

L-肉碱与水产动物营养

作为功能性营养强化剂的L-肉碱在水产动物促生长、降低有毒有害作用、提高繁殖能力等方面的研究越来越多，但其在促进水产动物免疫力、繁殖发育等方面的深度和广度均需进一步加强

□文/中国农业大学烟台研究院 刘峰 中国科学院烟台海岸带研究所 赵建民

L-肉碱又名L-肉毒碱、维生素BT，化学名称为L-β-羟基-γ-三甲铵丁酸，其化学结构类似于胆碱，由俄罗斯科学家Krimberg和Gulewitsch在1905年首次从牛肌肉浸膏中提取并分离获得。L-肉碱通常被认为氨基酸及维生素类似物，我国已于1996年将其列入功能性营养强化剂。研究已证实，L-肉碱是长链脂肪酸穿越线粒体内膜的必需载体，在脂肪酸β-氧化和调节酰基平衡过程中发挥着重要作用。近年来，随着对L-肉碱功能研究的深入，发现其具有改善水产动物生长性能、提高繁殖性能等多种功能。本文围绕L-肉碱在水产动物营养中的应用简单介绍如下。

一、L-肉碱的分布与来源

肉碱存在L-(左旋)肉碱和D-(右旋)肉碱两种结构形式，通常认为D-肉碱缺乏生物学活性(Santulli, 1986)。研究发现，L-肉碱在哺乳动物红肌中含量最为丰富，鱼肉、鸡肉、奶类物质中也有较高含量的肉碱；相对而言，蔬菜、水果和谷物等植物来源的食物其肉碱含量很低，通常低于0.5mg/kg(Harpaz S., 2005)。

正常机体内L-肉碱的来源包括内源性合成和食物摄取两条途径。在脊椎动物体的肝脏、肾脏和大脑等组织中，肉碱是由赖氨酸和蛋氨酸两种必需氨基酸在维生素C和其它二级化合物(铁离子、维生素B6、烟酸)的参与下在体内合成的。肉碱在生物体内合成的第一个确凿证据来源于鸡胚胎，分析表明鸡胚胎中存在一定含量的肉碱，而鸡蛋中却不存。此外，某些微生物在自身和培

养环境中都不含有肉碱的前提下，能够通过自身合成产生肉碱。L-肉碱的食物来源主要是通过动物性食物摄取，相比植物蛋白源，肉骨粉类的动物性蛋白源含有较高含量的L-肉碱(50-80mg/kg)，和鱼粉中的含量相当(60-120mg/kg)。实践证明，在水产动物饲料中添加动物蛋白源，可有效降低饲料中L-肉碱的添加量，结合动物蛋白源中的钙、磷、牛磺酸等营养因子，对水产动物的生长、发育、繁殖具有更加明显的促进作用。

二、L-肉碱的一般功能

L-肉碱具有广泛的生理活性，其缺乏可导致多种疾病的发生。在过去40年内，关于L-肉碱对陆生脊椎动物的作用进行了比较广泛和深入的研究。研究发现，肉碱的很多功能都直接或间接的与它在脂肪酸氧化过程中所起到的作用有关，其作为载体将长链脂肪酸从线粒体膜外输送到膜内进行β-氧化，为细胞提供能量。此外，L-肉碱还在细胞代谢中发挥重要作用，例如血浆细胞膜脂肪酸结构的调整、相关酶的基因表达调控都是脂肪酸氧化之外的功能；酯酰L-肉碱由于其抗氧化特性，在缓解心绞痛引起的急性心肌缺血方面具有重要的药用价值(Sinatra, 1999)。此外，L-肉碱和酯酰L-肉碱都具有提高动物免疫力的功能，酯酰L-肉碱在保护神经细胞免受压力破坏过程中也发挥着积极作用(Crayhon, 1998)。

三、L-肉碱的水产动物营养功能

在肉碱对陆生动物营养功能的研究

基础上，国内外很多学者相继在水产动物中开展了L-肉碱营养功能的相关研究。现将L-肉碱对水产动物的营养功能总结如下。

1. 促生长和脂肪代谢作用

促进水产动物(以鱼类为主要代表)生长通常是最被重视的功能。在饲料中添加L-肉碱的促生长作用主要归因于L-肉碱能够促进脂肪酸氧化，从而增加了能量供给，这一理论早在1970年就由Bilinski等学者在鲑鱼线粒体分离实验中所提出。其后，很多学者的研究也都证实了饲料中添加L-肉碱对不同鱼种生长的促进作用；而有研究发现，仅有适量的L-肉碱才对特定鱼种的生长具有促进作用(Mohseni, 2008; Singh, 2008)。然而也有部分学者存在不同的研究结果，Li等发现杂交鲈饲料中添加L-肉碱虽然促进了体脂肪代谢，但其生长并没有显著促进作用(Li et al., 2007)。

由于水生动物更倾向于利用蛋白质供能，而L-肉碱具有促进脂肪代谢的功能；因此，可以探索利用L-肉碱促进高脂肪含量水产饲料中脂肪的供能作用，从而达到节约动物蛋白资源的目的。此外，研究已证实，利用L-肉碱促进脂肪代谢的功能，调控线粒体代谢和特定酶类的活性，可有效降低鱼体脂肪含量并改善鱼类肌肉结构特征。

2. 降低氨和其它有害物质毒害作用

伴随着水产养殖集约化程度的增加，养殖过程中的氨中毒已成为较普遍的应激问题。很多研究已表明，L-肉碱对鱼类急性氨中毒具有显著的保护效果。例如，在高氨浓度胁迫下，摄食

水产动物核酸营养研究进展

尽管核酸和其代谢物对于水产动物的营养作用已经持续研究了超过30年，但核酸营养在水产动物的研究中仍有很多空白，其与免疫相关的基因和特异性免疫和疫苗辅助相关的作用，动物年龄和投喂策略的影响仍有待于进一步的研究

□文/图 美国动物蛋白及油脂提炼协会亚洲部 李鹏
Texas A&M University, College Station, Delbert M. Gatlin III

除了作为主要的遗传信息的载体，核酸还参加到能量传递、生物合成、代谢调节当中。最新的研究表明，嗜中性白细胞在受到细菌刺激之后可以迅速释放由DNA形成的网状结构（Neutrophil Extracellular Trap, NET）来包裹细菌，而后释放蛋白酶类杀伤细菌。而有些细菌在表面有很强的DNA酶的活性，被证实可以破坏嗜中性白细胞释放的DNA网而摆脱被杀伤。这些发表在《科学》和《当代生物学》等杂志证实了核酸直接参与免疫反应，并是抑制细菌性病原侵入的重要防御机制。而以往的研究认为核酸仅能够对诸如淋巴细胞等快速分裂的细胞有所帮助，而上调的磷酸戊糖途径被认为是最主要的例证。

核酸和其代谢物对于水产动物的营养作用及诱食作用被陆陆续续研究了超

过30年。尽管核酸营养在人类营养在中国仍然有较大争议，越来越多的实验表明核酸对于水产动物有很强的重要性。核酸广泛的存在于自然状态下的水生动物的食物链中，浮游动物，细菌，糠虾，头足类，鱼粉，都含有大量的核酸，在动物蛋白包括鸡肉粉和肉骨粉也含有相当高的核酸（表1）。这使得往养殖在富含初级生产力的水体里的水生动物的饲料里添加核酸的必要性有所减弱。对虾类，罗非鱼类都可以从水体中摄食细菌类，而单细胞生物一

表1 鱼粉和鸡肉粉中的核苷酸含量

核苷酸 (ppm)	鱼粉	宠物级鸡肉粉
尿嘧啶	40	196
胞嘧啶	19	81
肌苷	1440	589
鸟嘌呤	90	130
腺嘌呤	47	259
UMP	32	123
CMP	28	108
IMP	1150	182
GMP	83	71
AMP	312	461

来源于Fat and Protein Research Foundation (FPRF)

直接被认为是核酸的重要来源。

科学研究中所广泛使用的被专利保护的核酸产品几乎从未标识各种核苷酸的组成和含量，这使得对于核酸在水生动物的营养方面的研究进展极为缓慢。2007年Li 和 Gatlin III率先放弃商业核

添加150mg/kg L-肉碱饲料的杂交罗非鱼对氨表现出超常规的耐受性，并未出现大规模死亡现象（Schlechtriem, 2004）。

此外，某些有毒有害的药物、化学物质等衍生生素都能够破坏肉碱的代谢。换个角度来看，肉碱不仅能够缓解这些有毒有害物质的毒害作用，还可以通过与细胞膜脂类物质的相互作用来改变细胞膜的渗透性，从而起到保护线粒体的作用。

3. 缓解温度极端变化的不利影响

由于水生动物的生存依赖于水环境，水体的变温特性决定了温度变化对

其体内生理生活反应和代谢过程具有重要的影响。在低温状态下，鱼类经常通过调整骨骼肌耗氧能力提高其对极限温度的适应性。在冷适应过程中，鱼类能够通过增加线粒体体积、提高线粒体酶活性或改善线粒体蛋白的特殊氧化能力来抵御低温胁迫。研究已证明，饲料中添加L-肉碱可明显提高鱼类对极限温度的适应，这可能与L-肉碱通过线粒体参与脂肪代谢密切相关。

4. 提高繁殖能力

大量实验结论证明，L-肉碱作为营养性添加剂对畜禽等陆生脊椎动物的繁殖和产奶特性具有促进作用。近年来

的研究也发现，在罗非鱼、孔雀鱼等鱼类饲料中添加适量的L-肉碱能够显著增强其繁殖能力，并能够提高鱼卵的质量（Jayaprakas, 1996, Dzikowski, 2001）。

四、结语

L-肉碱对水产动物的营养功能和作用尚处于初步阶段，在很多方面研究还显不足，无论是深度和广度都需要进一步加强，例如在促进水产动物免疫力、繁殖发育以及对不同生长阶段水产动物的影响都有待于深入研究。（参考文献略）