶活力测定的样本均取样 500 尾，将样品用滤纸吸干水分后放入 1.5 ml 的 eppendoff 管中。样品置于冰箱 -80℃ 保存。

1.3 指标测定 酶液蛋白浓度采用考马斯亮

蓝法测定。脂肪酸合成酶(FAS)、乙酰辅酶 A 羧化酶(ACC)和肉毒碱棕榈酰转移酶 I (CPT I)活性均采用比色法。用酶联免疫分析试剂盒测定，酶标仪测定吸光度 A 值，具体测定方法和计算参考试剂盒说明书进行。

1.4 数理分析 实验数据用平均值 ± 标准差 (Mean ± SD) ($n = 6$) 表示，采用 SPSS 13.0 统计软件进行单因素方差分析，用 LSD 多重比较分析对照组与葡萄糖组，对照组和维生素 C 组同一发育时期 FAS、ACC 和 CPT I 活性的差异显著性，当 $P < 0.05$ 时为差异显著。

2 结 果

2.1 葡萄糖和维生素 C 溶液分别浸泡下仔鱼出膜时间、孵化率和仔鱼成活率

2.1.1 不同葡萄糖和维生素 C 溶液分别浸泡下仔鱼出膜时间、孵化率和仔鱼成活率 葡萄糖、维生素 C 对普安银鲫出膜时间、孵化率和仔鱼成活率的影响见表 1。随着葡萄糖和维生素 C 浓度的增加，仔鱼出膜时间均呈“降低-升高”的变化趋势，孵化率和成活率均呈“升高-降低”的变化趋势。在 15 g/L 的葡萄糖溶液中，仔鱼能提前 6.6 h 出膜，孵化率和成活率分别高出对照组 12.4% 和 13.7%。在 30 mg/L 的生素 C 溶液中，仔鱼能提前 4.5 h 出膜，孵化率和成活率分别高出对照组 15.6% 和 17.7%。

表 1 葡萄糖、维生素 C 对出膜时间、孵化率和成活率的影响 ($n = 3$)

Table 1 Effects of glucose, vitamin C on the hatching time, hatching ratio and survival rate ($n = 3$)

	对照组 Control group	葡萄糖组(g/L) Glucose group				维生素 C 组(mg/L) Vitamin C group			
		5	10	15	20	20	25	30	35
出膜时间(h) Hatching time	58.1 ± 0.5 ^a	56.1 ± 0.3 ^b	54.9 ± 0.6 ^c	51.5 ± 0.2 ^c	53.8 ± 0.7 ^d	55.8 ± 0.2 ^b	54.1 ± 0.3 ^c	53.6 ± 0.4 ^c	55.6 ± 0.4 ^b
孵化率(%) Hatching ratio	70.8 ± 0.4 ^a	71.0 ± 0.5 ^b	74.2 ± 0.8 ^c	83.2 ± 0.4 ^c	76.5 ± 0.4 ^d	75.1 ± 0.4 ^b	81.7 ± 0.1 ^d	86.4 ± 0.6 ^e	78.3 ± 0.8 ^c
成活率(%) Survival rate	73.4 ± 0.6 ^a	77.1 ± 0.2 ^b	83.3 ± 0.4 ^d	87.1 ± 0.3 ^e	79.4 ± 0.1 ^c	76.4 ± 0.7 ^b	80.5 ± 0.6 ^c	91.1 ± 04 ^e	82.7 ± 0.6 ^d

同一行数据标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。Different letters in the row mean significant difference ($P < 0.05$) .

2.1.2 适宜葡萄糖和维生素 C 溶液分别浸泡下仔鱼出膜时间、孵化率和仔鱼成活率 葡萄糖、维生素 C 对普安银鲫出膜时间、孵化率和仔鱼成活率的影响见表 2。在 15 g/L 的葡萄糖溶液中, 仔鱼能提前 6.3 h 出膜, 孵化率和成活率分别高出对照组 12.5% 和 14.3%。在 30 mg/L 的生素 C 溶液中, 仔鱼能提前 4.4 h 出膜, 孵化率和成活率分别高出对照组 16.2% 和 17.8%。

2.2 葡萄糖、维生素 C 浸泡下卵黄囊仔鱼发育中 ACC 活性变化 葡萄糖、维生素 C 浸泡下普安银鲫卵黄囊仔鱼发育中 ACC 活性变化

见图 1。对照组、葡萄糖组和维生素 C 组 ACC 的活性在整个发育过程中均显著上升 ($P < 0.05$), 且葡萄糖组和维生素 C 组 ACC 的活性均高于对照组。从内源营养期至混合营养期再发育至外源营养期, 葡萄糖组显著高于对照组 ($P < 0.05$)。而维生素 C 组仅在内源营养期显著高于对照组 ($P < 0.05$), 在混合营养期和外源营养期活性均略高于对照组。

2.3 葡萄糖、维生素 C 浸泡下卵黄囊仔鱼发育中 FAS 活性变化 葡萄糖、维生素 C 浸泡下普安银鲫卵黄囊仔鱼发育中 FAS 活性变化见图 2。葡萄糖组和维生素 C 组 FAS 的活性均高

表 2 适宜葡萄糖、维生素 C 对出膜时间、孵化率和成活率的影响 ($n = 3$)

Table 2 Effects of glucose, vitamin C on the hatching time, hatching ratio and survival rate ($n = 3$)

	对照组 Control group	葡萄糖组(15 g/L) Glucose group	维生素 C 组(30 mg/L) Vitamin C group
出膜时间 Hatching time (h)	57.6 ± 0.2 ^a	51.3 ± 0.1 ^b	53.2 ± 0.1 ^b
孵化率 Hatching ratio (%)	69.2 ± 0.1 ^a	81.7 ± 0.3 ^b	85.9 ± 0.3 ^b
成活率 Survival rate (%)	72.0 ± 0.4 ^a	86.3 ± 0.2 ^b	89.8 ± 0.5 ^b

同一行数据标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。Different letters in the row mean significant difference ($P < 0.05$).

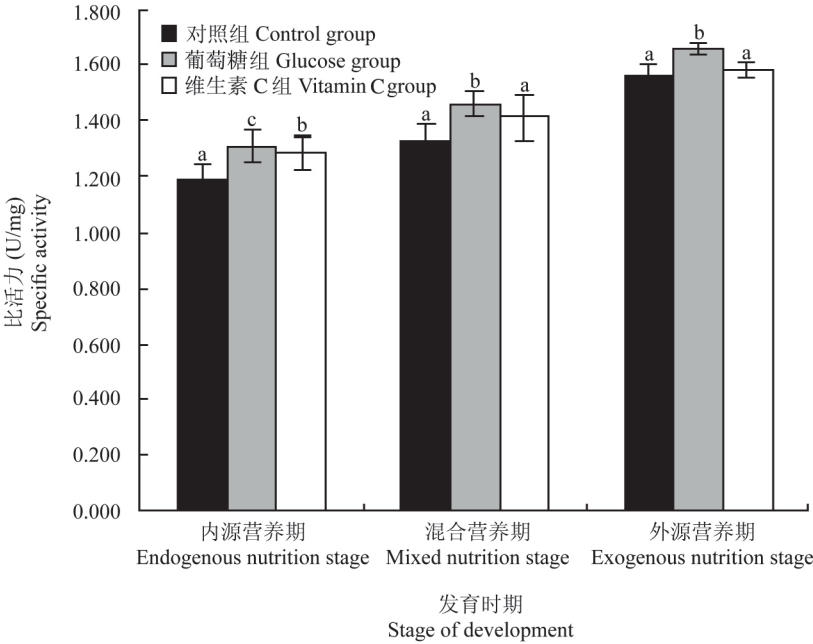


图 1 普安银鲫卵黄囊仔鱼发育过程中乙酰辅酶 A 羧化酶活性变化

Fig. 1 Variation in specific activity of acetyl-CoA carboxylase during yolk-sac larva development of *Carassius auratus gibelio*

同一时期图柱上标有不同小写字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$)。
Different small letter superscripts mean significant in same period of difference groups ($P < 0.05$).

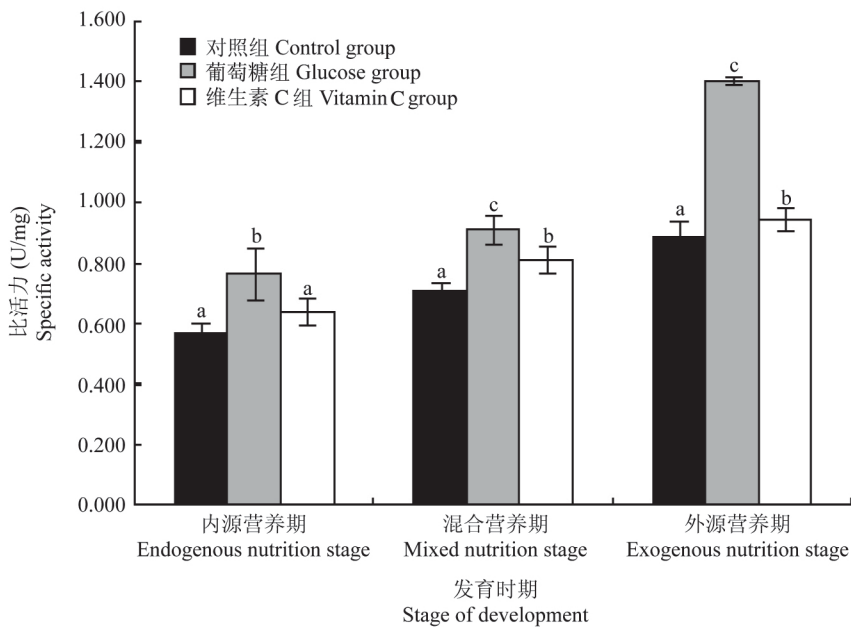


图 2 普安银鲫卵黄囊发育过程中脂肪酸脂肪合成酶活性变化

Fig. 2 Variation in specific activity of fatty acid synthase during yolk-sac larva development of *Carassius auratus gibelio*

同一时期图柱上标有不同小写字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different small letter superscripts mean significant in same period of difference groups ($P < 0.05$).

于对照组，且对照组、葡萄糖组和维生素 C 组 FAS 的活性在整个发育中均显著上升 ($P < 0.05$)。从内源营养期至混合营养期再发育至外源营养期，葡萄糖组显著高于对照组 ($P < 0.05$)，而维生素 C 组在混合营养期和外源营养期显著高于对照组 ($P < 0.05$)。

2.4 葡萄糖、维生素 C 浸泡下卵黄囊仔鱼发育中 CPT I 活性变化 葡萄糖、维生素 C 浸泡下普安银鲫卵黄囊仔鱼发育中 CPT I 活性变化见图 3。葡萄糖组 CPT I 的活性均高于对照组，且葡萄糖组 CPT I 的活性在整个发育中均显著上升，而对对照组和维生素 C 组呈“下降-上升”变化趋势，差异显著 ($P < 0.05$)。在内源营养期、混合营养期和外源营养期，葡萄糖组 CPT I 均明显高于对照组 ($P < 0.05$)，而维生素 C 组在内源营养期和外源营养期显著高于对照组 ($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 普安银鲫卵黄囊仔鱼发育中 ACC、FAS 和 CPT I 活性的变化特点 脂质是鱼类必需的营养物质，也是主要的能量来源，鱼卵中的脂质和脂肪酸含量对胚胎发育和仔鱼存活有重要作用，尤其对仔稚鱼而言，其消耗与转化直接影响仔鱼的成活率 (Keembiyehetty et al. 1998, Sargent et al. 2002)。而 ACC、FAS 和 CPT I 与脂质的代谢密切相关，其活性高低影响着脂质的消耗与转化。普安银鲫卵黄囊仔鱼发育中 ACC 和 FAS 活性呈升高趋势，尤其 ACC 在内源营养期就保持了较高的活性，这可能与仔鱼体内各器官形成加快，能耗大有关。仔鱼进入混合营养期开口摄食，但由于此时仔鱼的摄食器官和消化器官均发育不太完善，摄食能力和消化能力都较弱，仔鱼处于饥饿状态，ACC 和 FAS 活性继续上升有利于合成脂质。仔鱼发育至第 5 日龄后，仔鱼完全转入外源营养阶段，其摄食和消化能力有所加强，ACC 和 FAS 活性达到最高，这可能与外源营

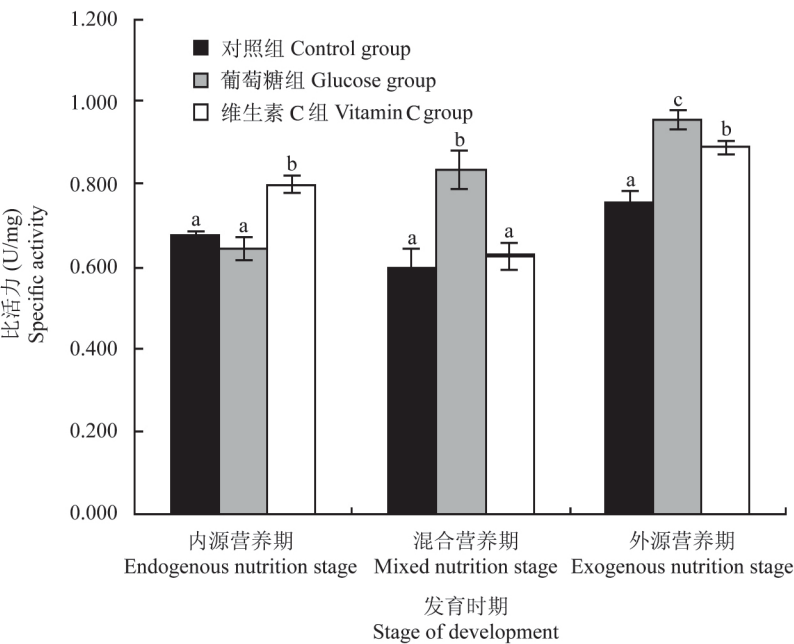


图 3 普安银鲫卵黄囊仔鱼发育过程中肉毒碱棕榈酸转移酶 I 活性变化

Fig. 3 Variation in specific activity of camitine palmitoyltransferases I during yolk-sac larva development of *Carassius auratus gibelio*

同一时期图柱上标有不同小写字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different small letter superscripts mean significant in same period of difference groups ($P < 0.05$).

养的摄入有关。本实验结果表明，CPT I 活性在整个发育过程中呈“下降-上升”的变化趋势，从内源营养期发育至混合营养期 CPT I 活性呈下降趋势，可能是由于出膜后的仔鱼处于饥饿状态，脂质的合成代谢处于较低水平，CPT I 活性的降低可减少分解脂质，使仔鱼短期内应对营养物质的缺乏，以维持仔鱼基础代谢的需要。进入混合营养期的仔鱼虽已开口摄食，但由于摄取量很少，仔鱼只有利用自身储能物质提供能量以维持生命，体内脂质进一步迅速减少，因此至混合营养期 CPT I 活性降到最低。随仔鱼的发育，仔鱼摄食量逐渐增加，至外源营养期 CPT I 活性达到最高，这可能与仔鱼体内积累了大量营养物质，为 CPT I 提供适宜和充分的底物有关。

3.2 葡萄糖对普安银鲫卵黄囊仔鱼发育中 ACC、FAS 和 CPT I 活性的影响 在脂质合成代谢中，乙酰辅酶 A 是脂肪酸合成的直接原料，在非反刍动物中，乙酰辅酶 A 主要来自葡

萄糖的氧化脱羧 (邹思湘 2005)。ACC 是催化脂肪酸合成代谢第一步反应的限速酶，能将乙酰辅酶 A 催化生成丙二酰单酰辅酶 A，对脂质合成代谢起着至关重要的作用 (Tong 2005)。而动物体沉积所需要的脂肪酸大多来自脂肪酸的从头合成，即由 FAS 催化乙酰辅酶 A、丙二酰单酰辅酶 A 和 NADPH 合成脂肪 (甘油三酯)，从而在动物体脂沉积中发挥重要作用 (Smith et al. 2003)。在罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 饲料中糖添加量的增加会使磷酸戊糖途径的代谢速度加快，从而增强了脂质的合成作用 (Shimeno et al. 1993)。在军曹鱼幼鱼 (Cui et al. 2010) 饲料中添加适宜水平的葡萄糖对葡萄糖-6-磷酸脱氢酶活性有促进作用，对高首鲟 (Hung et al. 1989) 的研究结果也显示，适宜水平的葡萄糖处理组中葡萄糖-6-磷酸脱氢酶和苹果酸酶的活性比对照组高，同样的研究结果在虹鳟 (Hung et al. 1994) 的研究中也得到证实。糖对动物体内 FAS 和 ACC 活性都

有激活作用(Girard et al. 1994)。本实验结果表明,在普安银鲫整个卵黄囊仔鱼发育过程中,葡萄糖处理组仔鱼 FAS 和 ACC 活性均明显高于对照组,其可能原因为外源葡萄糖进入仔鱼体内为脂肪酸的合成代谢提供了大量的乙酰辅酶 A,刺激 FAS 和 ACC 的分泌,使 FAS 和 ACC 活性升高,从而加速合成甘油三酯,为仔鱼体脂的沉积提供了保障。

CPT I 能催化脂酰 CoA 生成脂酰肉毒碱,从而得以通过线粒体内膜进行 β -氧化,因此被认为是线粒体脂肪酸 β -氧化过程中的关键酶之一(Morash et al. 2008)。当脂肪酸动员作用加强时,机体需要脂肪酸供能,此时 CPT I 活性增加(邹思湘 2005)。本实验中葡萄糖处理组卵黄囊仔鱼发育至混合营养期与外源营养期时,CPT I 活性均很高,说明对于出膜后的仔鱼,脂质成为卵黄囊仔鱼发育阶段代谢的主要能量来源,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);同时,出膜后的仔鱼处于饥饿状态,也导致仔鱼大量消耗脂质以维持其基础代谢的需要。另一方面可能由于外源葡萄糖的介入加速脂质合成代谢,因此需大量的 CPT I 氧化分解这些多余的脂肪酸,因而促进仔鱼 CPT I 的分泌,导致葡萄糖溶液浸泡下 CPT I 活性升高,表明适宜水平的葡萄糖可通过调节脂质代谢酶的活性来维持机体内脂质代谢的动态平衡。

3.3 维生素 C 对普安银鲫卵黄囊仔鱼发育中 ACC、FAS 和 CPT I 活性的影响 维生素 C 作为一种抗氧化剂,是许多酶的辅酶或辅基的组成成分,是动物生长、代谢及维持正常生理机能所必需的营养素,起着调节免疫力和控制代谢的作用。将其加入水体中可净化和消除水相中的氧自由基及各种氧化产物,同时进入鱼体内的维生素 C 会在体内累积,形成一个抗坏血酸池(Li et al. 1985),在动物生长和代谢中发挥作用。已有的研究表明,维生素 C 能在脂质代谢中发挥抗氧化功能,一方面维生素 C 在抗氧化过程中维持维生素 E 和 β -胡萝卜素的水平,阻断脂肪的氧化链,避免细胞膜遭受氧

化损伤(Sato et al. 1990, Odeh et al. 1995)。另一方面,机体中积累的大量维生素 C 可提供自由电子,使氧化型谷胱甘肽转变为还原型谷胱甘肽,保护酶系统的活性巯基,提高超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)的活性(Luo et al. 2003),可阻止氧化剂破坏 DNA,保护脂质膜免受过氧化损害;同时,维生素 C 还可激活体内溶脂系统的活性,从而使三酰甘油下降,防止鲤鱼(*Cyprinus carpio*)脂质过氧化(Hwnag et al. 2002)。

饲料中添加适量的维生素 C 可促进蛋白质和脂质的良性循环,促进能量代谢,同时维生素 C 可通过参与肉碱的合成而间接促进脂质代谢(Ortuno 1999, 颜志刚等 2003)。肉碱是一种具有多种生理功能的添加剂,主要参与机体的能量代谢,是脂肪酸进入线粒体进行 β -氧化的载体,是转化脂肪生成能量的关键。当维生素 C 缺乏时,肉碱合成减少,以致脂肪的 β -氧化减少(Feller et al. 1988, Miyaskai et al. 1995)。对草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)的研究表明,饲料中添加适量肉碱可调节脂质代谢酶的活性,维持机体脂质代谢的动态平衡(田娟等 2009);适宜水平的肉碱能同时增强中华鳖(*Pelodiscus sinensis*)脂质的合成和分解代谢(占秀安等 2002)。本实验结果显示,维生素 C 组 ACC、FAS 和 CPT I 活性均高于对照组,其可能原因为维生素 C 在脂质代谢中发挥了抗氧化功能,同时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。鱼类可通过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(王文辉等 2007)。维生素 C 进入仔鱼体内可能调节 ACC、FAS 和 CPT I 的分泌,导致维生素 C 溶液浸泡下的仔鱼体内 3 种脂质代谢酶活性升高,表明适宜水平的维生素 C 对普安银鲫卵黄囊仔鱼发育过程中体内脂质代谢具有促进作用。

参 考 文 献

Cejasa J R, Almansab E, Jérezs, et al. 2004. Changes in lipid

- class and fatty acid composition during development in white sea bream (*Diplodus sargus*) eggs and larvae. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 139(2): 209–216.
- Cui X J, Zhou Q C, Liang H O, et al. 2010. Effects of dietary carbohydrate sources on the growth performance and hepatic carbohydrate metabolic enzyme activities of juvenile cobia (*Rachycentron canadum* Linnaeus). Aquaculture Research, 42(1): 99–107.
- Feller A G, Rudman D. 1988. Role of carnitine in human nutrition. The Journal of Nutrition, 118(5): 541–547.
- Girard J, Perdureau D, Foufelle F, et al. 1994. Regulation of lipogenic enzyme gene expression by nutrients and hormones. The Journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology, 8(1): 36–42.
- Gunasekera R M, DeSilva S S, Ingram B A. 1999. Early ontogeny-related changes of the fatty acid composition in the Percichthyid fishes trout cod, *Maccullochella macquariensis* and Murray cod, *M. peelii peelii*. Aquatic Living Resources, 12(3): 219–227.
- Hung S S, Fynn-Aikins F K, Lutes P B, et al. 1989. Ability of juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) to utilize different carbohydrate sources. The Journal of Nutrition, 119(5): 727–733.
- Hung S S, Storebakken T. 1994. Carbohydrate utilization by rainbow trout is affected by feeding strategy. The Journal of Nutrition, 124(2): 223–230.
- Hwang D F, Lin T K. 2002. Effect of temperature on dietary vitamin C requirement and lipid in common carp. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 131(1): 1–7.
- John T M, George J C, Hilton J W, et al. 1978. Influence of dietary ascorbic acid on plasma lipid levels in the rainbow trout. International Journal for Vitamin and Nutrition Research, 49(4): 400–405.
- Keembiyehetty C N, Wilson R P. 1998. Effect of water temperature on growth and nutrient utilization of sunshine bass (*Morone chrysops* ♀ × *Morone saxatilis* ♂) fed diets containing different energy/protein ratios. Aquaculture, 166(1/2): 151–162.
- Li Y, Lovell R T. 1985. Elevated levels of dietary ascorbic acid increase immune responses in channel catfish. The Journal of Nutrition, 115(1): 123–131.
- Lightner D V, Hunter B, Magarelli P C Jr, et al. 1979. Ascorbic acid: nutritional requirement and role in wound repair in penaeid shrimp. Proceedings of the World Mariculture Society, 10(1/4): 513–528.
- Luo X Y, Liu Z Q, Sun Y X, et al. 2003. Lipophilic enhance of vitamin C protective activity against free-radical-induced damage *in vivo*. Chemical Research in Chinese Universities, 19(4): 428–431.
- Miyasaki T, Sato M, Yoshinaka R, et al. 1995. Effect of vitamin C on lipid and carnitine metabolism in rainbow trout. Fisheries Science, 61(3): 501–506.
- Morash A J, Kajimura M, McClelland G B. 2008. Intertissue regulation of carnitine palmitoyltransferase I (CPTI): Mitochondrial membrane properties and gene expression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Biochimica et Biophysica Acta: Biomembranes, 1778(6): 1382–1389.
- Odeh R M, Cornish L A. 1995. Natural antioxidants for the prevention of atherosclerosis. Pharmacotherapy: The Journal of Human Pharmacology and Drug Therapy, 15(5): 648–659.
- Ortuno J, Esteban M A, Meseguer J. 1999. Effect of high dietary intake of vitamin C on non-specific immune response of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). Fish & Shellfish Immunology, 9(5): 429–443.
- Sargent J R, Henderson R J, Tocher D R. 2002. The Lipids // Halver J. Fish Nutrition. 2nd ed. London: Academic Press, 182–245.
- Sato K, Niki E, Shimasaki H. 1990. Free radical-mediated chain oxidation of low density lipoprotein and its synergistic inhibition by vitamin E and vitamin C. Archives of Biochemistry and Biophysics, 279(2): 402–405.
- Shimeno S, Ming D C, Takeda M. 1993. Metabolic response to dietary carbohydrate to lipid ratios in *Oreochromis niloticus*. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 59(5): 827–833.
- Smith S, Witkowski A, Joshi A K. 2003. Structural and functional organization of the animal fatty acid synthase. Progress in Lipid Research, 42(4): 289–317.
- Terova G, Saroglia M, Papp Z G, et al. 1998. Dynamics of collagen indicating amino acids, in embryos and larvae of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and gilthead sea bream (*Sparus aurata*), originated from broodstocks fed with different vitamin C content in the diet. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 121(2): 111–118.
- Tong L. 2005. Acetyl-coenzyme A carboxylase: crucial metabolic enzyme and attractive target for drug discovery. Cellular and Molecular Life Sciences CMLS, 62(16): 1784–1803.
- 顾志刚, 牛翠娟. 2003. 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, 13: 29–32.
- 梁正其, 马珊, 姚俊杰, 等. 2012. 普安银鲫胚胎发育的初步

- 研究. 水产科学, 31(6): 316–320.
- 梁正其, 姚俊杰, 熊铎龙, 等. 2013. 普安银鲫仔稚鱼的发育及生长研究. 水产科学, 32(7): 380–384.
- 牟洪民, 马珊, 姚俊杰, 等. 2012. 普安银鲫胚胎发育早期的总脂与脂肪酸变化. 西南农业学报, 25(5): 1925–1928.
- 田娟, 冷向军, 李小勤, 等. 2009. 肉碱对草鱼生长性能, 体成分和脂肪代谢酶活性的影响. 水产学报, 33(2): 295–302.
- 王文辉, 王吉桥, 程鑫, 等. 2007. 不同剂型维生素 C 对黄颡鱼生长和几种免疫指标的影响. 中国水产科学, 13(6): 951–958.
- 姚俊杰, 梁正其, 冯亚楠, 等. 2013. 普安银鲫消化系统胚后发育的组织学观察. 贵州农业科学, 41(11): 152–155.
- 占秀安, 许梓荣. 2002. 肉碱对中华鳖脂肪代谢的影响. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 28(1): 70–73.
- 邹思湘. 2005. 动物生物化学. 4 版. 北京: 中国农业出版社, 181–196.

DOI: 10.13859/j. cjz. 201406021

雪山蝮产子一例报道

First Report of Oviposition of *Gloydius monticola* (Werner, 1922)

雪山蝮 (*Gloydius monticola*) 属蝰科 (Viperidae) 蝮亚科 (Crotalinae) 亚洲蝮属, 中国特有种。目前已知仅分布于云南西北部的德钦、中甸、丽江 (杨大同等 2008), 分布范围狭窄, 野外数量稀少。2014 年 6 月, “中国爬行纲物种红色名录评审会 (安徽黄山)” 将雪山蝮列为近危物种。雪山蝮的生物学资料很少, 繁殖方式不详。本文作者观察到雪山蝮的繁殖方式, 补充了雪山蝮的基础生物学资料。

作者于 2012 年 7 月 20 日 16:30 时左右, 在云南省迪庆藏族自治州香格里拉县小中甸和平村 (27°36′12″N, 99°51′12″E, 海拔 3 826 m) 灌草丛边捕获 1 条雪山蝮雌蛇。全长 432 mm、尾长 44 mm、体重 38.23 g。7 月 25 日带回黄山学院实验室, 在蛇笼内饲养。蛇笼底部铺设苔藓, 定期向苔藓上洒水, 相对湿度保持在 85% 左右, 实验室内温度控制在 28℃ 左右。饲养活体泽陆蛙 (*Fejervarya multistriata*) 和铜蜓蜥 (*Sphenomorphus indicus*)。定期换水, 观察繁殖情况。雌蛇产子之前未取食。2012 年 8 月 28 日 13:30 时左右观察, 此蛇还未产子, 次日 8:30 时发现已产子, 共 6 条, 其中 5 条已蜕皮, 蛇蜕完整, 1 条正在蜕皮 (图 1)。雌蛇产子后无护幼行为, 产后第 7 天开始取食活体铜蜓蜥和泽陆蛙。初生幼蛇平均体重 (1.67 ± 0.11) g, 头体长 (126.23 ± 4.82) mm, 全长 (143.03 ± 5.36) mm。



图 1 雪山蝮雌蛇及 1 日龄子蛇

Fig. 1 The female and an one day old newborn

杨典成^{①②} 黄松^{①*}

① 黄山学院生命与环境科学学院 黄山 245041; ② 南京林业大学生物与环境学院 南京 210037

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31471968);

* 通讯作者, E-mail: snakeman666@sina.com;

第一作者介绍 杨典成, 男, 硕士研究生; 研究方向: 动物系统演化与生物地理; E-mail: yangdchsw@163.com。

收稿日期: 2014-07-10, 修回日期: 2014-10-09