

L-肉碱强化卤虫对鲤鱼开口苗脂肪酸组成和 C/N 比率的影响

陈玉珂¹, 蔺丽丽¹, 宋 丹¹, 裴怀全¹, 董 婧^{1,2}, 董晓庆¹, 葛晨霞¹, 张东鸣¹

(1 吉林农业大学 动物科技学院, 吉林 长春 130118; 2 沈阳农业大学 畜牧兽医学院, 辽宁 沈阳 110866)

[摘 要] 【目的】研究 L-肉碱强化卤虫对鲤鱼开口苗脂肪酸组成和 C/N 比率的影响, 为鲤鱼开口苗的饲养提供参考。【方法】分别用质量浓度为 0(对照), 1, 100, 1 000 mg/L 的 L-肉碱强化卤虫无节幼体(*Artemia* sp.) 12 和 24 h, 然后投喂给鲤鱼(*Cyprinus carpio*) 开口苗, 21 d 后测定鱼苗的脂肪酸组成和 C/N 比率。【结果】投喂 L-肉碱强化 12 h 的卤虫时, 1 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的 ΣC_{14-24} 脂肪酸含量、饱和脂肪酸含量和单不饱和脂肪酸含量较对照组显著降低($P < 0.05$); 1 000 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的单不饱和脂肪酸含量较对照组显著升高($P < 0.05$); L-肉碱对鲤鱼开口苗的多不饱和脂肪酸含量、 $\Sigma n-3 + \Sigma n-6$ 和 $\Sigma_{DHA+EPA}$ 含量均无显著影响($P > 0.05$); 1 000 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的 C/N 比率显著低于对照组和 1 mg/L L-肉碱处理组($P < 0.05$)。投喂 L-肉碱强化 24 h 的卤虫时, 1 和 100 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的 ΣC_{14-24} 脂肪酸和饱和脂肪酸含量较对照组显著降低($P < 0.05$), 但 2 组之间差异不显著($P > 0.05$); 1 000 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的 ΣC_{14-24} 脂肪酸和饱和脂肪酸含量较对照组显著升高($P < 0.05$); 1 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的单不饱和脂肪酸含量较其他 3 组显著降低($P < 0.05$), 多不饱和脂肪酸、 $\Sigma n-3 + \Sigma n-6$ 和 $\Sigma_{DHA+EPA}$ 含量与对照组差异不显著($P > 0.05$); 100 mg/L 和 1 000 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的多不饱和脂肪酸、 $\Sigma n-3 + \Sigma n-6$ 和 $\Sigma_{DHA+EPA}$ 含量较对照组显著升高($P < 0.05$), 且 2 组之间差异显著($P < 0.05$); 1, 100 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的 C/N 比率较对照组和 1 000 mg/L L-肉碱处理组显著降低($P < 0.05$)。【结论】本试验条件下, 以质量浓度 100 mg/L L-肉碱强化卤虫 24 h 后再投喂鲤鱼开口苗, 可显著改善鲤鱼开口苗的脂肪酸组成和 C/N 比率。

[关键词] L-肉碱; 强化卤虫; 鲤鱼; 开口苗; 脂肪酸组成; C/N 比率

[中图分类号] S965.116.321⁺.4

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2011)06-0031-06

Effects of L-carnitine enriched *Artemia* on fatty acids composition and C/N ratio in first feeding larvae of common carp, *Cyprinus carpio*

CHEN Yu-ke¹, LIN Li-li¹, SONG Dan¹, PEI Huai-quan¹, DONG Jing^{1,2},

DONG Xiao-qing¹, GE Chen-xia¹, ZHANG Dong-ming¹

(1 Faculty of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China;

2 College of Animal Science and Veterinary Medicine, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China)

Abstract: 【Objective】Effects of L-carnitine enriched *Artemia* on fatty acids composition and C/N ratio in first feeding larvae of freshwater common carp (*Cyprinus carpio*) were studied to offer basis to improve culturing technology of the larvae. 【Method】The experimental larvae were reared in 50 L tank with stocking density of 40 fish/L at $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ for 21 days. The newly hatched *Artemia* nauplii, enriched with 4 levels (0, 1, 100, 1 000 mg/L) of L-carnitine at $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ for 12 h and 24 h respectively, were used as starter food for rearing larvae. 【Result】In the 12 h-enriched groups, ΣC_{14-24} FA, SFA and MUFA contents were

* [收稿日期] 2010-11-19

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30671621)

[作者简介] 陈玉珂(1983—), 男, 河南郑州人, 在读硕士, 主要从事水产动物营养研究。E-mail: qqqchenyuke@163.com

[通信作者] 张东鸣(1962—), 男, 吉林长春人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事水产动物营养研究。

significantly($P<0.05$) lower by feeding 1 mg/L L-carnitine enriched nauplii than those of the control group; MUFA content was improved significantly ($P<0.05$) by feeding 1 000 mg/L L-carnitine enriched nauplii than the control group, no significant differences ($P>0.05$) were observed on PUFA, $\sum_{n-3} + \sum_{n-6}$ and $\sum_{DHA+EPA}$ content in the treatment groups; C/N ratio was decreased significantly ($P<0.05$) by feeding 1 000 mg/L L-carnitine enriched nauplii than 1 mg/L L-carnitine enriching group and the control ($P<0.05$). In the 24 h-enriched groups, $\sum_{C_{14-24}}$ FA and SFA contents were significantly($P<0.05$) lower in 1 and 100 mg/L L-carnitine enriching groups than those of the control group, but no significant differences ($P>0.05$) were observed between them; $\sum_{C_{14-24}}$ FA and SFA contents were improved significantly($P<0.05$) by feeding 1 000 mg/L L-carnitine enriched nauplii than the control group; MUFA content of larvae was decreased significantly ($P<0.05$) by feeding 1 mg/L L-carnitine enriched nauplii than that of the other groups; no significant differences ($P>0.05$) were observed on PUFA, $\sum_{n-3} + \sum_{n-6}$ and $\sum_{DHA+EPA}$ content between 1 mg/L L-carnitine enriching groups and the control; There was significantly ($P<0.05$) higher PUFA, $\sum_{n-3} + \sum_{n-6}$ and $\sum_{DHA+EPA}$ content for larvae in 100 and 1 000 mg/L L-carnitine enriching groups than in the control, but significant differences ($P>0.05$) were observed between them; The C/N ratio of larvae was significantly($P<0.05$) lower by feeding 1 and 100 mg/L L-carnitine enriched nauplii than that of the control and 1 000 mg/L L-carnitine enriching groups. 【Conclusion】 The fatty acids composition and C/N ratio of larvae were improved by feeding 100 mg/L L-carnitine enriched nauplii in the 24 h enriched groups.

Key words: L-carnitine; enriched *Artemia*; common carp (*Cyprinus carpio*); first feeding larvae; fatty acids composition; C/N ratio

L-肉碱(L-carnitine)是参与调控脂肪酸代谢的重要因子,其主要作用是作为脂肪酸的跨膜载体,并以酰基肉碱的形式携带长链脂肪酸进入线粒体膜内,促进脂肪酸的 β -氧化。在水产动物营养方面,脂肪是热量的重要来源,而构成脂肪的一些脂肪酸对水产动物营养具有特殊意义。研究证明,不饱和脂肪酸在机体内具有重要的生物学作用和生理学调控功能^[1-5]。

近年来,L-肉碱对水产动物的营养作用已得到了较全面的研究,证明了 L-肉碱对鱼类的脂类代谢等均有积极的影响^[6-7]。但是这些研究一般都集中在能够摄食配合饲料的大规格鱼种上,而有关 L-肉碱对处在生长发育最初阶段、以生物饵料为食物的开口苗的影响研究尚未见报道。鱼类在开口苗期,身体机能发育尚不完善,理论上其体内合成的 L-肉碱还不能满足机体生长的需要,而外源肉碱可在一定程度上改善开口苗的脂类代谢^[8]。然而开口苗(特别是海水开口苗)的优质饵料目前仍是活的生物饵料,对开口苗补充外源营养素就必需对活的生物饵料进行专项强化,并通过食物链“营养素—生物饵料—开口苗”传递给开口苗。鲤鱼(*Cyprinus carpio*)是淡水养殖的重要品种,体内富含 n-3 多不饱和脂肪酸,且其脂肪酸组成随生长变化较大。因

此,本研究选择鲤鱼开口苗为试验动物,以孵化后的卤虫无节幼体(以下简称卤虫)为鲤鱼苗的开口饵料,经不同质量浓度的 L-肉碱强化后投喂鲤鱼开口苗,研究 L-肉碱强化卤虫对鲤鱼开口苗脂肪酸组成和 C/N 比率的影响,初步探讨了“肉碱—生物饵料—开口苗”营养强化链的作用意义,以期为开口鱼苗营养学的深入研究提供参考和基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料

卤虫卵为 ARGENTEMIA 牌产品,产自美国大盐湖;海水为人工配制,盐度为 2.8‰;海水晶为广东广一灵牌产品;L-肉碱购自 Sigma 公司,产品代号为 C0158;试验鱼为鲤鱼(*Cyprinus carpio*)开口苗(破膜 3 d),购自吉林省梅河口鱼苗繁殖场。

脂肪酸标准品购自美国 Sigma 公司;正己烷、石油醚、氢氧化钾等为分析纯,甲醇为优级纯(天津科密欧化学试剂开发中心)。所用仪器有安捷伦公司的 HP7890 型气相色谱仪(带有氢火焰离子化检测器, FID)、HP 化学工作站, FFAP 弹性石英毛细管柱(DB23 30 m $\times$ 0.25 mm I.D. $\times$ 0.25 μ m 膜厚)等。

1.2 方法

1.2.1 卤虫的孵化与 L-肉碱强化 孵化器、气管、

气石清洗后用高锰酸钾消毒,将海水灌入孵化器,以2 g/L的密度投放卤虫卵。孵化条件为:温度25℃,盐度2.8‰,pH 8~9,溶解氧>3 mg/L,光照1 000 lx,孵化时间24 h。

在2 L三角瓶中对卤虫进行强化,强化体积为1 L,卤虫强化密度为1 000~3 000个/mL,L-肉碱添加量分别为0(对照),1,100和1 000 mg/L,强化时间分别为12和24 h,水温维持在(25±1)℃,持续充气。

1.2.2 鲤鱼开口苗的培养与采样 在鲤鱼苗由内源性营养过渡到能自主摄食卤虫无节幼体时开始试验。将鲤鱼苗随机分配到21个70 L的玻璃养殖缸中,养殖体积50 L。缸中注入经过爆气的自来水(温度为(25±1)℃),持续充气。初始培养密度为40尾/L。每天投喂2次(08:00和20:00)L-肉碱强化卤虫,卤虫投喂量以保持养殖水体中卤虫的密度为3~7个/mL计。投喂时首先计算各强化组卤虫的密度,推算出每组的投喂量,然后按投喂量量取卤虫培养液,经0.5 mm分样筛过滤出卤虫,用清水冲洗3遍,投喂给对应组的开口苗(开口苗摄食期间关闭水循环系统)。每天擦洗缸壁黏液,用虹吸法去除缸底碎屑。每个处理设3个重复。分组次日为试验第1天,培养期为21 d。试验结束禁食24 h后采样(防止肠容物的污染),将样品先后用清水和蒸馏水清洗,经液氮冷冻后于-80℃贮藏备用。

1.2.3 鲤鱼开口苗脂肪酸组成测定 本试验主要测定鲤鱼开口苗的中长链脂肪酸组成。取5尾完整的冻干样品用研钵研磨成粉末,放入50 mL离心管中;然后加入10 mL正己烷与氯仿(体积比为2:1)混合液,3 mL蒸馏水;涡旋提取10 min;3 500 r/min离心20 min,取上清液于玻璃试管中,放入离心浓缩仪于室温蒸干;然后加入1 mL正己烷对粗脂肪进行溶解,再加入1 mol/L KOH-CH₃OH 0.2 mL,涡旋提取1 min;50℃水浴10 min,水浴结束后加入50 mL/L的硫酸-甲醇0.2 mL,轻轻混匀后于2 000 r/min离心10 min;取上清液至另一玻璃试管中,将其放入离心浓缩仪蒸干;最后将干燥后的脂肪酸用适量正己烷溶解,移入进样瓶供GC分析。

色谱条件:进样口温度260℃;检测温度270℃;柱升温程序为初始温度150℃,保持5 min,以3℃/min速率升至230℃,保持15 min,1 μL进样。氢气(99.999%)40 mL/min,空气400 mL/min,载气为高纯N₂(99.999%),1.5 mL/min。

1.2.4 鲤鱼开口苗C/N比率的测定 样品中的碳

含量和氮含量使用CHN元素分析仪测定。先将每组新鲜的鱼样分别装进广口称样瓶中,放入冻干机中冻干24 h。然后从每组取3尾冻干的鱼样放入研钵中,研磨成粉末,每组取100 mg上机检测。

1.2.5 数据的统计分析 采用单因子方差分析(One-way ANOVA)比较不同处理组间脂肪酸组成和C/N比率的差异显著性,并应用LSD多重检验比较各处理间的均值,差异显著性水平(*P*)值设定在0.05。所有统计分析均采用SPSS16.0统计软件进行。误差和置信度区间用“均值±标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 L-肉碱强化卤虫对鲤鱼开口苗脂肪酸组成的影响

试验结果(图1)显示,L-肉碱对鲤鱼开口苗体内长链脂肪酸组成有显著影响(*P*<0.05)。在投喂L-肉碱强化12 h的卤虫时,L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的 $\sum C_{14-24}$ 脂肪酸含量较对照组均显著降低(*P*<0.05),其中1 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的 $\sum C_{14-24}$ 脂肪酸含量较其他3组显著降低(*P*<0.05),100和1 000 mg/L L-肉碱处理组 $\sum C_{14-24}$ 脂肪酸含量的差异不显著(*P*>0.05);1和100 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的饱和脂肪酸含量较对照组显著降低(*P*<0.05),但这2组之间差异不显著(*P*>0.05);1 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的单不饱和脂肪酸含量较其他3组显著降低(*P*<0.05),而1 000 mg/L L-肉碱处理组的单不饱和脂肪酸含量较对照组显著升高(*P*<0.05)。L-肉碱对鲤鱼开口苗多不饱和脂肪酸、 $\sum_{n-3} + \sum_{n-6}$ 和 $\sum_{DHA+EPA}$ (C_{20:5n-3}和C_{22:6n-3}含量之和)含量的影响与对照组间无显著差异(*P*>0.05)。

投喂L-肉碱强化24 h的卤虫时,1和100 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的 $\sum C_{14-24}$ 脂肪酸和饱和脂肪酸含量较对照组显著降低(*P*<0.05);1 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的单不饱和脂肪酸含量较对照组显著降低(*P*<0.05);1 000 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的 $\sum C_{14-24}$ 脂肪酸和饱和脂肪酸含量较对照组显著升高(*P*<0.05);100和1 000 mg/L L-肉碱组鲤鱼开口苗的多不饱和脂肪酸、 $\sum_{n-3} + \sum_{n-6}$ 和 $\sum_{DHA+EPA}$ 含量较对照组显著升高(*P*<0.05),且这2组之间也有显著差异(*P*<0.05);1 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的多不饱和脂肪酸、 $\sum_{n-3} + \sum_{n-6}$ 和 $\sum_{DHA+EPA}$ 含量与对照组无显著差异(*P*>0.05)。

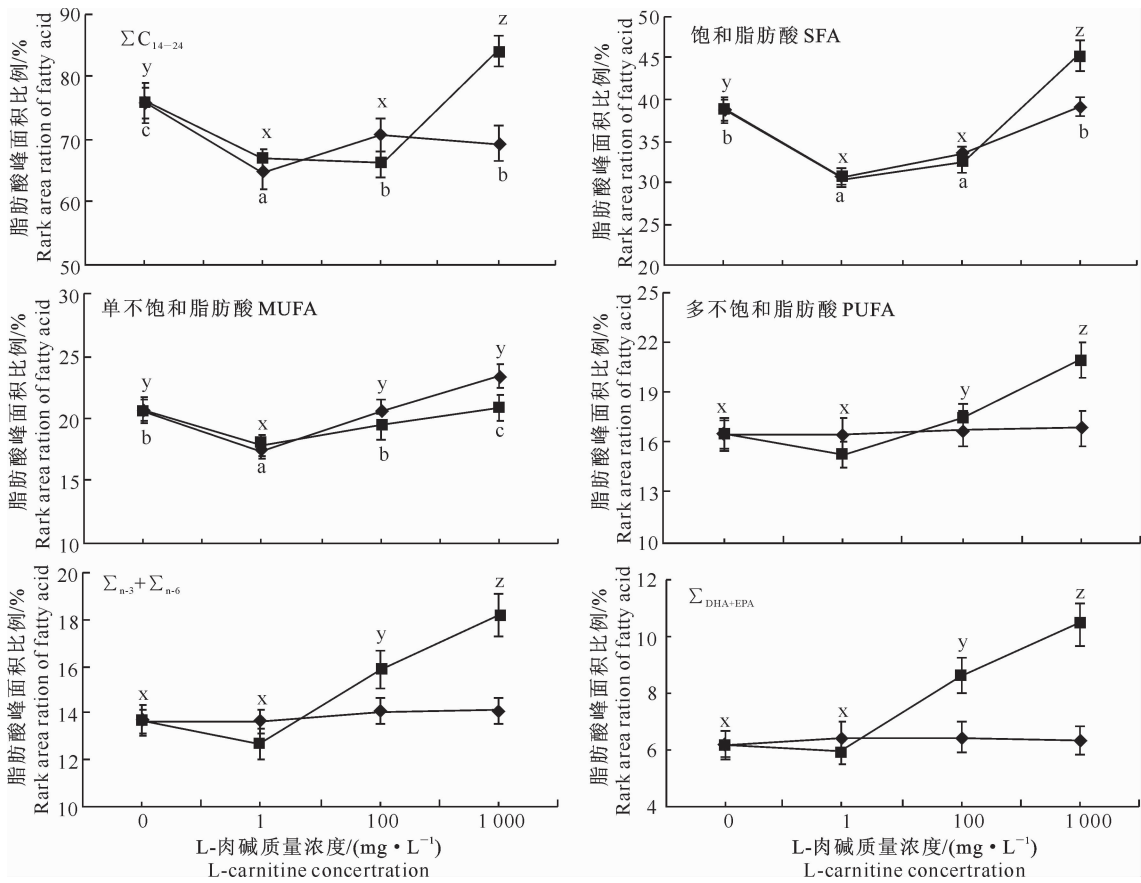


图 1 L-肉碱强化 12 和 24 h 卤虫对鲤鱼开口苗脂肪酸组成的影响

—◆—12 h; —■—24 h

图中各处理组间标不同字母者表示差异显著 ($P < 0.05$), 标相同字母者表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下同

Fig. 1 Effect of L-carnitine enriched *Artemia* on Fatty acid composition in first feeding larvae of common carp

—◆—12 h; —■—24 h

Different letters indicate the significant differences ($P < 0.05$) among the treatments, whereas the same ones indicate no statistical significant differences ($P > 0.05$). The same as below

2.2 L-肉碱强化卤虫对鲤鱼开口苗 C/N 比率的影响

L-肉碱强化卤虫对鲤鱼开口苗 C/N 比率的影响如图 2 所示。

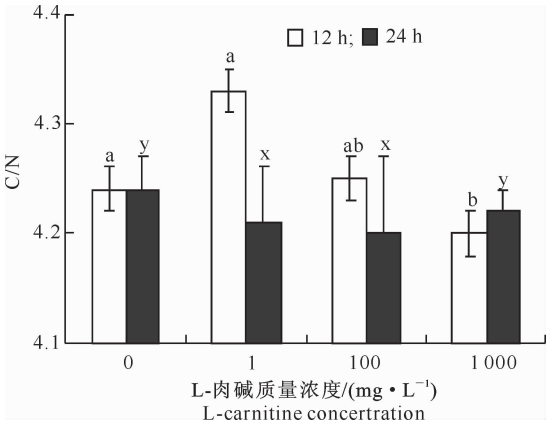


图 2 L-肉碱强化卤虫对鲤鱼开口苗 C/N 比率的影响

Fig. 2 Effects of L-carnitine enriched *Artemia* on C/N ratio in the first feeding larvae of common carp

由图 2 可见, L-肉碱对鲤鱼开口苗的 C/N 比率有一定影响 ($P < 0.05$)。在投喂 L-肉碱强化 12 h 卤虫的处理组内, 1 000 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的 C/N 比率显著低于对照组和 1 mg/L L-肉碱处理组 ($P < 0.05$), 但与 100 mg/L L-肉碱处理组间差异不显著 ($P > 0.05$); 对照组及 1 和 100 mg/L L-肉碱处理组间 C/N 比率差异不显著 ($P > 0.05$)。在投喂 L-肉碱强化 24 h 卤虫的处理组内, 1 和 100 mg/L L-肉碱处理组与对照组、1 000 mg/L L-肉碱处理组之间 C/N 比率差异显著 ($P < 0.05$)。

3 讨论

鱼类是变温动物, 其生存和生长所需要的必需脂肪酸(EFA)因种类而异。鱼体脂肪酸的相对含量随种类、年龄、性别、温度等的变化而变化, 在很大程度上还受到食物的影响。总体而言, 鱼体自身一般不能

合成 n-3、n-6 系列不饱和脂肪酸,因此 α -亚麻酸($C_{18:3n-3}$)、EPA($C_{20:5n-3}$)、DHA($C_{22:6n-3}$)等 n-3 系列的不饱和脂肪酸及亚油酸($C_{18:2n-6}$)、 γ -亚麻酸($C_{18:3n-6}$)、花生四烯酸($C_{20:4n-6}$)等 n-6 系列的不饱和脂肪酸被认为是鱼类的 EFA。前人对虹鳟、鲤鱼、青鱼、草鱼、鳊鱼等的研究表明,淡水鱼类利用十八碳脂肪酸合成二十或二十二碳脂肪酸的能力明显强于海水鱼类,因此淡水鱼类的 EFA 主要是亚油酸($C_{18:2n-6}$)、 α -亚麻酸($C_{18:3n-3}$)和 γ -亚麻酸($C_{18:3n-6}$)^[9-13]。本试验以 L-肉碱强化的卤虫为饵料,研究了 L-肉碱强化 12 和 24 h 卤虫对鲤鱼开口苗脂肪酸组成和 C/N 比率的影响。试验结果显示,在投喂 L-肉碱强化 12 h 的卤虫时,L-肉碱处理组鲤鱼开口苗脂肪酸组成虽然发生了一些变化,但是对鲤鱼开口苗生长比较重要的多不饱和脂肪酸、 $\sum_{n-3} + \sum_{n-6}$ 和 $\sum_{DHA+EPA}$ 含量均未发生明显变化($P>0.05$)。而在投喂 L-肉碱强化 24 h 卤虫时,100 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的总脂肪酸含量较对照组显著下降($P<0.05$),多不饱和脂肪酸含量显著升高($P<0.05$),这对鲤鱼开口苗的生长是有益的。本试验中,L-肉碱强化卤虫对 C/N 比率的影响结果与其对脂肪酸的影响结果相似,这也说明了 L-肉碱强化时间较长的卤虫体内可能富集有较高质量浓度的 L-肉碱,进而影响了鲤鱼开口苗的脂肪酸和 C/N 比率的变化。其原因可能是因为初孵卤虫无节幼体在破膜后的前 12 h 主要靠自身的内源营养生存,破膜 12 h 后才开始摄取外源营养。并且其可以作为良好的载体,将水体中的微量营养素通过食物链传递到鱼虾体内^[14]。但关于其具体原因和机理还有待进一步研究。

本试验结果表明,经过“肉碱—卤虫—鲤鱼开口苗”营养强化链,给鲤鱼开口鱼苗饲喂 L-肉碱强化的卤虫,可对鲤鱼开口苗的脂肪酸组成产生显著影响,在投喂 L-肉碱强化 24 h 的卤虫时,与对照组相比,1 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的 $\sum_{C_{14-24}}$ 脂肪酸、饱和脂肪酸(SFA)和单不饱和脂肪酸(MUFA)含量显著下降($P<0.05$),100 和 1 000 mg/L L-肉碱组的多不饱和脂肪酸、 $\sum_{n-3} + \sum_{n-6}$ 和 $\sum_{DHA+EPA}$ 含量均显著升高($P<0.05$),这与 Ozorio 等^[15]的研究结果一致。由于动物幼体自身合成肉碱的功能尚不完善,不能满足发育过程中能量代谢的需要,添加外源 L-肉碱可以促进脂肪酸的氧化,提高开口鱼苗对脂肪酸的利用^[8]。而用适宜质量浓度的 L-肉碱强化卤虫后,L-肉碱会在卤虫体内富集,当鲤鱼开口苗摄食了 L-肉碱强化的卤虫后,这些 L-肉碱便可参与并促进其体内长链脂肪酸

的代谢。淡水鱼苗可以将饵料中的 $C_{18:2n-3}$ 或 $C_{18:3n-3}$ 转变为同组的 C_{20} 或 C_{22} 的多不饱和脂肪酸(PUFA),生物合成 $C_{20:5n-3}$ 和 $C_{22:6n-3}$,同时, $C_{22:6n-3}$ 和 $C_{20:4n-6}$ 是 $C_{18:3n-3}$ 和 $C_{18:2n-6}$ 进一步去饱和及延长作用的终产物,而 $C_{20:4n-6}$ 可以进一步去饱和延长为 $C_{22:5n-6}$,所以淡水鱼类通常积累 $C_{22:6n-3}$ 而不是 $C_{22:5n-6}$ ^[16];另一方面,还可能是由于鱼类会优先保存多不饱和脂肪酸,特别是 EPA 和 DHA,以用于细胞膜结构的形成,而其他脂肪酸被优先作为能源利用^[17]。上述便是本试验中鲤鱼开口苗取食 L-肉碱强化卤虫后其饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)含量降低及多不饱和脂肪酸、 $\sum_{n-3} + \sum_{n-6}$ 和 $\sum_{DHA+EPA}$ 含量升高的原因。

但也有研究表明,饲料中添加 L-肉碱对鱼类的脂肪酸含量并不会产生较大影响^[18-19],这与本试验结果相反。其原因可能与试验鱼的品种、生长阶段、L-肉碱的添加剂量不同等因素有关。Chatzifotis 等^[18]研究证明,真鲷鱼体脂肪酸的组成和脂质的含量明显受到鱼体规格大小的影响,通过饲喂添加肉碱的饵料,真鲷幼鱼(体质量为 9.6 g)体内 DHA、EPA 和 C_{20-24} 的含量降低,而小规格鱼苗(体质量为 0.07 g)体内 EPA 和 HUFA 含量增加,表明 L-肉碱会对大小不同鱼体的生化组成产生不同的影响。本试验结果与其对小规格鱼苗的研究结果相似,这是因为 L-肉碱是肉碱棕榈酸转移酶 I (CPT-I) 和肉碱棕榈酸转移酶 II (CPT-II) 以及肉碱乙酰基转移酶(CAT)的底物,这些酶参与和控制着脂肪酸的利用^[20],鱼类在不同生长阶段,其线粒体中的 CPT 活性有显著差异,并且开口苗阶段的鱼体内肉碱棕榈酰转移酶的活性较成鱼高得多,而成鱼肉碱棕榈酰基转移酶抑制因子的活性高^[21],所以开口苗较规格较大的鱼更容易受 L-肉碱的影响。

本研究还表明,L-肉碱强化的卤虫对鲤鱼开口苗 C/N 比率的影响与其对脂肪酸组成的影响表现出相同的趋势。本试验选 C/N 比率作为检测指标,旨在更精确、深入地反映 L-肉碱对鲤鱼开口苗碳代谢的影响。在生物体内,碳元素主要存在于脂类、蛋白质和碳水化合物当中,氮元素主要存在于蛋白质当中^[22],而 L-肉碱的主要功能是促进长链脂肪酸进入线粒体进行 β -氧化,脂肪酸的 β -氧化可将长链脂肪酸改造为长度适宜的脂肪酸,供给机体代谢需要,而在这个过程中生成的乙酰 CoA 是能源物质代谢的重要中间代谢产物。脂肪、蛋白质、糖 3 大类营养物质通过乙酰 CoA 汇聚成一条共同的代谢通路——三羧酸循环,经过这条通路彻底氧化生成二氧化碳

和水,释放能量,同时又为其合成提供充足的原材料。本试验结果显示,在给鲤鱼开口苗投喂 L-肉碱强化 24 h 的卤虫时,1 和 100 mg/L L-肉碱处理组鲤鱼开口苗的 C/N 比率较其他 2 组显著降低,与 C₂₀₋₂₄ 脂肪酸含量的变化趋势吻合。这可能是因为 L-肉碱的作用下,鲤鱼开口苗体内脂肪酸的 β -氧化增强,被氧化的那部分碳通过三羧酸循环等途径再生成脂肪、蛋白质等物质,以满足机体的需要。

本试验发现,用经适宜质量浓度 L-肉碱强化的卤虫投喂鲤鱼开口苗时,鲤鱼开口苗体内饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)含量降低,多不饱和脂肪酸含量提高,这对促进鲤鱼开口苗的生长有重要的指导作用。

[参考文献]

- [1] Ji H, Om A D, Yoshimatsu T, et al. Effect of dietary docosahexaenoic acid on lipogenesis and lipolysis in black sea bream *Acanthopagrus schlegelii* [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2007, 26(1): 112-121.
- [2] Om A D, Umino T, Nakagawa H, et al. The effects of dietary EPA and DHA fortification on lipolysis activity and physiological function in juvenile black sea bream *Acanthopagrus schlegelii* (Bleeker) [J]. Aquaculture Res, 2001, 32 (Sup.): 255-262.
- [3] Om A D, Ji H, Umino T, et al. Dietary effects of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid on lipid metabolism in black sea bream [J]. Fisheries Sci, 2003, 69: 1182-1193.
- [4] 曹俊明,刘永坚,劳彩玲,等. 饲料中不同脂肪酸对草鱼生长和组织营养成分组成的影响 [J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 1996, 12(Sup.): 149-154.
Cao J M, Liu Y J, Lao C L, et al. Effect of dietary fatty acids on growth and tissue chemical composition of grass carp, *Ctenopharyngodon idellus* [J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science, 1996, 12 (Sup.): 149-154. (in Chinese)
- [5] 李惠侠,杨公社. 二十二碳六烯酸对大鼠脂肪细胞增殖分化的影响 [J]. 生物工程学报, 2005, 21(5): 840-843.
Li H X, Yang G S. Effects of docosahexaenoic acid on rat adipocytes proliferation and differentiation [J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2005, 21(5): 840-843. (in Chinese)
- [6] 田 娟,冷向军,李小勤,等. 肉碱对草鱼生长性能、体成分和脂肪代谢酶活性的影响 [J]. 水产学报, 2009, 33(2): 295-302.
Tian J, Leng X J, Li X Q, et al. Effect of dietary carnitine on growth performance, body composition and lipid metabolism enzymes of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* [J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(2): 295-302. (in Chinese)
- [7] Santulli A, D'Amelio V. Effects of supplemental dietary carnitine on growth and lipid metabolism of hatchery reared seabass [J]. Aquaculture, 1986, 59: 77-86.
- [8] Charles J. Rebouche. carnitine function and requirements during the life cycle [J]. Faseb Journal, 1992, 6: 3379-3386.
- [9] 王道尊,丁 磊,赵德福. 必需脂肪酸对青鱼生长影响的初步观察 [J]. 水产科技情报, 1986(2): 4-6.
Wang D Z, Ding L, Zhao D F. The primary study on effects of essential fatty acid on growth of black carp, *Mylopharyngodon piceus* [J]. Fisheries Science & Technology Information, 1986 (2): 4-6. (in Chinese)
- [10] Takeuchi T, Watanabe T. Requirement of carp for essential fatty acids [J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1977, 43: 541-551.
- [11] Takeuchi T, Watanabe K, Yong W Y, et al. Essential fatty acids of grass carp *Ctenopharyngodon idella* [J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1991, 57: 467-473.
- [12] Takeuchi T, Arai S, Watanabe T, et al. Requirement of eel, *Anguilla japonica*, for essential fatty acids [J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1980, 46: 345-353.
- [13] Watanabe T. Lipid nutrition in fish [J]. Comp Biochem Physiol, 1982, 73: 3-15.
- [14] 成永旭. 生物饵料培养学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 11.
Cheng Y X. Live food cultivation [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2005: 11. (in Chinese)
- [15] Ozorio R O, Van ginneken V J, Bessa R J, et al. Effects of exercise on L-carnitine and lipid metabolism in African (*Clarias gariepinus*) fed different dietary L-carnitine and lipid levels [J]. British Journal of Nutrition, 2010, 103(8): 1138-1150.
- [16] Halver J E, Hardy R W. Fish nutrition [M]. 3rd ed. California, USA: Academic Press, 2002: 220-227.
- [17] Mourente G, Odriozola J M. Effect of broodstock diets on lipid classes and their fatty acid composition in eggs of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 1990, 8(2): 93-101.
- [18] Chatzifotis S, Takeuchi T, Seikai T. The effects of dietary L-carnitine on growth performance and lipid composition in red sea bream fingerlings [J]. Fish Sci, 1995, 61: 10004-10008.
- [19] Rodehutsord M. Effects of supplemental dietary L-carnitine on growth and body composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed high fat diets [J]. J Anim Physiol Nutr, 1995, 73: 276-279.
- [20] Borum P R. Role of carnitine in lipid metabolism [M]//Horrisberger M, Braco U. Lipids in modern nutrition. New York: Raven, 1987: 51-58.
- [21] 杨奇慧,周小秋. L-肉碱对水产动物脂肪代谢的影响 [J]. 饲料博览, 2004(5): 9-11.
Yang Q H, Zhou X Q. Effects of carnitine on adipose metabolism in aquatic animal [J]. Feed Review, 2004(5): 9-11. (in Chinese)
- [22] Asaduzzaman M, Wahab M A, Verdegem M C J, et al. Effects of carbohydrate source for maintaining a high C:N ratio and fish driven resuspension on pond ecology and production in periphyton-based freshwater prawn culture systems [J]. Aquaculture, 2010, 301: 37-46.