

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6755.2018.07.014

酵母硒的营养作用及其在水产养殖中的应用

谭 畅, 高中月, 王 旋, 周慧慧, 麦康森, 何 良

(中国海洋大学农业部水产动物营养与饲料重点实验室, 山东 青岛 266003)

摘 要:水产养殖集约化导致水产动物抗应激能力下降的问题日益突出,这迫使水产养殖业相关从业者寻找一种无毒无害且高效的饲料添加剂以提高水产动物的抗应激能力。酵母硒是一种优质的有机硒,能够促进水产动物的生长发育,提高其抗氧化的能力并起到增强免疫力的作用。本文总结了近年来关于酵母硒在水产饲料中应用的研究进展,综述了酵母硒的理化性质、生理功能及其在水产养殖中的应用,论述了其作为水产饲料添加剂应用的可能性。

关键词:酵母硒;促生长;抗氧化;免疫;水产养殖

近年来,水产品由于具有高蛋白、低脂肪、营养物质均衡及味道鲜美等众多优点受到广大消费者的青睐,水产养殖规模因此不断扩大。然而随之而来的就是水产动物抗应激的能力逐渐下降,水产病害种类也逐渐增加。因此,寻找一些功能性营养物质,减缓养殖鱼类生长下降及应激的问题成为了当前水产饲料行业的研究热点。酵母硒是一种高品质的有机硒,兼具促生长、抗氧化、免疫增强等多重功效,与无机硒相比,其毒性小,低量高效且易被动物机体吸收利用,因此其作为一种添加剂在水产饲料中应用具有很大的潜力。本文结合国内外相关研究进展,对酵母硒的理化性质、生物学功能及其在水产养殖中的应用作一概述。

1 酵母硒的理化性质

硒(Se)元素,原子序数为34,原子量78.96,位于元素周期表第4周期VIA族,因此,化学性质与同主族的硫和氧相似。19世纪初,硒被瑞典化学家Berzelius发现,起初一直被人们作为一种有毒元素来研究,直至20世纪中期,人们才逐级发现硒的营养价值,随后,其理化性质、生物学功能和营养机理被深入研究^[1]。在自然界中,硒以

两种形式存在,即无机硒和有机硒。无机硒主要包括 Se^{6+} (硒酸盐)、 Se^{4+} (亚硒酸盐)、 Se^0 (单质硒)、 Se^{2-} (硒化合物)等,有机硒主要包括硒的有机化合物(如硒蛋氨酸、硒半胱氨酸等)及硒的生物大分子(如谷胱甘肽过氧化物酶家族、硒蛋白等)^[2],而最常用的有机硒有酵母硒、纳米硒等。

酵母硒(selenium yeast, SY)是一种微生物发酵产物,是将亚硒酸钠等形式的无机硒添加进酵母培养体系中,由于与硫的结构相似,硒能取代酵母细胞生物合成反应中的硫,因此以硒代蛋氨酸(主要形式,占50%以上)和硒代半胱氨酸等有机硒的形式得以在酵母中富集。酵母对无机硒的同化作用很强,所以酵母硒中有机硒的含量达到80%以上,主要包括硒酶、硒蛋白及含硒多糖类物质^[3],其中硒代蛋氨酸是其主要的硒化合物。

2 酵母硒的生物学功能

2.1 促进动物生长发育

硒(Se)是维持鱼类和哺乳动物正常生长和生理功能的必需微量元素之一,具有很高的营养价值,硒缺乏可能导致动物营养不良、生殖能力下降和生长缓慢等问题,通过补充适量的硒可以促进动物的生长和发育^[4]。第一,硒是脱碘酶(DIO)

基金项目:本项目获得海水鱼体系CARS-47-G10及公益性行业科研专项(201303053)的支持。

作者简介:谭畅(1992-),女,硕士生,研究方向:水产动物营养与饲料。E-mail:958192943@qq.com。

通讯作者:何良(1975-),男,教授,博士生导师。研究方向:水产动物蛋白质代谢调控机理及水产饲料新蛋白源的开发。

E-mail:hegen@ouc.edu.cn。

的组成成分,DIO是一类膜蛋白,它能够催化4-碘甲状腺原氨酸(T_4)脱碘生成3-碘甲状腺原氨酸(T_3), T_3 的生物学活性是 T_4 的5~8倍^[5],且其控制着生长激素的合成及其基因表达,从而起到提高基础代谢和促进生长的作用。第二,硒可促进动物机体对钙、葡萄糖、维生素A、D、E、K等营养素的吸收,从而促进动物生长和提高饲料转化率^[6]。第三,有机硒能够通过其特有的代谢途径,以有机的形式沉积在肌肉组织中,从而提高动物的生长性能和肉质品质。

2.2 抗氧化功能

硒是谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的组成成分,主要通过GSH-Px表现出它的抗氧化功能。GSH-Px是一种在机体内广泛存在的重要的过氧化物分解酶,广泛存在于动物组织中,它可以催化还原型谷胱甘肽(GSH)还原体内有害的过氧化物,使机体内有毒性的过氧化物还原为醇和水,以保障细胞膜结构及功能的完整性。而每一个GSH-Px亚单位平均含有一个硒原子,因此,机体内的硒含量直接影响到其GSH-Px的活力及抗氧化功能。另外,有研究表明,硒可通过直接清除自由基的方式从而发挥抗自由基损伤作用,还能以某种形式与细胞膜结合,构成膜结合硒以保护细胞膜^[7]。

当动物机体内硒缺乏时,细胞内的GSH-Px活性降低,导致过氧化物积累,进而引起脂质过氧化反应,使生物膜流动性降低,通透性增大,最终渗出并损伤邻近细胞,因此,缺硒将导致动物氧化应激,从而引发各种疾病^[8]。而酵母硒无毒无害,添加量范围大且对环境无污染,因此在饲料中添加酵母硒可以提高动物机体的抗氧化能力。

2.3 提高机体免疫功能

研究表明,硒能够提高机体的免疫能力,对维持动物免疫系统的正常运转必不可少。首先,硒能通过影响特异性效应细胞的游走趋化和吞噬细胞的杀菌活力来增强机体的非特异性免疫功能;其次,硒能参与调节T淋巴细胞、B淋巴细胞、自然杀伤性细胞(NK)和中性粒细胞的功能从而增强机体的细胞免疫功能^[9-10];另外,硒能增强体液免疫,刺激免疫球蛋白的形成,提高血液中免疫球蛋白的含量,适当摄入硒能增强疫苗免疫效果,改善抗体合成,提高抗体效价,增强机体的免疫能

力^[11]。此外,硒参与甲状腺素的调控,影响免疫应答,并通过促进抗体、补体的合成增强机体免疫能力^[11]。

3 酵母硒较无机硒的优势

3.1 毒性小

硒的有益剂量与毒性剂量之间的范围狭窄,高于有益需求的水平就会产生毒性,而硒的毒性取决于硒的化学结构,通常情况下,有机硒较无机硒相比毒性小^[12]。有临床试验表明,有机硒每日摄入5 000~10 000 μg ,长期大量摄入对人体无害,而无机硒大量摄入就会发生硒中毒^[13],对人如此,对水产动物亦是如此。目前,水产动物饲料中硒添加形式多为亚硒酸钠(无机硒),但2000年国家农业部105号公告明确指出,饲料添加剂有酵母硒、酵母铁、酵母铜等,这表明今后饲料添加剂的添加形式将由无机微量元素向有机微量元素转变。

3.2 生物利用度高

研究表明,有机硒和无机硒在体内的吸收机制和代谢途径不同,其在生物活性、功能及生物利用度等方面也存在很大的差异。有报导指出,当有机硒摄入量小于无机硒的1/10时,机体血液中硒的浓度上升量却是无机硒的2倍,即有机硒被机体吸收率相当于无机硒的20倍^[13]。

在生物体内有机硒和无机硒都会转化为相同的硒化物中间体,硒化物进一步转化为硒蛋白从而发挥生物学作用。两者的区别在于:无机硒在小肠内,通过被动扩散方式吸收,吸收效率不高,其在还原态的辅酶II、辅酶A、腺苷-5-三磷酸盐和镁的作用下,被还原成硒化物,硒化物再与血浆蛋白结合后运输到肝脏,转化为硒蛋白。此外,无机硒在肝脏中吸收后再转入到其他组织进行利用,多余的可被转运到肾脏中,并通过尿液的形式排出体外,还有一些未被吸收的硒则通过粪便排出,造成环境污染。而有机硒的吸收代谢途径主要是通过主动运输方式与氨基酸结合,通过肠壁被机体吸收利用。同时,硒可以与多糖和核酸结合,形成含硒多糖和含硒核酸,组成生物体内含硒生物大分子^[11]。此外,有机硒多余的部分可以进入红细胞的血红蛋白及血浆的白蛋白中形成硒库^[14],还能作为蛋氨酸的类似物,掺入到蛋白质

中,使肌肉中硒的含量增加^[10]。因此,有机硒比无机硒更容易被吸收利用,从而更好地发挥生物学作用。

4 酵母硒在水产动物上的研究进展

4.1 酵母硒促进水产动物生长

研究表明,酵母硒具有改善水产动物生长的功能。Ilham 等^[4]的研究结果证实,在以高水平羽扇豆粕为基础的饲料中添加 2 g/kg 有机硒可以显著地提高肺鱼的末重(FBW)、特定生长率(SGR)及增重率(WGR),并显著改善了羽扇豆粕替代鱼粉造成的 GSH-Px 活力的下降。龙萌^[11]对团头鲂的研究结果表明,饲料中添加 0.5 mg/kg 的酵母硒显著提高团头鲂幼鱼的 WGR 和 SGR,并能降低饲料系数,此外,酵母硒还能通过诱导下丘脑-垂体-生长轴相关基因表达来提高生长性能。Mansour 等^[15]在对大西洋白姑鱼的研究中表明,2.97 和 3.98 mg/kg 的酵母硒可以显著提高生长性能和饲料转化率,并能提高其存活率。

4.2 酵母硒提高水产动物抗氧化能力

正常生理条件下,机体内 ROS 的产生与清除处于一种动态平衡之中,一旦这种平衡被打破,就容易造成机体的氧化应激,而研究表明,酵母硒具有抗氧化的功能。在对虹鳟的研究中发现,当其处于物理应激的条件下,饲料中添加 8 mg/kg 的酵母硒可以显著提高虹鳟幼鱼的肝脏 GSH-Px 活力,且有机硒比无机硒的作用效果强得多^[16]。Liu 等^[17]的研究表明,0.4 mg/kg 酵母硒显著升高团头鲂肝脏过氧化氢酶(CAT)和 GSH-Px 活力,并显著降低了谷胱甘肽还原酶(GR)活性及丙二醛(MDA)的含量,表现出强大的抗氧化能力。李宁等的^[18]试验表明,添加 0.5 mg/kg 酵母硒可以显著提高大口黑鲈肝脏的总抗氧化能力(T-AOC)、超氧化物歧化酶(SOD)、GSH-Px 活力,并使血浆中 MDA 的含量显著降低,减轻大口黑鲈肝脏、后肠的损伤。对大西洋白姑鱼及尼罗罗非鱼的研究结果也表明,酵母硒的添加显著改善了 SOD 的酶活力及其基因表达水平,以此提高了动物的抗氧化能力^[15,19]。

4.3 酵母硒提高水产动物免疫功能

酵母硒对维持动物免疫系统的正常运转具有

很大的促进作用,并可以提高机体的免疫地位。Mansour 等^[15]在对大西洋白姑鱼的研究中发现,饲料中添加酵母硒可以显著提高鱼体的非特异性免疫指标,包括免疫球蛋白含量、溶菌酶、髓过氧化物酶、补体旁路途径溶血活性及呼吸爆发活力等。在对中华鳖幼鳖的研究中发现,添加 0.5×10^{-6} 酵母硒可以显著提高 NK 细胞的活性,而 0.5×10^{-6} 酵母硒结合 0.1% 花粉则能够显著地增强中华鳖 NK 细胞的活性及 T 淋巴细胞的转化率^[20]。在异育银鲫实验中发现,1.2 mg/kg 的有机硒(酵母硒)可以显著提高鱼体的非特异免疫力,并改善鱼体的肝脏功能,提高鱼体的造血功能^[21]。

5 小结

酵母硒作为一种优质的有机硒源,能促进水产动物的生长发育,并能提高机体抗氧化能力及免疫功能,从而增强养殖过程中水产动物的应激能力。且其与无机硒相比毒性更小、更加低量高效,因此是一种很好的水产动物饲料添加剂。

目前国内外已广泛将酵母硒应用于促进畜禽动物的生长、提高动物繁殖能力、提高抗氧化功能及抗病力等方面,随着国内人们对硒生物学功能及其发挥作用机制研究的深入,酵母硒必将取代无机硒,成为一种水产饲料中安全高效的补硒添加剂。

参考文献:

- [1] 韩晓霞,魏洪义. 硒的营养生物学研究进展[J]. 南方农业学报,2015,46(10):1798-1804.
- [2] 何柳青. 茶多酚和酵母硒对绿壳鸡蛋胆固醇、硒含量及抗氧化性能的影响[D]. 湖南农业大学,2012.
- [3] 肖竞,周德平. 酵母对微量元素硒的生物富集及应用[J]. 中国饲料,2004(19):10-11.
- [4] Ilham, Fotedar R, Munilkumar S. Effects of organic selenium supplementation on growth, glutathione peroxidase activity and histopathology in juvenile barramundi (*Lates calcarifer* Bloch 1970) fed high lupin meal-based diets[J]. Aquaculture, 2016, 457:15-23.
- [5] 胡俊茹,王国霞,孙育平,等. 饲料硒含量对黄颡鱼幼鱼生长性能、抗氧化能力和脂肪代谢基因表达的影响[J]. 动物营养学报,2016,28(12):3925-3934.
- [6] 王长青. 微量元素硒的生理作用及畜禽补硒方法的研究进展[J]. 饲料广角,1996(3):31-33.

(下转第 60 页)

重要组成成分,是我国宝贵的资源财富,在社会发展中具有多重的价值属性。对无居民海岛的开发应以生态保护为基础,促进海岛资源的可持续发展,重视顶层设计、统筹规划。我国可利用的无居民海岛中,只有少数近岸和具有特殊价值的海岛被开发使用,因此无居民海岛未来有巨大的挖掘潜力。无居民海岛的开发使用是新时代赋予我们的新使命,是国家繁荣富强的新机遇,无居民海岛使用制度的建立与创新,为无居民海岛的使用提供制度准则,也为下一步海岛的开发提供了方向。

参考文献:

- [1] 王永生.《海岛保护法》:呵护我国海岛的“防护栏”.南方国土资源[J],2010(3):23-25.
- [2] 刘荣子,齐连明.我国无居民海岛价值体系研究[M].北京:海洋出版社,2006.4.
- [3] 宋洵知.守护海疆彩霞舞—吕彩霞.[2018-4-20]http://www.hycfw.com/Artical/211830.
- [4] 李嵩誉.无居民海岛立法的生态保护优先原则与制度设计[M].北京:经济科学出版社,2016.10.
- [5] 程骅.无居民海岛有序管理与开发利用的研究[D].上海:华东政法大学,2014.

- [6] 王丹.生态保护优先原则下的无居民海岛使用制度[D].青岛:中国海洋大学,2015.
- [7] 游建胜.我国无居民海岛开发保护的现状及对策[J].福建论坛(人文社会科学版),2015(01):34-37.
- [8] 黄尚宁.“玩岛”的生态门槛有多高?[N].中国国土资源报,2017-06-26(003).
- [9] 陈华燕.我国无居民海岛管理模式研究[D].大连:大连海事大学,2015.
- [10] 马得懿.美国无居民海岛集中管理机制及中国的选择[J].财经问题研究,2013(09):115-122.
- [11] 吴焯.我国无居民海岛开发利用法律制度研究[D].成都:西南政法大学,2012.
- [12] 王琪,王刚.基于产权视角的无居民海岛开发研究[J].中共青岛市委党校.青岛行政学院学报,2013(02):24-30.
- [13] 马得懿.无居民海岛使用权阐释:海洋属性与海权发展[J].河北法学,2014,32(07):107-117.
- [14] 程功舜.无居民海岛使用权若干问题分析[J].海洋开发与治理,2010,27(01):9-11.
- [15] 道格拉斯·诺斯.经济史中的结构与变迁[M].上海:上海人民出版社,1994.12.

(收稿日期:2018-04-21)

(上接第54页)

- [7] 田金可.不同硒源饲料及添加水平对肉仔鸡抗氧化功能及肉品质的影响[D].南京农业大学,2011.
- [8] 刘建萍.酵母硒在饲料中的应用现状[J].饲料与畜牧,2013(9):56-59.
- [9] Dylewski M L, Mastro A M, Picciano M F. Maternal selenium nutrition and neonatal immune system development[J]. Neonatology, 2002, 82(2): 122-127.
- [10] 张增源.酵母硒对鸡生长性能、抗氧化和肉品质的影响[D].南京农业大学,2014.
- [11] 龙萌.酵母硒和茶多酚对团头鲂生长、抗氧化性能及抗应激的影响[D].华中农业大学,2015.
- [12] 任峰玲,郭雄.硒的特性、毒性及在某些国家的现状[J].国外医学(医学地理分册),2004,25(3):117-119.
- [13] 金丰秋,金其荣.硒酵母(有机硒)与硒酸、亚硒酸(无机硒)在安全性方面的差别[J].科技创业月刊,2001(11):33-34.
- [14] 曹鼎鼎,孟田田,舒绪刚,等.硒元素在动物体内的吸收代谢研究进展[J].仲恺农业工程学院学报,2017,30(04):66-70.
- [15] Mansour A T, Goda A A, Omar E A, et al. Dietary supplementation of organic selenium improves growth, survival, antioxidant and immune status of meagre, *Argyrosomus regius*, juveniles[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2017, 68: 516

-524.

- [16] Rider S A, Davies S J, Jha A N, et al. Supra-nutritional dietary intake of selenite and selenium yeast in normal and stressed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): implications on selenium status and health responses[J]. Aquaculture, 2009, 295(3): 282-291.
- [17] Liu G X, Jiang G Z, Lu K L, et al. Effects of dietary selenium on the growth, selenium status, antioxidant activities, muscle composition and meat quality of blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. Aquaculture Nutrition, 2017, 23(4): 777-787.
- [18] 李宁,郑银桦,吴秀峰,等.大口黑鲈对饲料中酵母硒的耐受性研究[J].动物营养学报,2017,29(6):1949-1960.
- [19] Lee S, Nambi R W, Won S, et al. Dietary selenium requirement and toxicity levels in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. Aquaculture, 2016, 464: 153-158.
- [20] 王亭亭,蔡完其.饲料中添加花粉和酵母硒对中华鳖幼鳖生长和非特异性免疫功能的影响[J].上海海洋大学学报,2005,14(2):97-102.
- [21] 朱春峰.有机硒和无机硒对异育银鲫生长、生理的影响[D].苏州大学,2009.

(收稿日期:2018-04-27)