

(厦门大学海洋与地球学院, 福建厦门 361102)

摘要:牛磺酸(Taurine, CAS 107-35-7)是含硫氨基酸,以游离形式广泛分布于动物组织细胞中,在植物体内含量较少。牛磺酸具有多种重要的生理功能,包括参与脂类、糖类、蛋白质的代谢,抗氧化,调节渗透压等。近几年来,由于鱼类配合饲料中植物性原料的使用持续增加,牛磺酸的添加越来越受到重视。文章简要综述了牛磺酸的结构特点和自然分布、合成与代谢以及牛磺酸在鱼类中的生理功能及其在配合饲料中的应用,以期为牛磺酸在鱼类配合饲料中的应用积累基础资料,并为今后相关研究提供参考。

关键词:牛磺酸;合成代谢;生理功能;鱼类配合饲料;应用

doi:10.13302/j.cnki.fi.2015.14.007

中图分类号:S963.73

文献标识码:A

文章编号:1001-991X(2015)14-0028-07

Physiological functions of taurine and its application in the fish formulated diet

Xie Wenli, Guan Yanyun, Ai Chunxiang

Abstract: Taurine is a free sulfonic acid found in high concentrations in animal tissues and in low concentrations in plant with dissociative form. Taurine has numerous important physiological functions, including regulation of metabolism of lipid, carbohydrate and protein, anti-oxidative defense, osmoregulation and so on. In recent years, taurine is taken seriously more and more with sustainable plant proteins supplied in fish formulated feed. This review summarizes the structural characteristics, natural distribution, synthesis and metabolism of taurine and its physiological functions and the use of taurine in the formulated diet. The aim of the review is helpful to accumulate fundamental data for the application of taurine in fish formulated feed, and provide the reference for the related research in the future.

Key words: taurine; synthesis and metabolism; physiological functions; fish formulated diet; application

牛磺酸又称2-氨基乙磺酸(2-Aminoethanesulfonic acid)、牛胆酸、牛胆素,1827年首先从牛胆汁中分离,纯品为无色或白色晶体,无臭。牛磺酸化学性质稳定,是一种含硫游离氨基酸,不参与体内蛋白的生物合成。牛磺酸虽然不参与蛋白质合成,但它却与胱氨酸、半胱氨酸和蛋氨酸等含硫氨基酸的代谢密切相关。有关牛磺酸的研究以前主要集中在哺乳动物,研究表明,牛磺酸在动物体内发挥重要的生理功能,如

调节心血管系统、参与糖类、脂类、蛋白质代谢,促进神经系统发育,提高动物繁殖性能等。近年来,牛磺酸在水产养殖中的应用研究受到人们广泛关注。研究主要集中在两个方面:一是牛磺酸对鱼类的生长性能的影响,如在以植物源蛋白为主的饲料中添加牛磺酸能显著提高肉食性鱼类的生长性能(Gaylord等,2007);二是牛磺酸对养殖鱼类生存能力的影响,饲料中适量添加牛磺酸通过提高红细胞的渗透脆性进而改善鱼类耐缺氧能力以及缓解鱼类绿肝综合征等(Yang等,2013)。鱼类对于牛磺酸的需要量与其种类、大小、食性等密切相关,但过量的牛磺酸也会引起水产养殖动物出现中毒反应(El-Sayed,2014),各种养殖鱼类的牛磺酸适宜需求量需要进一步开展深入系统的研究。本文综述了牛磺酸的结构特点和自然分布、合成与代谢以及其在鱼类中的生理功能及鱼类配合饲料中的应用。

作者简介:解文丽,硕士,研究方向为水产动物营养生理学。

通讯作者:艾春香,博士。

收稿日期:2015-03-03

基金项目:厦门市科技创新项目“基于生物活性物质的鱼用保肝促生长制剂的研制与示范应用[3502Z20143002]”资助

1 牛磺酸的结构特点与自然分布

牛磺酸,是一种β型含硫氨基酸,分子式:HO₂S-CH₂-CH₂-NH₂,相对分子量为125.1,常温常压下为无色四周针状结晶,无臭,味微酸,熔点310℃,不与蛋白质结合而以游离态存在于生物体内。

牛磺酸主要分布于动物的脑、卵巢、子宫、肾、骨骼、肌肉、血液等组织器官,在植物体内含量较少。牛磺酸含量除在中枢神经系统中仅次于谷氨酸外,在其它组织器官中都远高于其它氨基酸。在神经、肌肉、腺体等可兴奋组织内牛磺酸含量较高,大脑、骨骼肌、肝脏和肾脏中的牛磺酸含量占自由氨基酸总量分别约为19%、50%、25%和50%(Salze等,2015),在心血管组织、胆汁中含量也很高。牛磺酸以鲜蛤中含量最高,其次是孵化19d左右的鸡胚中含量较多。含牛磺酸的植物种类很少,其中含量最多的是藻类,其次是坚果和豆科植物籽实(黑豆、蚕豆、嫩豌豆、扁豆及南瓜籽等),分别为15~46 nmol/g和9.2~18.7 nmol/g(任和等,2006)。值得注意的是某些动物包括含有丰富牛磺酸的动物,不能够通过自身代谢合成牛磺酸而必须通过饲料获得(Salze等,2015)。

2 牛磺酸在鱼类体内的合成与代谢

2.1 牛磺酸的合成

研究表明,牛磺酸可由半胱氨酸、胱氨酸和蛋氨酸等含硫氨基酸在动物机体体内经过一系列酶促反应合成,已知牛磺酸合成的5条途径见图1。

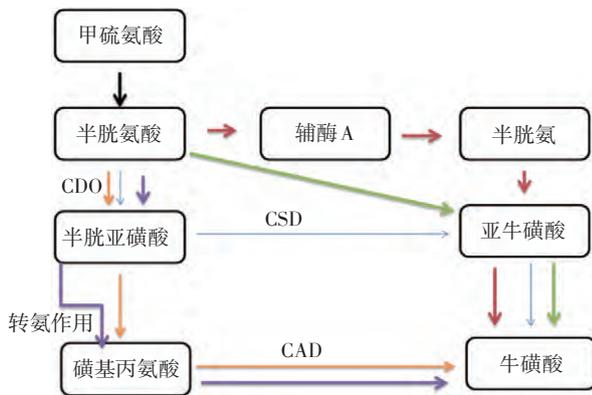


图1 牛磺酸合成的5条途径

哺乳类合成牛磺酸的主要途径是:由半胱氨酸经过半胱亚磺酸、亚牛磺酸最终生成牛磺酸。半胱氨酸经过半胱氨酸双加氧酶(cysteine dioxygenase, CDO, EC 1.13.11.20)氧化生成半胱亚磺酸,CDO是调节半胱氨酸浓度的关键酶。半胱氨酸过多会导致生物体产生中毒现象(Stipanuk等,2006),半胱亚磺酸经过半胱亚

磺酸脱羧酶(cysteine sulfinate decarboxylase, CSD, EC 4.1.1.29)脱羧生成亚牛磺酸,CSD是牛磺酸合成的限速酶。CSD活性具有组织特异性,与肌肉、肾脏和肠上皮细胞相比,哺乳动物肝脏中的CSD酶活性更高,说明肝脏是哺乳动物合成牛磺酸的主要场所(Salze等,2015)。

鱼类合成牛磺酸所需要的酶活性普遍低于哺乳类。牛磺酸合成在不同鱼类体内表现出极大的差异,这种差异取决于鱼的种类、大小、摄食习惯、CSD活性以及蛋氨酸含量。牛磺酸的合成能力与鱼类的食性有关:常见的杂食性鱼类,如鲤鱼(*Cyprinus carpio*)体内牛磺酸含量极低(Salze等,2015),但鲤鱼却具有很强的牛磺酸合成能力,即使饲料中不添加牛磺酸,鲤鱼体内的牛磺酸保有率仍高达280%(Kim等,2008),推断鲤鱼合成牛磺酸的途径不是第一条,很可能是第二条途径。同样属于杂食性鱼类的罗非鱼(*Oreochromis spp*),它的CSD活性是0.558 nmol/(min·mg prot.),仍然需要饲料中添加牛磺酸,表明CSD的活性不足(Salze等,2015)。饲料中添加牛磺酸对杂食性的斑点叉尾鮰(*Ictalurus Punetaus*)稚鱼的生长性能影响不显著(Robinson等,1978),这表明斑点叉尾鮰稚鱼自身能够合成足够的牛磺酸。由此推测,杂食性鱼类具有一定的牛磺酸合成能力。牛磺酸合成在草食性鱼类中研究的较少,草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)虽然合成牛磺酸的能力很弱,但能满足自身生长发育所需(Yang等,2013)。团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)体内检测到有较高浓度的牛磺酸,占自由氨基酸含量的32.04%(何琳等,2014)。基于上述研究,可以初步推测草食性鱼类也具有一定的牛磺酸合成能力。常见的肉食性鱼类虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)CSD活性为0.67 nmol/(min·mg prot.),通常情况下饲料中添加牛磺酸能够促进其生长,表明CSD活性不足(Salze等,2015)。当摄食完全植物源蛋白质的配合饲料时,添加牛磺酸促进虹鳟的生长(Gaylord等,2006);当摄食含有鱼粉的配合饲料时,添加牛磺酸不能提高虹鳟的生长状况(Suttisak Boonyoung等,2013)。牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)、真鲷(*Pagrosomus major*)、五条鲷(*Seriola quinqueradiata*)体内由于CSD活性较低或者缺乏,导致很少或者无法合成牛磺酸。日本比目鱼的饲料中分别添加0%、0.5%和1.5%的牛磺酸,当添加牛磺酸量为1.5%时显著提高了日本比目鱼的生长性能(Kim等,2007)。金枪鱼(*Thunnus thynnus*)是典型的肉食性鱼类,其体内只存在CSD,同时CSD活性只有

0.001 nmol/(min·mg prot.)(王和伟等,2013),因此金枪鱼饲料中需要添加牛磺酸。鲑鱼(*Salmo salar*)属于淡水肉食性鱼类,本身可以通过转硫作用合成牛磺酸(El-Sayed,2014),但饲料中添加牛磺酸仍能有效地促进鲑鱼的生长,表明鲑鱼自身合成牛磺酸量不足。由此可以得出,肉食性鱼类合成牛磺酸的能力普遍较低,有的鱼类甚至无法合成牛磺酸,必须通过饲料获取。此外,鱼类的天然摄食习惯以及摄食史可能通过影响其体内CSD活性进而影响牛磺酸的生物合成(Gaylord等,2006)。蛋氨酸也是鱼类牛磺酸合成的限制性因素之一(Davis等,2014)。目前关于鱼类牛磺酸合成的研究主要集中在几种常见的鱼类,同种鱼类不同阶段的合成能力各异。虹鳟逐渐长大,其肝脏中的CSD浓度显著增加,活性略有提高,而CDO浓度和活性逐渐下降(Wang等,2015)。但至今有关鱼类牛磺酸合成能力的研究有限,需要进一步加大研究力度。

2.2 牛磺酸的代谢

动物体内牛磺酸的合成与代谢处于动态平衡状态。当体内牛磺酸净含量超过一定水平时,牛磺酸会随尿液排出体外;当牛磺酸含量不足时,肾脏通过重吸收来降低牛磺酸的排泄量,以此维持生物体内牛磺酸的动态平衡。

牛磺酸在动物体内的代谢可以分为以下5个途径:①生成结合胆汁酸,胆汁酸盐不仅能够促进脂肪和脂溶性维生素的消化吸收,而且能够增加胆固醇的溶解与排出。②生成牛磺氯胺,牛磺氯胺的产生使细胞免遭氧化损伤。另外,牛磺氯胺通过减少一氧化氮和肿瘤坏死因子的产生来抑制炎症反应的发生,这已经成为牛磺酸生物学功能研究的热点。③生成胍基牛磺酸,在无脊椎动物中,胍基牛磺酸可以作为神经递质的调节剂,其中在很多海洋无脊椎动物中胍基牛磺酸类似于哺乳动物的肌酸。④生成牛磺脲酸,有关牛磺脲酸的研究较少,其生物功能还不清楚。⑤生成羟乙基牛磺酸。研究表明,哺乳动物不能合成羟乙基牛磺酸,其体内的羟乙基牛磺酸可能是由其肠道内细菌合成(王和伟等,2013)。

3 牛磺酸在鱼类中的生理功能

3.1 参与蛋白质、糖类、脂类的代谢调节

牛磺酸可以促进胃液的分泌,提高蛋白酶活力,从而促进蛋白质的分解。牛磺酸能够引起鼠胃酸的分泌(Huang等,2011)。饲料中添加牛磺酸能够显著提高鲤鱼血清甲状腺激素含量,血清甲状腺激素控制着鱼类生长激素的表达和合成,生长激素可以促进鱼

类蛋白质的合成。牛磺酸能提高军曹鱼早期幼鱼淀粉酶和胰蛋白酶的活性,从而促进军曹鱼幼鱼对淀粉和蛋白质的利用(Salze等,2012)。当灌喂草鱼的牛磺酸浓度为0.8 mg/ml时,肠道蛋白酶在2 h后达到最大,当牛磺酸浓度过量时,消化酶的活性受到抑制(龙勇等,2004)。

牛磺酸能够促进机体对葡萄糖、淀粉等糖类的利用。胰腺由内外分泌腺两部分组成,其中内分泌腺由大小不同的细胞团——胰岛所组成,胰岛主要由4类细胞组成:A细胞、B细胞、D细胞、PP细胞。A细胞分泌胰高血糖素,升高血糖,B细胞分泌胰岛素,降低血糖。进入胰腺B细胞的牛磺酸能够引起胰岛素的释放,从而使血糖含量降低。当灌喂草鱼的牛磺酸浓度为1 mg/ml时,肠道淀粉酶活性在2 h后达到最高,当牛磺酸过量时淀粉酶活性受到抑制,适量添加牛磺酸能够提高草鱼淀粉酶的活性(龙勇等,2004)。牛磺酸(600~800 mg/kg)显著提高草鱼肝胰脏和肠道脂肪酶和淀粉酶活性($P<0.05$)(罗莉等,2006);牛磺酸(800~1 200 mg/kg)显著提高黄河鲤鱼肝胰脏和肠道蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性(高春生等,2007)。

胆汁酸以胆汁酸盐的形式参与脂肪的消化吸收,而牛磺酸和甘氨酸能够与胆酸和鹅脱氧胆酸等游离胆酸结合形成牛磺胆酸、牛磺鹅脱氧胆酸等结合胆汁酸,进而以胆汁酸盐的形式进入消化道中,促进脂肪分解消化。日本比目鱼体内的牛磺酸是唯一能与胆酸结合的氨基酸,并且在仔鱼和稚鱼期,饲料中牛磺酸的摄食量影响结合胆酸的组成(Kim等,2008)。饲料中添加牛磺酸能够增加草鱼稚鱼的肠系膜脂肪系数,说明牛磺酸与脂肪代谢密切相关(Yang等,2013)。牛磺酸可以降低脂肪在鱼体内的积累,Marit Espe等通过对大西洋鲑幼鱼研究证明,高植物蛋白的饲料中低浓度的牛磺酸能够作用于脂类的代谢和储存(Marit等,2012)。

3.2 抗氧化

牛磺酸及其衍生物能够清除机体活性氧及其他氧化性有害物或增强机体抗氧化系统的抗氧化能力,从而保护动物免遭氧化伤害。饲料中添加1%的牛磺酸能够减少石首鱼肝脏氧化的伤害(Isaura Bañuelos-Vargas等,2014)。当饲料中牛磺酸浓度为1%时,欧洲鲈鱼(*Dicentrarchus labrax*)前肠中的过氧化氢酶活性与对照组相比增加(Feidantsis等,2014)。

3.3 免疫调节

牛磺酸能够在一定程度上提高动物的免疫功

生物活性 过氧化氢酶



能。饲料中添加牛磺酸在4周时可以提高虹鳟仔鱼的免疫力,但长时间添加(16周)却降低虹鳟的免疫力(徐奇友等,2007)。

3.4 调节渗透压

牛磺酸可以作为生物膜的稳定剂,调节细胞膜的流动性,使其成为理想的渗透压调节物质。牛磺酸渗透调节作用的发挥主要依靠牛磺酸对于渗透调节蛋白ENFZ的修饰作用(Moeukemann等,1999)。牛磺酸是主要的渗透压调节物质之一。饲喂缺乏牛磺酸饲料的五条鲷(*Seriola quinqueradiata*),血浆牛磺酸浓度和血清渗透压显著降低(Takagi S等,2006)。研究广盐性的罗非鱼(*Sarotherodon mossambicus*)发现,牛磺酸是罗非鱼(*Sarotherodon mossambicus*)肌肉和肝脏中的主要氨基酸,当肌肉细胞皱缩时,牛磺酸浓度急剧升高(Assem等,1983)。

3.5 提高繁殖能力

近年来,牛磺酸对于鱼类繁殖性能的影响逐渐受到重视。配制牛磺酸含量分别为0%、0.5%、1%的3种配合饲料投喂五条鲷,结果表明,牛磺酸能够提高五条鲷的产卵量,且随着牛磺酸含量的提高,五条鲷卵细胞生长显著提高,最终测定雌鱼的产卵率分别是0、1/6~6/7(Matsunari等,2006)。当添加牛磺酸水平为10 g/kg饲料时,罗非鱼亲鱼表现出最好的繁殖性能(El-Sayed,2014)。

3.6 提高动物的耐缺氧能力

牛磺酸能改善鱼类的耐缺氧能力。牛磺酸含量分别为6‰和8‰时均能显著提高黄河鲤鱼抗缺氧能力($P<0.05$)(张书松等,2008)。用牛磺酸含量分别为0、0.5、1、1.5、2、2.5 g/kg的饲料饲喂草鱼稚鱼,随着饲料中牛磺酸含量的增加,草鱼在极度缺氧环境下生存时间延长,并

且最高牛磺酸含量有最好的耐缺氧能力(Yang等,2013)。牛磺酸含量至少为1.5 g/kg时红细胞渗透脆性显著提高,当含量上升到2.5 g/kg时红细胞渗透脆性大幅提高。红细胞渗透脆性测试试验中溶血率和极度缺氧条件下的生存时间之间存在明显的相关性($P=0.023<0.05$),牛磺酸的细胞膜稳定性提高了草鱼稚鱼极度耐缺氧能力(Yang等,2013)。牛磺酸通过提高鲫鱼的血红蛋白含量提高鲫鱼耐缺氧能力(邱小琮等,2006)。当牛磺酸浓度为1.5%时麦穗鱼存活时间最长(吕广祺等,2015)。

4 牛磺酸在鱼类配合饲料中的适宜需求量

各种鱼类的牛磺酸合成能力不同,同种鱼类不同生长阶段牛磺酸合成能力变化也很大。此外,饲料原料组成、蛋白源、养殖鱼类的生长阶段及其所处的环境条件也显著影响牛磺酸的适宜需求量。近几年有关鱼类牛磺酸的需求量研究结果见表1。

5 牛磺酸在鱼类配合饲料中的应用

5.1 牛磺酸在鱼类配合饲料中的应用现状与存在的问题

近年来,鱼粉资源的短缺,导致其价格持续攀升,推动了植物源蛋白替代鱼粉的研究。植物源蛋白除存在营养素不均衡、缺乏限制性氨基酸、抗营养因子、适口性差等不足外,绝大多数植物源蛋白均缺乏牛磺酸,因此,研究植物性蛋白源替代鱼粉时更需要密切关注牛磺酸的应用,特别是在肉食性鱼类饲料中的应用。

研究表明,牛磺酸在某些鱼体中不能合成或者合成量不足,为条件性必需氨基酸。其中半胱亚磺酸脱羧酶(CSD)为含硫氨基酸转化生

作用：

- 1、保护细胞、抗炎。
- 2、体内抗氧化酶。
- 3、解除霉菌毒素中毒。

适用于：

- 1、保育猪料全部替代氧化锌抗腹泻。
- 2、体内氧化应激及损伤。
- 3、体内霉菌毒素蓄积中毒。

辽宁威兰生物技术有限责任公司
Liaoning Vetland Biotechnology Co.,Ltd.

地址：辽宁省沈阳市皇姑区陵东乡观音开发区20-6号
电话：024-88340206 传真：024-88340255
网址：<http://www.vetland.cn> 服务热线：4000247578

表1 鱼类牛磺酸的需要量

种类	生长阶段(g)	需要量	主要蛋白源	评价指标	资料来源
日本比目鱼	0.9	1.40%	鱼粉	生长状况	Park等(2002)
虹鳟	18.4	5 g/kg	玉米蛋白粉、小麦蛋白粉、大豆粉、大豆浓缩蛋白	生长状况、饲料消耗	Gaylord等(2007)
细点牙鲷	39.1±0.7	2 g/kg	鱼粉、大豆粉	生长状况、肌肉成分胆汁酸盐活化的脂肪酶活性	Chatzifotis等(2008)
真鲷	72	2%	大豆蛋白	绿肝综合征、生长状况	Takagi等(2011)
大菱鲆	6.3±0.01	1%	白鱼粉、酪蛋白	生长状况、摄食状况、饲料转化率	Qi等(2012)
	165.9±5.01	0.50%	白鱼粉、酪蛋白	生长状况、摄食状况、饲料转化率	Qi等(2012)
草鱼	5.26 ±0.03	2.5 g/kg	大豆粉、双低油菜饼粕、大豆粉、小麦粉	耐低氧、生长状况	Yang等(2013)
条带石鲷	2.72±0.04	0.5%~0.62%	鱼粉、小麦蛋白粉	生长状况、饲料转化率 蛋白利用率	Ferreira等(2014)
	6.4	1%	鱼粉、大豆粉	生长状况、饲料转化率	Lim等(2013)
	13.5	0.80%	鱼粉	生长状况	Lim等(2013)
黄尾鲷	236	7.5 g/kg	鱼粉、玉米蛋白粉、脱脂豆粕	平均体重、特定生长率	Khaoian等(2014)
加利福尼亚湾石首鱼	7.5	1%	鱼粉、大豆蛋白	肝脏中间代谢水平、抗氧化能力	Isaura等(2014)
石首鱼	14.6	0.99%	鱼粉、大豆粉	体重、饲料转化率	Jirsa等(2014)
尼罗罗非鱼	0.024	9.7 g/kg	大豆粉	生长状况	Al-Feky等(2015)
裸盖鱼	52.1±0.6	1.50%	大豆蛋白、玉米蛋白、鱼粉	生长状况、饲料转化率	Johnson等(2015)

成牛磺酸的最大限制酶,因此CSD在鱼体内的活性在一定程度上代表了鱼类合成牛磺酸的能力。但是CSD活性在不同鱼类及同种鱼的不同发育时期差异显著:CSD活性相对较高的鱼类,虹鳟、大西洋鲑鱼、罗非鱼等;CSD活性相对较低的鱼类,真鲷、牙鲆、鲤鱼、金枪鱼等;CSD几乎没有活性的鱼类,黄尾鱼、鳎鱼(*Pleuronichthys cornutus*)等(于道德等,2010)。

牛磺酸作为一种重要的鱼类饲料添加剂,其应用已有较多的报道,取得了良好的效果:①作为诱食剂。牛磺酸作为鱼类饲料添加剂能够显著提高鱼类的摄食率;②作为营养强化剂。随着饲料中牛磺酸含量的增加,五条鲷肌肉中牛磺酸含量成比例增长,且试验最初3周时添加牛磺酸的五条鲷稚鱼的生长性能显著提高,在3~6周期间补充牛磺酸的五条鲷重量得到提高(Matsunari等,2005);③作为植物源蛋白替代动物源蛋白的饲料添加剂。以高玉米蛋白粉为基础饲料中,添加1%的牛磺酸能够显著促进军曹鱼的摄食、生长以及饲料利用率(骆艺文等,2013)。以大豆蛋白作为全部蛋白源,补充牛磺酸能提高虹鳟的生长、饲料转化率、蛋白储积率、能量储积率(Gaylord等,2007)。以五条鲷为试验对象发现,以大豆浓缩蛋白完全替代鱼粉,则饲料中添加牛磺酸对于维持五条鲷正常的生理条件和生长状况是必要的(Takagi S等,2008);④增强鱼类的生理功能。牛磺酸是牙鲆中与胆酸结合的唯一氨基酸,结合形成牛磺胆酸和牛磺鹅

脱氧胆酸,进而与胆汁结合进入消化道促进脂肪等的消化吸收(Kim等,2007);⑤提高鱼类的生存能力。真鲷缺乏牛磺酸会发生绿肝综合征,因为牛磺酸缺乏引起红细胞渗透脆性增加,导致红细胞破裂,逸出血红蛋白,血红蛋白的降解使胆色素大量生成,不能从肝脏排泄到胆囊,最终导致胆色素淤积(王和伟等,2013)。真鲷饲喂大豆蛋白和玉米蛋白代替鱼粉的饲料,发现这些真鲷的绿肝综合征发病率提高,推测肝脏牛磺酸含量下降是引发真鲷绿肝综合征的原因之一(Goto等,2001);⑥改善鱼肉品质。饲料中添加牛磺酸能够减少大西洋鲑鱼幼鱼脂肪的积累,同时不影响蛋白质的增加,并且饲料中添加牛磺酸能够增加肝脏中的自由氨基酸含量(Espe等,2012)。

目前鱼类对牛磺酸需求量的研究还远远不能满足养殖需求,许多研究结果只是说明某种鱼某一阶段对牛磺酸的需要量。此外,过量牛磺酸添加导致鱼类出现中毒现象。饲料中牛磺酸的添加水平不仅要考虑鱼种类、生长阶段,还要注意饲料蛋白源及其水平、含硫氨基酸的种类和数量,同时饲料中的牛磺酸转运拮抗剂(如脘基牛磺酸、β-丙氨酸)会降低牛磺酸的使用效果(王和伟等,2013)。

5.2 牛磺酸在鱼类配合饲料中的应用前景

海洋渔业资源逐渐减少,导致鱼粉价格不断上升,这已成为水产养殖业发展的瓶颈,植物蛋白替代鱼粉已成为水产配合饲料的研究热点,鱼类特别是肉

食性鱼类在植物性蛋白源替代鱼粉等动物性蛋白源时,添加牛磺酸对鱼的生长有促进作用。牛磺酸的应用在当今鱼粉紧缺的情况下前景越来越广阔。但相关基础研究还缺乏,需要加大相关研究,特别是不同鱼类种类、不同阶段以及不同鱼类配合饲料配方中的牛磺酸需求量研究,以推进其应用,促进鱼类健康养殖产业的发展。

6 结语

牛磺酸虽然结构简单,却在生物体内发挥重要作用。目前牛磺酸在哺乳类动物中的作用研究得较为全面,而在鱼类中的功能研究得相对较少。已知鱼类缺乏牛磺酸会导致自身生长状况下降、存活率降低、抵抗力下降、生殖能力受到影响等,在真鲷等种类中会增加患绿肝综合征的几率。一方面,牛磺酸在生物体内发挥作用的机理还有待进一步研究,牛磺酸作为水产配合饲料添加剂的用量还需进一步完善,同时牛磺酸与其他营养物质的代谢关系还需要进一步明确。另一方面,牛磺酸具有分布广泛、天然无害、功能全面等特点,相信一定会在促进水产养殖健康、可持续发展中发挥重要作用。

参考文献

- [1] 于道德,郑永允,宁璇璇,等.牛磺酸在鱼类中的生物学功能[J].海洋科学,2010,34(2):86-91.
- [2] 王和伟,叶继丹,陈建春.牛磺酸在鱼类营养中的作用及其在鱼类饲料中的应用[J].动物营养学报,2013,25(7):1418-1428.
- [3] 龙勇,罗莉,幺相姝,等.灌喂牛磺酸对草鱼消化酶活性的影响[J].西南农业大学学报,2004,26(5):650-653.
- [4] 吕广祺,魏华.维生素C和牛磺酸对麦穗鱼抗缺氧能力的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2015(3):69.
- [5] 任和,占秀安.牛磺酸在动物营养上的研究进展[J].饲料工业,2006,27(8):44-47.
- [6] 何琳,江敏,戴习林,等.团头鲂不同生长阶段肌肉营养成分分析及评价[J].食品科学,2014,35(3):221-225.
- [7] 李华,万福生,杨薇,等.牛磺酸对心肌细胞凋亡的保护及其机制[J].南昌大学学报:理科版,2004,28(2):170-173.
- [8] 张书松,王春秀,高春生.牛磺酸对黄河鲤鱼抗缺氧能力的影响[J].饲料研究,2008(2):56-57.
- [9] 罗莉,文华,王琳,等.牛磺酸对草鱼生长、品质、消化酶和代谢酶活性的影响[J].动物营养学报,2006,18(3):166-171.
- [10] 邱小琼,赵红雪,魏智清.牛磺酸对鲫鱼密闭缺氧存活时间和血红蛋白含量的影响[J].信阳师范学院学报:自然科学版,2006,19(2):179-180.
- [11] 高春生,范光丽,王艳玲.牛磺酸对黄河鲤鱼生长性能和消化酶活性的影响[J].中国农学通报,2007(6).
- [12] 骆艺文,艾庆辉,麦康森,等.饲料中添加牛磺酸和胆固醇对军曹鱼生长、体组成和血液指标的影响[J].中国海洋大学学报:自然科学版,2013(8):31-36.
- [13] 徐奇友,许红,郑秋珊,等.牛磺酸对虹鳟仔鱼生长、体成分和免疫指标的影响[J].动物营养学报,2007,19(5):544-548.
- [14] Assem H, Hanke W. The significance of the amino acids during osmotic adjustment in teleost fish—I. Changes in the euryhaline *Sarotherodon mossambicus*[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology, 1983, 74(3): 531-536.
- [15] Al-Feky S S A, El-Sayed A F M, Ezzat A A. Dietary taurine enhances growth and feed utilization in larval Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed soybean meal-based diets[J]. Aquaculture Nutrition, 2015.
- [16] Boonyoung S, Haga Y, Satoh S. Preliminary study on effects of methionine hydroxy analog and taurine supplementation in a soy protein concentrate-based diet on the biological performance and amino acid composition of rainbow trout [*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)] [J]. Aquaculture Research, 2013, 44(9): 1339-1347.



生物活性 过氧化氢酶



作用：

- 1、保护细胞、抗炎。
- 2、体内抗氧化酶。
- 3、解除霉菌毒素中毒。

适用于：

- 1、保育猪料全部替代氧化锌抗腹泻。
- 2、体内氧化应激及损伤。
- 3、体内霉菌毒素蓄积中毒。

- [17] Bañuelos-Vargas I, López L M, Pérez-Jiménez A, et al. Effect of fishmeal replacement by soy protein concentrate with taurine supplementation on hepatic intermediary metabolism and antioxidant status of totoaba juveniles (*Totoaba macdonaldi*)[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2014, 170: 18–25.
- [18] Chatzifotis S, Polemitou I, Divanach P, et al. Effect of dietary taurine supplementation on growth performance and bile salt activated lipase activity of common dentex, *Dentex dentex*, fed a fish meal/soy protein concentrate-based diet[J]. *Aquaculture*, 2008, 275(1): 201–208.
- [19] Chen W Q, Jin H, Nguyen M, et al. Role of taurine in regulation of intracellular calcium level and neuroprotective function in cultured neurons[J]. *Journal of Neuroscience Research*, 2001, 66(4): 612–619.
- [20] Del Olmo N, Suarez L M, Orensanz L M, et al. Role of taurine uptake on the induction of long-term synaptic potentiation[J]. *European Journal of Neuroscience*, 2004, 19(7): 1875–1886.
- [21] El-Sayed A F M. Is dietary taurine supplementation beneficial for farmed fish and shrimp? A comprehensive review[J]. *Reviews in Aquaculture*, 2014, 6(4): 241–255.
- [22] Espe M, Ruohonen K, El-Mowafi A. Effect of taurine supplementation on the metabolism and body lipid-to-protein ratio in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Aquaculture Research*, 2012, 43(3): 349–360.
- [23] Ferreira F M, Park Y, Choi S. Effects of Taurine Supplementation on the Growth Performance of Juvenile Rock Bream *Oplegnathus fasciatus*[J]. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 2014, 17(2): 255–261.
- [24] Feidantsis K, Kaitetizidou E, Mavrogiannis N, et al. Effect of taurine-enriched diets on the Hsp expression, MAPK activation and the antioxidant defence of the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2014, 20(4): 431–442.
- [25] Gaylord T G, Barrows F T, Teague A M, et al. Supplementation of taurine and methionine to all-plant protein diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Aquaculture*, 2007, 269(1): 514–524.
- [26] Goto T, Takagi S, Ichiki T, et al. Studies on the green liver in cultured red sea bream fed low level and non-fish meal diets: Relationship between hepatic taurine and biliverdin levels[J]. *Fisheries Science*, 2001, 67(1): 58–63.
- [27] Gaylord T G, Teague A M, Barrows F T. Taurine Supplementation of All-plant Protein Diets for Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2006, 37(4): 509–517.
- [28] Huang K H, Chang C C, Ho J D, et al. Role of taurine on acid secretion in the rat stomach[J]. *J. Biomed. Sci.*, 2011, 18(11).
- [29] Jirsa D, Davis D A, Salze G P, et al. Taurine requirement for juvenile white seabass (*Atractoscion nobilis*) fed soy-based diets [J]. *Aquaculture*, 2014, 422: 36–41.
- [30] Johnson R B, Kim S K, Watson A M, et al. Effects of dietary taurine supplementation on growth, feed efficiency, and nutrient composition of juvenile sablefish (*Anoplopoma fimbria*) fed plant based feeds[J]. *Aquaculture*, 2015.
- [31] Kaplan B, Karabay G, Zağyapan R D, et al. Effects of taurine in glucose and taurine administration[J]. *Amino Acids*, 2004, 27(3/4): 327–333.
- [32] Kim S K, Matsunari H, Takeuchi T, et al. Effect of different dietary taurine levels on the conjugated bile acid composition and growth performance of juvenile and fingerling Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*[J]. *Aquaculture*, 2007, 273(4): 595–601.
- [33] Kim S K, Matsunari H, Takeuchi T, et al. Comparison of taurine biosynthesis ability between juveniles of Japanese flounder and common carp[J]. *Amino Acids*, 2008, 35(1): 161–168.
- [34] Khaolian P, Nguyen H P, Ogita Y, et al. Taurine supplementation and palm oil substitution in low-fish meal diets for young yellowtail *Seriola quinqueradiata*[J]. *Aquaculture*, 2014, 420: 219–224.
- [35] Lim S J, Oh D H, Khosravi S, et al. Taurine is an essential nutrient for juvenile parrot fish *Oplegnathus fasciatus*[J]. *Aquaculture*, 2013, 414: 274–279.
- [36] Moeukemann H, Labudova O, Yeghiazarian K, et al. Evidence that taurine modulates osmoregulation by modification of osmolarity sensor protein ENVZ—expression[J]. *Amino Acids*, 1999, 17(4): 347–355.
- [37] Matsunari H, Takeuchi T, Takahashi M, et al. Effect of dietary taurine supplementation on growth performance of yellowtail juveniles *Seriola quinqueradiata*[J]. *Fisheries Science*, 2005, 71(5): 1131–1135.
- [38] Matsunari H, Hamada K, Mushiaki K, et al. Effects of taurine levels in broodstock diet on reproductive performance of yellowtail *Seriola quinqueradiata*[J]. *Fisheries Science*, 2006, 72(5): 955–960.
- [39] Matsunari H, Yamamoto T, Kim S K, et al. Optimum dietary taurine level in casein-based diet for juvenile red sea bream *Pagrus major*[J]. *Fisheries Science*, 2008, 74(2): 347–353.
- [40] Militante J D, Lombardini J B. Taurine: evidence of physiological function in the retina[J]. *Nutritional Neuroscience*, 2002, 5(2): 75–90.
- [41] Park G S, Takeuchi T, Yokoyama M, et al. Optimal dietary taurine level for growth of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*[J]. *Fisheries Science*, 2002, 68(4): 824–829.
- [42] Qi G, Ai Q, Mai K, et al. Effects of dietary taurine supplementation to a casein-based diet on growth performance and taurine distribution in two sizes of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus L.*)[J]. *Aquaculture*, 2012, 358: 122–128.
- [43] Salze G P, Davis D A. Taurine: a critical nutrient for future fish feeds[J]. *Aquaculture*, 2015, 437: 215–229.
- [44] Salze G, McLean E, Craig S R. Dietary taurine enhances growth

支链氨基酸(BCAA)及水产动物对其需求量的研究进展

■ 王莉苹¹ 陈 飞¹ 韩雨哲¹ 孙梦蕾¹ 暴 宁¹ 司 滨¹ 尤宏争²

(1.大连海洋大学农业部北方海水增养殖重点实验室,辽宁大连 116023;2.天津市水产研究所,天津 300221)

摘 要:支链氨基酸(Branch chain amino acid,BCAA)作为动物的必需氨基酸,在水产动物中具有重要的生理功能。文章介绍了各支链氨基酸的生理功能及各支链氨基酸的代谢关系,综述了水产动物对支链氨基酸(亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸)的需求量,以期为进一步的研究支链氨基酸的相互关系及其在水产动物中的代谢提供参考。

关键词:支链氨基酸;需要量;生理功能;水产动物;交互作用

doi:10.13302/j.cnki.fi.2015.14.008

中图分类号:S963.16

文献标识码:A

文章编号:1001-991X(2015)14-0035-06

Research progress of branch chain amino acids (BCAA) and its requirement for aquatic animals

Wang Liping, Chen Fei, Han Yuzhe, Sun Menglei, Bao Ning, Si Bin, You Hongzheng

Abstract: As essential amino acids, branch chain amino acids (BCAA) play an important physiological function for aquatic animals. This research introduced the physiological function of branch chain amino acids as well as the metabolism relationship, reviewed the quantity requirement of branch chain amino acids (leucine, isoleucine, valine) for aquatic animals, in order to provide a reference for further study in branch chain amino acids about the interrelation and the metabolism in aquatic animals.

Key words: branch chain amino acids; requirement; physiological function; aquatic animals; interactive effect

作者简介:王莉苹,硕士,研究方向为水产动物营养学。

通讯作者:韩雨哲,博士。

收稿日期:2015-02-03

基金项目:国家海洋局公益性行业科研专项[201205025]

蛋白质是各种生物体的重要组成物质,可占鱼类干重的65%~75%。水产动物不同于畜禽,其消化道内淀粉酶活性较低,对糖类的利用能力较低,因而蛋白质就成为其主要的功能性物质,是水产动物主要的

~~~~~

and digestive enzyme activities in larval cobia[J]. *Aquaculture*, 2012, 362: 44-49.

[45] Schaffer S W, Jong C J, Ramila K C, et al. Physiological roles of taurine in heart and muscle[J]. *J Biomed. Sci.*, 2010, 17(Suppl 1): S2.

[46] Stipanuk M H, Dominy J E, Lee J I, et al. Mammalian cysteine metabolism: new insights into regulation of cysteine metabolism [J]. *The Journal of Nutrition*, 2006, 136(6): 1652S-1659S.

[47] Takagi S, Murata H, Goto T, et al. Role of taurine deficiency in inducing green liver symptom and effect of dietary taurine supplementation in improving growth in juvenile red sea bream *Pagrus major* fed non-fishmeal diets based on soy protein concentrate[J]. *Fisheries Science*, 2011, 77(2): 235-244.

[48] Takagi S, Murata H, Goto T, et al. Taurine is an essential nutrient for yellowtail *Seriola quinqueradiata* fed non-fish meal diets based on soy protein concentrate[J]. *Aquaculture*, 2008, 280(1):

198-205.

[49] Takagi S, Murata H, Goto T, et al. Hemolytic suppression roles of taurine in yellowtail *Seriola quinqueradiata* fed non-fishmeal diet based on soybean protein[J]. *Fisheries Science*, 2006, 72(3): 546-555.

[50] Wang X, He G, Mai K, et al. Ontogenetic taurine biosynthesis ability in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2015, 185: 10-15.

[51] Yang H, Tian L, Huang J, et al. Dietary taurine can improve the hypoxia-tolerance but not the growth performance in juvenile grass carp *Ctenopharyngodon idellus* [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2013, 39(5): 1071-1078.

(编辑:高雁,snowyan78@163.com)