

# 虾青素在畜牧养殖中的应用研究进展

侯庆明, 张妍, 黄倩倩, 满建鲁, 刘传顺, 刘世莲

(山东胜利生物工程有限公司, 山东济宁 272000)

**摘要:** 虾青素作为一种具有多种生理功能的类胡萝卜素, 是一种高效、绿色、安全的饲料添加剂, 具有改善畜禽产品品质、繁殖性能、生产性能和机体免疫力等生物学功能, 在畜牧养殖行业中的应用与发展潜力巨大。该文围绕虾青素的物理化学性质、结构特性、生产来源、在畜牧养殖行业中的应用发展前景及应用安全性等方面展开了论述, 以期为我国畜牧养殖中的应用提供理论参考。

**关键词:** 虾青素; 畜牧养殖; 应用; 抗氧化性; 安全性

**中图分类号:** S816.79

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-4556 (2024) 02-0110-05

虾青素是一种类胡萝卜素, 主要从水生动物中提取, 具有多种生理功能, 因此成为畜牧养殖行业中的研究热点。由于其抗氧化活性极强, 是其他类胡萝卜素的 10 倍以上, 维生素的 550 倍以上, 虾青素也因此有“超级维生素”之称。虾青素能有效抑制细胞的氧化损伤和癌变, 还有防紫外线辐射、增强机体抵抗力、抗心脑血管系统疾病等功能, 在卫生保健和饲料养殖等行业中发挥着愈来愈重要的作用<sup>[1]</sup>。本文从虾青素的物理化学性质、结构特性、生产来源、在畜牧养殖行业中的应用及安全性等方面进行了综述, 以期为我国畜禽养殖业中的应用提供理论参考。

## 1 虾青素的物理化学性质与结构特性

### 1.1 物理化学性质

虾青素, 又名虾黄素、虾黄质, 是由德国化学家 Richard Kuhn 在龙虾体内首次提取出来的一种紫红色结晶物质, 故称为虾青素, 后来虾青素

被确定为一种与虾红素有密切关系的类胡萝卜素。 $\beta$ -胡萝卜素、叶黄素、角黄素、番茄红素等均为类胡萝卜素的合成中间产物, 而虾青素是类胡萝卜素中合成水平最高的产物, 也是目前人类在自然界中所发现的具有最强抗氧化活性的物质, 抗氧化性远高于现有的抗氧化剂。虾青素的化学名称为 3,3'-二羟基-4,4'-二酮基- $\beta$ ,  $\beta'$ -胡萝卜素, 分子式为  $C_{40}H_{52}O_4$ , 相对分子质量 596.84, 熔点为 215~216 $^{\circ}C$ , 沸点为 774 $^{\circ}C$ , 为红色固体粉末, 有脂溶性, 不易溶于水。

### 1.2 结构特性

虾青素的分子结构如图 1 所示。中间结构由 4 个异戊二烯单位构成的共轭双键组成, 两端结构由  $\alpha$ -羟基紫罗酮六元环构成, 两端环结构的

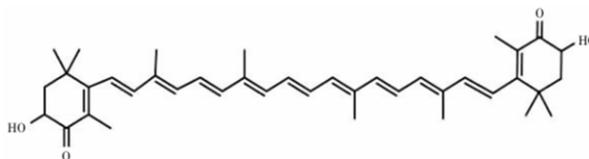


图 1 虾青素的分子结构

收稿日期: 2023-09-22

作者简介: 侯庆明 (1978—), 男, 山东德州人, 工程师, 研究方向: 微生物制药及畜牧兽医。

C-3 和 C-3' 为两个手性中心。中间结构的共轭双键能吸引自由基未配对电子或者向自由基提供电子,从而清除自由基,起到抗氧化作用。由于共轭双键链、不饱和酮基和羟基的特殊结构,虾青素易与光、热和氧化物发生降解反应,形成虾红素。

虾青素一个手性中心有两种构象,每一个手性碳原子都可以以 R 或 S 的形式存在,因此虾青素有 (3S, 3'S)、(3R, 3'R) 和 (3R, 3'S) 共 3 种异构体,其中 (3S, 3'S) 与 (3R, 3'R) 异构体互为对映体。由于碳碳双键基团链接方式不同,虾青素存在反式结构与顺式结构,天然虾青素基本全为反式结构,化学合成的两者均有。其中,天然反式构型的虾青素生物活性较高,而顺式结构的虾青素生物活性极低,动物机体对顺式虾青素的吸收能力较弱,因此,在畜牧养殖行业中一般会选择反式结构的虾青素<sup>[2]</sup>。

## 2 虾青素的生产方法

20 世纪初期,主要采用天然提纯法从虾、蟹等生物体内提取天然虾青素。随着科学技术的进步,化学合成的虾青素悄然问世,但由于分子结构等方面的差异,其效果和安全性远远低于天然提纯的虾青素。

### 2.1 人工合成虾青素

人工合成的虾青素的主要路径是以类胡萝卜素中  $\beta$ -胡萝卜素为起点,在  $\beta$ -胡萝卜素的芳香环的 3 号碳和 4 号碳上面分别引入 2 个羟基和酮基,最终形成虾青素。目前人工合成虾青素最广泛的是采用 Wittig 反应的全合成法,而半合成法可以将斑蝥黄质、玉米黄质和叶黄素等类胡萝卜素当做原料来制备虾青素。制备工艺简单、成本低廉是使用化学合成法生产虾青素的主要特点,但是它有 3 种立体异构体的形式存在,并且含有副产物,在稳定性、安全性和抗氧化活性等方面

均达不到令人满意的效果<sup>[3]</sup>。特别是在实际生产应用中,动物机体对天然虾青素的生物吸收利用效果强于合成虾青素,当喂食浓度较低时,天然虾青素在虹鳟鱼血液中的浓度明显高于人工合成虾青素,并且人工合成的虾青素在动物体内无法转化为天然构型,生物效价和着色能力比同浓度的天然虾青素要低的多<sup>[4]</sup>。鉴于此,全球对化学合成虾青素的管理也日趋严格,各国对此也做出相应的管理规定,美国食品与药物管理局(FDA)已禁止保健食品市场使用化学合成的虾青素。

### 2.2 天然虾青素

天然虾青素主要是以 3S, 3'S 形式存在,具有更高的生物活性,主要有 2 种生产方法:一种方法是在磷虾、龙虾、鳟鱼、鲑鱼、藻类、酵母、细菌以及水产加工废弃物中提取<sup>[5]</sup>。目前,全世界每年大概有上百万吨的水产品废弃物,经粉碎、破壁、水解、萃取后可以得到天然虾青素,通过这种方法可以促进水产养殖业健康发展,减轻生态环境压力。但这些废弃水产品中含有几丁质、灰分等杂质,如何最大化的提取虾青素并去除杂质是解决产品质量和生产成本问题的关键;另一种方法是通过红法夫酵母、铜绿小球藻、单细胞绿藻雨生红球藻、粘红酵母、胶红酵母、副球菌属等微生物发酵生产,具有环保压力小、产物明确、副产物少等优势<sup>[6]</sup>,是目前主要的虾青素生产方法。但这种方法对于培养条件和菌种的要求较高。Chi 等<sup>[7]</sup>利用基因工程手段改造高产红法夫酵母 MK19,虾青素产量比野生型提高 17 倍。红法夫酵母发酵生产虾青素的方法具有培养时间短、可以大量增殖实现高密度培养等优点,而且酵母还是良好的饲料蛋白原料,高产红法夫酵母菌株的选育因此备受关注。若能够筛选到红法夫酵母的高产菌株,一定会进一步助力虾青素的规模化生产,促进虾青素在畜牧养殖业的应用。

### 3 虾青素在畜牧养殖中的应用

#### 3.1 虾青素对畜禽产品品质的影响

色泽、保水性等是畜禽产品品质优劣的重要参考指标,影响这些指标的因素有产品的色素含量、抗氧化酶活性等。虾青素在着色和抗氧化性方面具有先天优势,是水产和家禽饲料中首选的着色剂。作为类胡萝卜素合成的最后一站,虾青素进入动物机体后可以直接贮存并沉积在肌肉组织中,并能够与肌红蛋白发生非特异性结合<sup>[8]</sup>。因此,在饲料中添加虾青素能有效提高畜禽产品的色泽,增强畜禽产品营养价值和市场竞争力。Conradie等<sup>[9]</sup>研究发现,在饲料中添加虾青素,可以使蛋鸡的脚、皮肤、喙和羽毛等部位呈现不同程度的红色或者金黄色,全蛋和蛋黄重增加,促进家禽的生长并提高产蛋率。刘兵<sup>[10]</sup>研究发现,蛋鸡的肌肉组织和蛋黄的抗氧化酶活性随着虾青素在日粮中添加量的增加而提高。付兴周等<sup>[11]</sup>研究发现,虾青素可明显提高宰后鸡肉红度值 $a^*$ 和亮度值 $L^*$ 。虾青素在家畜类动物方面的研究也逐渐增多。Carballo等<sup>[12]</sup>在研究哺乳羔羊肉质时发现,在含丁基羟基甲苯的商业代乳粉中添加虾青素可以增加宰后羊肉和脂肪的红度值 $a^*$ ,从而提高冻肉的脂质稳定性。李新杰等<sup>[13]</sup>研究发现,在育肥猪日粮中添加虾青素,可以降低腰肌的亮度值 $L^*$ 和黄度值 $b^*$ ,加深肉质的颜色,品质更佳。

#### 3.2 虾青素对畜禽繁殖性能的影响

虾青素可淬灭单线态氧,清除自由基,通过降低膜通透性,限制氧化剂渗透进细胞内,提高内源性抗氧化酶系统的防御作用。虾青素通过不断降低畜禽动物精子的氧化损伤水平提高精液质量,通过提高热休克卵丘细胞的超氧化物歧化酶活性来改善雌性动物的繁殖性能<sup>[14]</sup>。有研究表明,在鸡精液中添加虾青素可显著增强精液中的超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶活性,提高精

子质膜的完整率<sup>[15]</sup>。在体外试验中,向猪卵母细胞成熟培养基添加虾青素,各阶段的生长发育情况都有不同程度的改善<sup>[14]</sup>。胡亚美<sup>[16]</sup>研究发现,适量的虾青素可以明显改善常温下猪精液的质量。Kamada等<sup>[17]</sup>在培养牛黄体细胞的过程中发现,添加低浓度的虾青素可提高培养液中的孕酮含量,因此,在饲料中添加虾青素有提高黄体功能的潜力。

#### 3.3 虾青素对畜禽生产性能的影响

虾青素作为一种新型饲料添加剂,可以提高畜禽的饲料利用率和生长速度。有研究表明,在蛋鸡日粮中添加虾青素,可以提高DHA鸡蛋的储存稳定性,并提高产蛋率。Kumar等<sup>[18]</sup>研究发现,在犊牛饲料中添加虾青素可以明显提高犊牛的饲料转化率,增加体重。林建坤等<sup>[19]</sup>研究发现,在仔猪饲料中组合添加虾青素和双乙酸钠可提高仔猪的抗氧化能力和养分消化率,从而提高仔猪的生产性能。Perenlei等<sup>[20]</sup>研究发现,虾青素可提高肉鸡的日增重和腹部脂肪比例。但也有研究表明,在蛋鸡的日粮中添加天然虾青素对生产性能无影响<sup>[21,22]</sup>。

#### 3.4 虾青素对畜禽机体免疫力的影响

畜禽机体免疫力的高低直接影响到畜禽的健康状况和生长速度。虾青素对畜禽免疫力的影响主要体现在以下3个方面:一是抗氧化作用,虾青素具有很强的抗氧化性,可以清除自由基,阻止氧化应激反应,保护免疫细胞,防止免疫系统受到损伤。二是增强免疫细胞数量和活性,虾青素能够增加淋巴细胞、中性粒细胞和巨噬细胞等免疫细胞的数量,从而提高机体的免疫能力。三是促进免疫球蛋白生成,虾青素可以促进免疫系统中B细胞的活力,增加免疫球蛋白(IgG、IgA和IgM)的生成量,增强体液免疫反应能力。

综上所述,虾青素在畜牧养殖中可以作为一种有效的抗氧化剂和免疫增强剂来使用,并提高

畜禽的免疫力和抗病能力。但虾青素不能替代任何药物治疗疾病。同时,不同种类的动物对虾青素的吸收和利用程度也可能有所不同,在实际应用中需要结合实际情况进行适当地调整 and 选择。

#### 4 虾青素在畜牧养殖中的安全性

虾青素具有安全、无毒副作用的特点,被广泛应用于动物饲料中,在适量的情况下可以促进动物的生长发育,并且不会对动物的健康造成负面影响,许多试验也证明了这一点。金伟等<sup>[23]</sup>对大鼠进行 30d 虾青素喂养实验,研究发现大鼠生长发育无异常,一般表现良好,各项指标结果和组织病理学检查均无明显的异常变化。Lin 等<sup>[24]</sup>研究表明,与对照组相比,未发现连续服用 13 周虾青素的小鼠在体重、血液学、尿液分析、器官重量等临床参数上存在明显的生物学差异。石丽丽等<sup>[25]</sup>采用急性毒性试验、遗传毒性试验、大鼠 30d 喂养试验等毒理学评价方法,对虾青素的食用安全性也进行了评估,未见虾青素的明显毒副作用。林飞良等<sup>[26]</sup>的研究也揭示红球藻提取物在大鼠的 90 天喂养试验和致畸试验中是安全的。

在世界范围内,虾青素应用广泛。在北美,2009 年 4 月, FDA 批准虾青素作为一种混合着色剂的成分可用于鱼饲料。2000 年,雨生红球藻粉和法夫红酵母被批准用于鱼饲料为鲑鱼着色,获得了理想的饲喂效果。在欧盟,虾青素被批准作为膳食补充剂的新原料。2009 年,我国批准虾青素用作饲料添加剂,雨生红球藻于 2010 年被批准为新食品资源。总的来说,在动物饲料中使用虾青素是安全的,但如果动物对虾青素、类胡萝卜素、虾青素来源或者对抑制 5- $\alpha$  还原酶药物有过敏情况,应避免使用虾青素。另外,需要注意使用量 and 与其他饲料成分的搭配,避免对动物的健康造成影响。

#### 5 小结

虾青素是自然界中最重要的类胡萝卜素之一,因其在改善畜禽动物生长性能、存活率、繁殖性能、抗病能力等方面发挥着重要作用受到动物营养学家的关注。由于对畜禽产品色泽和繁殖性能、生产性能、机体免疫力等方面具有显著提升效果,在畜牧养殖中的虾青素使用量急剧增加,并且具有极大的应用价值和发展空间。但虾青素在畜禽尤其是反刍动物养殖方面的应用研究不多,很多作用机理尚未明确。随着虾青素市场需求的不断增加,通过合成生物学、分子生物学、代谢工程等新型技术手段实现虾青素的规模化生产是研究的重点,高产虾青素菌株的筛选、提取和纯化技术是关键点和难点。总之,虾青素的生产 and 应用是一个极具吸引力和挑战性的领域,期待在新的生物技术手段的助力下,虾青素的规模化生产 and 应用能得到新的发展。

参考文献:

- [1] Spiller GA, Dewell A. Safety of an Astaxanthin-Rich Haema-tococcus pluvialis Algal Extract:A Randomized Clinical Trial [J]. Journal of Medicinal Food. 2003, 6(1):51-56.
- [2] 张辰, 谭秀文, 万发春, 等. 虾青素在畜牧养殖中的应用研究进展[J]. 山东畜牧兽医, 2018, 39(6):80-82.
- [3] 苗丽青, 马旭辉, 李素贞, 等. 虾青素的生物合成与产业化应用 [J]. 中国农业科技导报, 2023, 25(3):21-29.
- [4] 刘宏超. 虾壳生物活性物质提取及综合利用[D]. 湛江:广东海洋大学, 2010.
- [5] 郝孔利, 张策. 天然虾青素提取和纯化的研究进展[J]. 广东饲料, 2023, 32(11):31-34.
- [6] 张辰, 徐慧, 朱坤福, 等. 微生物法生产虾青素的研究进展[J]. 中国酿造, 2021, 40(10):29-35.
- [7] Chi S, He Y, Ren J, et al. Overexpression of a bifunctional enzyme, CrtS, enhances astaxanthin synthesis through two pathways

- in *Phaffia rhodozyma*[J]. *Microbial Cell Factories*, 2015(14):90.
- [8] 李兆华, 刘鹏. 虾青素的功能及应用进展 [J]. *食品与药品*, 2005 (9):17-20.
- [9] Conradie TA, Pieterse E, Jacobs K. Application of *Paracoccus marcusii* as a potential feed additive for laying hens[J]. *Poultry Science*, 2018, 97(3):986-994.
- [10] 刘兵. 日粮硒和 DHA 改善产蛋后期蛋鸡肉蛋品质的效果和机制研究[D]. 无锡:江南大学, 2021.
- [11] 付兴周, 路志芳, 李东. 虾青素复合添加剂对肉鸡生长性能及肉质的影响[J]. *畜牧与兽医*, 2017, 49(1):27-30.
- [12] Carballo DE, Giraldez FJ, Andres S, et al. Effects of dietary astaxanthin supplementation on the oxidative stability of meat from suckling lambs fed a commercial milk-replacer containing butylated hydroxytoluene[J]. *Meat Sci*, 2019(156):68-74.
- [13] 李新杰, 朱伟, 姜威, 等. 天然虾青素对鸭肉品质和脂质氧化稳定性的影响[J]. *粮食与饲料工业*, 2012(6):43-45.
- [14] 李磊, 张丽, 林树带, 等. 虾青素的生理功能及其在动物遗传资源保护和生产中的应用[J]. *中国畜禽种业*, 2022, 18(12):19-26.
- [15] 施文. 在稀释液中添加虾青素对鸡精液保存效果影响的研究 [D]. 南宁:广西大学, 2020.
- [16] 胡亚美. 虾青素对猪精液常温保存效果的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2018.
- [17] Kamada H, Akagi S, Watanabe S. Astaxanthin increases progesterone production in cultured bovine luteal cells [J]. *Journal of Veterinary Medical Science*, 2017, 79(6):1103-1109.
- [18] Kumar S, Singh SV. Inhibition of NF- $\kappa$ B signaling pathway by astaxanthin supplementation for prevention of heat stress -induced inflammatory changes and apoptosis in Karan Fries heifers [J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2019, 51 (5):1125-1134.
- [19] 林建坤, 郭瑞萍. 虾青素和双乙酸钠联用对断奶仔猪生产性能和抗氧化能力的影响[J]. *饲料研究*, 2014(13):28-32.
- [20] Perenlei G, Tojo H, Okada T, et al. Effect of dietary astaxanthin rich yeast, *Phaffia rhodozyma*, on meat quality of broiler chickens [J]. *Anim Sci J*, 2014, 85(10):895-903.
- [21] Walker LA, Wang T, Xin H, et al. Supplementation of laying-hen feed with palm tocosand algae astaxanthin for egg yolk nutrient enrichment[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(8):1989-1999.
- [22] 李润桦, 倪和民, 郭勇, 等. 天然虾青素对蛋鸡生产性能和蛋品质的影响[J]. *北京农学院学报*, 2019, 34(4):100-103.
- [23] 金伟, 雷林. 虾青素软胶囊 30 天喂养试验研究[J]. *职业与健康*, 2021, 37(5):595-598.
- [24] Lin, YJ, Lin JY, Wang DS, et al. Safety assessment of astaxanthin derived from engineered *Escherichia coli* K-12 using a 13-week repeated dose oral toxicity study and a prenatal developmental toxicity study in rats[J]. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2017(87):95-105.
- [25] 石丽丽, 韩超, 赵金鹏, 等. 虾青素的毒理学安全性评价研究 [J]. *中国食物与营养*, 2019, 25(1):31-35.
- [26] 林飞良, 张梦云, 庞定国, 等. 红球藻提取物大鼠 90d 喂养试验与致畸试验研究[J]. *毒理学杂志*, 2016, 30(1):85-87.