

维生素 C 对水产动物的功用及其保护方法

THE PROTECTIVE METHODS AND FUNCTION OF VITAMIN C ON AQUATIC ANIMALS

母学全 王安利 王维娜 王丽英

(河北大学生命科学学院 保定 071002)

维生素 C (Vc), 又名抗坏血酸 (L-ascorbic acid), 对水产动物的正常生理生化功能具有重要作用。大多数陆生动物在体内能够合成 Vc, 但大多数的水产动物体内不能合成 Vc, 它们对 Vc 的缺乏都很敏感。另外, 在 Vc 的化学结构中, 高度活泼的第 2 位碳原子上的羟基很不稳定, 容易被空气氧化。在饲料加工过程中, 约有 80%~98% 的 Vc 被破坏, 此外在包装、贮藏、投喂等环节 Vc 也易丧失活性。因此, 稳定型 Vc 已成为国内外水产研究的一个热点。

1 维生素 C 的功用

Vc 在生物体内一个重要的生物学功能是参与胶原蛋白的合成。因此, 缺乏 Vc 时, 创口溃疡不易愈合, 毛细血管脆性增加, 皮下、粘膜和肌肉组织容易出血, 表现为类似哺乳动物的坏血病症状。另外, Vc 还参与体内的羟化反应, 如肉碱、激素和神经递质的合成; 酪氨酸和胆固醇的代谢; 体内物质代谢过程中氧化还原体系的构成等。此外, Vc 还参与铁的吸收和叶酸的还原。

1.1 对生殖的影响

Dabrowski 等 1997 年研究了饲料中的 Vc 对精子授精能力的重要性。发现鱼类精液中高浓度的 Vc 在防止精子 DNA 的氧化损坏和维持精子细胞的遗传组合中起着重要的作用。精子形成季节, 投喂缺乏 Vc 饲料的虹鳟精液中的 Vc 浓度从 4.74 ± 0.9 mg/L 显著下降至 0.16 ± 0.08 mg/L, 投喂添加 Vc 饲料的鱼精液中的 Vc 浓度高达 37.9 mg/L。6 组鱼实验 150 d 的测定结果表明: 精液中的 Vc 浓度下降至 7.3 mg/L 时, 卵的受精率及受精卵的孵化率显著降低。

Gierszko 1997 年研究了饲料中 Vc 含量和虹鳟精液中的 Vc 含量的关系以及精液中的 Vc 浓度与精子质量的关系。发现精液中的 Vc 浓度受饲料中 Vc 含量的直接影响, 缺乏 Vc 的鱼的精子浓度和活力下降, 受精率低。精液中的 Vc 饱和时所需饵料中的 Vc 含量高

于虹鳟最佳生长时所需饵料中的 Vc 含量。Emata 对遮目鱼的研究表明, 饲料中添加 Vc 和维生素 E 对亲鱼产卵量及卵直径无影响。但投喂添加 Vc、Vc + 维生素 E 饲料的亲鱼产卵率高、卵的孵化率和鱼苗成活率高。投喂只添加维生素 E 的饲料无效, 证明亲鱼饲料添加 Vc 可提高产卵率、卵质和鱼苗质量^[6]。Gierszko 发现, 虹鳟精巢 Vc 含量低与其后代畸形胚胎的高百分率相关联, 并进一步证实了 Vc 对虹鳟雄鱼生殖细胞具有一定的保护作用^[7]。

1.2 提高免疫力

Vc 作为免疫刺激物添加, 可以提高鱼虾对疾病的抵抗力。Chhorn Lim 报道, 用添加高剂量 (3000×10^{-3}) 的 Vc 多聚磷酸酯 (LAPP) 的饲料投喂斑点叉尾鲟 (*Ictalurus punctatus*) 14 周后发现, 该鱼体内的血细胞总量 (TCC) 和红细胞总量 (RBC) 显著增加^[8]。Mortero 报道, 摄取添加了 Vc 饲料的高密度养殖的金头鲷 (*Sparus aurata*) 的血清溶菌酶活力比摄取未加 Vc 饲料的普通密度养殖的高很多 (分别为 67.49 和 36.84 单位/ml)^[9]。另外, 摄取添加 Vc 饲料的斑点叉尾鲟 (*Ictalurus punctatus*) 感染 *Aeromonas hydrophila* 的死亡率为 5%, 而摄取缺乏 Vc 饲料组的鱼的死亡率为 20% (Iovell Lim)。Navarre 对虹鳟的研究也得出了相似的结果, 感染弧菌 (*Vibrio anguillarum*) 的虹鳟死亡率随着饲料中 Vc 含量的增加而降低。而且, 饲料 Vc 添加量超过生长需求量时鱼类感染传染性疾病后的存活能力有明显提高。Vc 可能通过非特异性抗病机制使鱼抗病能力提高。Ortuno 等用添加 Vc 的饲料投喂金头鲷 (*Sparus aurata*), 发现其非特异性免疫反应的指标吞噬活力、溶血补体活力均显著提高。Hardie

第一作者: 母学全, 出生于 1969 年, 在读硕士。E-mail: muxucquan@sina.com

收稿日期: 2001-12-05; 修回日期: 2001-12-26

等用添加高剂量 V_c (27.5×10^{-3}) 的饲料喂养大西洋鲑 (*Salmo salar* L.) 26 周后,发现其头肾巨噬细胞对绵羊红细胞的吞噬作用并不受饲料中 V_c 含量的影响,然而其血清补体的活性随着饲料中 V_c 含量的上升而提高。Wahli 等用 V_c 和维生素 E 不同的饵料投喂虹鳟,结果表明,摄食了上述两种高剂量维生素的虹鳟,用化学荧光法测定其定向氧化能力最高。若感染出血性病毒,此组虹鳟存活率最高。若感染鲁氏耶尔森氏菌,摄食缺少两种维生素或两种维生素都很低的饵料的虹鳟死亡率最高。若将虹鳟暴露在多子小瓜子虫中,摄食至少一种维生素含量高的或两种都高的饵料的虹鳟具有最高的存活率。然而,在寄生虫方面的实验中,其差异不显著^[10]。 V_c rhac 研究表明,高含量 V_c 饲料增加了鲑鱼白细胞中 V_c 的含量,分裂素诱导的淋巴细胞的增殖以及白细胞的化学发光具有较高的稳定性^[11]。日本学者伊东尚史等报道,通过高 V_c 饲料的短期投喂可减轻狮鱼细菌性溶血性黄疸病症状。王安利等研究表明, V_c 能够显著增强中国对虾的抗病力和抗低氧能力。

1.3 促进生长

Guary 等认为, V_c 可能与对虾几丁质的合成有关。 V_c 参与甲壳素外壳最外层的硬化,此硬化层是由一种外壳蛋白和苯醌的交联作用而成,而体内苯醌的形成需要 V_c 的参与。Kean 报道,美洲龙虾蜕壳之前体内 V_c 急剧升高,这种生理现象可能是蜕壳过程的一种应激反应,体内积蓄大量的 V_c 以有利于蜕壳之后的身体修复。徐世昌等报道饲料中 V_c 含量影响中国对虾的蜕壳频率和蜕壳周期。当饲料中 V_c 缺乏时,中国对虾蜕壳频率降低,蜕壳周期延长,而过量的 V_c 也会使中国对虾蜕壳频率降低。刘永坚等在对罗氏沼虾的研究中也得出了类似的结果^[1]。王安利等研究表明, V_c 对中国对虾具有明显的促生长和提高存活率的作用。Shiau 通过对斑节对虾的养殖试验发现,虾体内的 V_c 含量在一定程度上受饲料中 V_c 含量的影响,饲料中未添加 V_c 的对虾的增重率显著低于添加组。Fracalossi 对星丽鱼(地图鱼) 饲养 26 周后发现,未添加 V_c 组增重率为 37%,而添加 V_c 组(添加各为 25×10^{-6} , 75×10^{-6} , 200×10^{-6} 饲料) 的增重率分别为 112%, 102% 和 91%^[12]。Li 研究证实,斑点叉尾鮰正常生长时对 V_c 的需要量为 50×10^{-6} 饵料^[13]。王道尊报道, 饲料中 V_c 添加量为结晶 V_c 440×10^{-6} 或包膜 V_c 200×10^{-6} 时, 异育银鲫的增重率或肝脏、血浆中的 V_c 含量达到最大。他建议异育银鲫对 V_c 的需求量为 200×10^{-6} 饲料。韩阿寿等发现, 当饵料中 V_c 含量过高时, 斑节对虾的生长率反而下降, 增重率降低, 但蜕

壳率继续增长。

1.4 其他

Eya 通过饲养非洲鲈鱼稚鱼 20 周后发现, 饲料中缺乏 V_c 能引起非洲鲈鱼脊柱出血, 颅骨断裂, 死亡率提高。该病主要是因为缺乏 V_c 而显著降低了脊柱蛋白成分。豚鼠母体摄入大量的 V_c 会影响子代对 V_c 的需求。Blam 对虹鳟的相关研究也表明, 卵子中含有较多的 V_c 可使孵化出的仔鱼死亡率降低。第 18 天开始外源摄食后, 则完全依靠饵料中的 V_c 含量。相比之下, 饵料中缺乏 V_c 组则表现为死亡率提高, 生长率下降。Akand 对虹鳟的研究中证实, 饲料中的 V_c 并不影响虹鳟幼鱼的钙磷代谢。在家禽饲养上, 大量研究已证明, V_c 能够明显提高家禽的抗热应激能力。为此, 宋建兰等在鲤鱼上做了相关实验并得出结论: 在高温应激条件下, V_c 明显提高鲤鱼的成活率、饲料系数、生长速度和对蛋白质的消化率, 并能提高鲤鱼对低氧的耐力, 且以每公斤饵料含 V_c 500 mg 对提高鲤鱼抗高水温应激效果较好^[2]。鲟鱼能够合成 V_c , 因为它们的肾脏中具有 L-古洛糖-1, 4 内酯氧化酶, 这种酶催化 V_c 合成的最后一个步骤。Moreau 研究了增加饲料 V_c 对湖鲟古洛糖内酯氧化酶活性的影响。结果表明, 湖鲟组织中 V_c 含量随着饲料 V_c 含量增加而显著提高, 但对古洛糖内酯氧化酶活性没有显著影响。这说明鲟鱼的肾脏与能合成 V_c 的哺乳动物的肝脏不同, 饲料中 V_c 无法对古洛糖内酯氧化酶活性行使负面反馈控制, 故无法对合成的 V_c 进行调控。应用离体动力资料估算, 在 15 °C 下, 湖鲟稚鱼每公斤体重每天合成 3 mg 的 V_c ^[14]。Toya ma 对尼罗罗非鱼的研究表明, 饲料中 V_c 添加量为 860×10^{-6} 时, 鱼增长最快。但是不同的 V_c 添加量对性转化率的影响不显著^[15]。

2 维生素 C 的保护方法的研究进展

由于 V_c 具有较强的还原性而很不稳定, 水产饲料在加工过程中一般都经过熟化、造粒、烘干和包装等工序, 饲料中的 V_c 很容易在加工和贮藏过程中丧失活性。吴永沛研究表明, 在 45, 60, 80, 100 和 120 °C 5 种烘干温度下, 鲍人工配合饵料中 V_c 的保留率分别为 61%, 62%, 65%, 19% 和 6%。海水浸泡 24 h 后, V_c 的保留率仅为浸泡前的 1.9%^[3]。因而, 人们对饲料中添加 V_c 的保护方法进行了广泛的研究。目前大致形成两种方法, 一种是物理方法, 另一种是化学方法。物理方法是用纤维素或硅酮等包膜材料, 经一定的加工工艺, 将 V_c 制成微量制剂, 商品名叫高稳西, 含量在 10% ~ 90%。其粒径为 100 ~ 200 μ m, 在饲料中可均匀分布, 具有较高的稳定性, 使 V_c 免受阳光(紫外线)、

空气、水汽等作用,并与金属离子隔绝,从而在饲料的加工、贮藏过程中保持稳定。其中,膜的完整性和通透性是包膜维生素C的两项重要指标。实际应用发现,膜的完整性缺陷是包膜维生素C生产中的突出问题。膜的通透性直接影响维生素C的消化吸收。任泽林报道,检验表明维生素C最长渗出时间为80 min,远低于饲料通过鱼虾消化道的的时间(3~5 h),维生素C在中肠部位即可被完全吸收。可见市场上包膜维生素C产品的膜通透性不会影响维生素C的吸收^[4]。另一种方法是化学保护法,即将维生素C中具有高活性的羟基用酸加以酯化,使维生素C形成性质稳定的衍生物。商品主要包括维生素C的硫酸酯、单磷酸酯、双磷酸酯以及多磷酸酯等衍生物。其稳定性强于包膜维生素C,但维生素C含量低于包膜维生素C。另外,这些维生素C衍生物的应用存在一个生物利用度(bioavailability)的问题,即这种衍生物进入鱼虾体内,首先要 在体内特定酯的作用下转变成活性维生素C,才能为鱼虾所利用。

Aerio 等对多聚磷酸酯化维生素C(L-Ascorbyl-2-phosphate, AP)和磷酸酯化维生素C(L-Ascorbyl-2-sulfate, AS)在海鲈(*Dicentrarchus labrax*)体内的吸收利用情况进行了研究,结果表明,以AP为维生素C源的海鲈的血液中维生素C含量远远高于以AS为维生素C源的含量,并进一步说明了AP比AS可以被鱼类更快速地吸收和具有较高的生物利用度^[16]。Shi-Yen Shiau 等报道,草虾(*Penaeus monodon*)的维生素C需求量为,维生素C单磷酸酯钠 106.1×10^{-6} (相当于维生素C 26.7×10^{-6})或维生素C单磷酸酯镁 48.4×10^{-6} (相当于维生素C 22.5×10^{-6})^[17]。曹振杰报道,饲料中添加 100×10^{-6} 维生素C对鲤鱼具有明显的促生长作用,其中添加包膜维生素C组增重率提高7.70%~7.89%,饲料系数下降2.62%~3.66%^[5]。宋进美通过研究不同剂型维生素C对罗非鱼生长的影响表明,相比维生素C三磷酸酯和结晶维生素C,维生素C磷酸酯镁和维生素C磷酸酯钾对促进鱼类生长和提高饲料效果更好。Shiau 等用L-维生素C-2-磷酸(C2)和L-维生素C-2-单磷酸(G2-M)作比较,对斑节对虾稚虾进行生长试验。结果表明:斑节对虾G2-M的需求量为 40.25×10^{-6} 饵料或相当于饵料中含维生素C 18.7×10^{-6} ,C2效率仅为G2-M的25%。Catacutan 指出,对斑节对虾,维生素C酯镁适宜水平为 100×10^{-6} ~ 200×10^{-6} 饲料,相当于维生素C 50×10^{-6} ~ 100×10^{-6} 饲料。总之,不同水产动物对稳定型维生素C的生物利用度上尚需进行深入研究。

参考文献

- 1 刘永坚,刘栋辉等.罗氏沼虾对维生素C的需求,水产科技情报,1998,25(1):3~8
- 2 宋建兰,林海,刘晓牧.维生素C对高温应激鲤鱼生长指标及蛋白质消化率影响的初步研究,动物营养学

- 报,2000,12(3):56
- 3 吴永沛,刘年生,蔡慧农.鲍人工配合饲料维生素C和B₁₂稳定性的研究,集美大学学报(台湾),1999,4(4):24~28
- 4 任泽林.包膜维生素C的选择和使用,中国水产,2001,6(4):89
- 5 曹振杰.饲料中添加包膜维生素C对鲤鱼生长的影响,内陆水产,1998,6(11):14~15
- 6 Emata A.C.,Borlongan I.G.. Dietary vitamin C and E supplementation and reproduction of milkfish *Chanos chanos* Forsskal, *Aquac. Res.*,2000,31(7):557~564
- 7 Ciereszko A.,Dabrowski,K.. Protective role of ascorbic acid against damage to male germ cells in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Can. J. Fish. Aquac. Sci.*,1999,56(2):178~183
- 8 Chhorn Lim *et al.*. Interaction between dietary levels of iron and vitamin C on growth, hematology, immune response and resistance of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) to *Edwardsiella ictaluri* challenge, *Aquaculture*, 2000,185(25):313~327
- 9 Montero D. *et al.*. Effect of vitamin E and C dietary supplementation on some immune parameters of gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles subjected to crowding stress, *Aquaculture*, 1999,171(1):269~278
- 10 Wahli T.,Verlhac V.,Gabauden J.. Influence of combined vitamin C and E on nonspecific immunity and disease resistance of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), *J. Fish. Dis.*,1998,21(2):127~137
- 11 Verlhac V.,Gabauden J.. Influence of vitamin C on the immune system of salmonids, *Nutr. Abst. Rev.*,1999,64(5):2322
- 12 Fracalossi D.M.,Allen M.E.,Nichols D.K.. Oscars, *Astronotus ocellatus*, have a dietary requirement for vitamin C. *Fish Physiol. Biochem.*,1998,19(2):1745~1751
- 13 Li M.H.,Wise D.J.. Effect of dietary vitamin C on weight gain, tissue ascorbate concentration, stress response and disease resistance of channel catfish *Ictalurus punctatus*, *J. World Aquac. Soc.*,1998,29(1):1~8
- 14 Moreau R.. Renal β -glucuronidase activity as affected by dietary ascorbic acid in lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*), *Aquaculture*,1999,180(3/4):359~372
- 15 Toyama G.N.,Corrente J.E.. Vitamin C diet supplementation for sex reversal of the Nile tilapia, *Aquac. Res.*, 2000,57(2):221~228
- 16 Amerio M. *et al.*. Ascorbic acid availability from ascorbyl-2-phosphate and ascorbyl-2-sulfate in sea bass (*Dicentrarchus labrax*), *Aquaculture*, 1998,159(1):233~237
- 17 Shi-Yen Shiau. Comparison of vitamin C requirement for

maximum growth of grass shrimp, *Penaeus monodon*, with l-ascorbyl-2-monophate-Na and l-ascorbyl-2-monophosphate-Mg, *Aquaculture*, 1998, **163**(15):201~211

辅助参考文献

- 王安利、母学全、凌利英. 中国对虾配合饵料中 Vc 添加量的研究, 海洋与湖沼, 1996, **27**(4):368~371
- 徐世昌、刘铁斌等. 中国对虾维生素营养的研究, 中国对虾 Vc 营养, 青岛海洋大学学报, 1994, **24**(3):364~371
- 王道尊、冷向军. 异育银鲫对 Vc 需求量的研究, 上海水产大学学报, 1996, **5**(4):240~245
- 韩阿寿、梁亚全、高淳仁. 斑节对虾对磷酸酯化维生素 C 的需求量的研究, 水产学报, 1996, **20**(1):88~91
- 宋进美. 不同剂型 Vc 对罗非鱼生长的影响, 水利渔业, 1996, **6**(5):36~38
- Dabrowski K., Ciereszko A.. Ascorbic acid protects against male infertility in a teleost fish, *Aquaculture*, *Abst*, 1997, **14**(1):52
- Ciereszko A.. Sperm quality and ascorbic concentration in rainbow trout semen are affected by dietary vitamin, *Aquac. Abst.*, 1997, **12**(4):2290
- L. J. Hardie *et al.*. The effect of dietary vitamin C on the immune response of the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.), *Aquaculture*, 1991, **95**(6):201~214

- Guary M., Kanazawa A., Tanaka N.. Requirement for ascorbic acid Nutritional requirements of prawn *Macrobrachium*, *Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, 1976, **25**:53~57
- Kean J. C., Castell J. D., Frieder D. J.. Juvenile lobster (*Homarus americanus*) do not require dietary ascorbic acid, *Aquact. Euro*, 1985, **3**(8):368~370
- Shiau S. Y. *et al.*. Vitamin C requirement of grass shrimp *Penaeus monodon*, as determined with l-ascorbyl-2-monophosphate, *Aquaculture*, 1997, **122**(4):347~357
- Eya J. C.. "Brokerskull disease" in African catfish *Clarias gariepinus* is related to a dietary deficiency of ascorbic acid, *J. World Aquac. Soc.*, 1996, **27**(4):493~498
- Blom J. H., Dabrowski K.. Ascorbic acid metabolism in fish: is there a maternal effect on the progeny?, *Aquaculture*, 1996, **147**(3/4):215~224
- Akand A. M., Sato M.. Effect of graded levels of dietary ascorbic acid on mobilization of calcium and phosphorus in rainbow trout, (*Salmo gairdneri*), *Nutr. Abst. Rev.*, 1997, **64**(1):214
- Catacutan M. R., Latavilla-Pitogo C. R. l-Ascorbyl-2-phosphate Mg as a source of vitamin C for juvenile *Penaeus monodon*, *Ismei Journal of Aquaculture Bangladesh*, 1997, **46**(1):40~47

(本文编辑:刘珊珊)