

# 裂殖壶菌在蛋鸡上的应用研究进展

张晓丽<sup>1</sup> 何万领<sup>1,2\*</sup> 李晓丽<sup>1</sup> 杨龙帮<sup>2</sup> 郭 姝<sup>1</sup>

1. 河南科技大学动物科技学院, 河南洛阳 471000; 2. 河南省生物发酵微量元素及安全评价工程技术中心, 河南鹤壁 456250

**摘要** 大量研究表明, 在蛋鸡饲料中添加富含 n-3 多不饱和脂肪酸的原料可以生产富含 DHA 的鸡蛋。DHA 是人体必需的多不饱和脂肪酸之一, 必须从食物中获取。裂殖壶菌作为初级生产者, 富含 DHA, 成为开发 DHA 鸡蛋的最佳来源。目前, 我国对裂殖壶菌在蛋鸡上的应用研究开发相对较少, 文章就裂殖壶菌产 DHA 的优势以及蛋鸡上的应用和前景等进行了简要综述, 以期为更加深入地开发利用裂殖壶菌提供参考。

**关键词** 裂殖壶菌; DHA; 蛋鸡; 应用

DHA 在人体中集中分布在大脑皮层、视网膜和线粒体中, 对人体具有重要的营养生理调节作用<sup>[1]</sup>。国内外大量研究表明, DHA 具有促进婴幼儿智力水平的发育<sup>[2]</sup>, 预防老年人患老年痴呆<sup>[3]</sup>; 维持视网膜正常结构, 防止视力衰退; 提高凝血细胞膜的流动性, 抑制血小板凝聚, 降低胆固醇含量, 降低血栓发生率<sup>[4]</sup>; 提高免疫力, 消除炎症, 预防癌症<sup>[5]</sup>等作用。联合国粮农组织 (FAO) 和国际围产医学会提出, 婴幼儿每天至少补充 100 mg 的 DHA, 孕妇和哺乳期女性应不少于 200 mg。

裂殖壶菌 (*Schizochytrium*) 是一类单细胞异养海洋微藻, 由于其富含丰富的 n-3 多不饱和脂肪酸, 比如二十二碳六烯酸 (DHA), 近年来备受人们关注<sup>[6]</sup>。DHA 是一种人体必需的  $\omega$ -3 系列多不饱和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acids, PUFAs)<sup>[7]</sup>, 其中极少部分通过转化摄入的亚麻酸合成, 但一般情况下人体无法主动合成 DHA, 所以绝大部分 DHA 都需要从食物中获取<sup>[8]</sup>。研究发现, 通过调控蛋鸡饲料中脂肪酸的组成与含量, 能够显著影响鸡蛋蛋黄中脂肪酸的组成与含量, 在蛋鸡饲料中额外添加 DHA 可以生产出富含 DHA 的鸡蛋, 并且鸡蛋中的 DHA 具有优良的稳定性<sup>[9]</sup>。已有大量研究证实, 通过向

蛋鸡饲料中添加适量裂殖壶菌粉<sup>[10]</sup>或藻油提取物<sup>[11]</sup>, 均有较多 DHA 被富集在鸡蛋蛋黄中。

## 1 裂殖壶菌产 DHA 的优势

传统获取 DHA 的来源是深海鱼油, 鱼油自身含有的 DHA 占总脂肪酸的比重较低, 杂质多, 鱼腥味重, 生产出的畜禽产品贮藏周期短<sup>[12]</sup>, 易于氧化, 除此之外, 还极大地受到深海鱼资源及捕捞季节的限制<sup>[13]</sup>。正因为这样, 近几年来人们逐渐开始寻求获得 DHA 的新来源。有研究表明, DHA 的源头生产者为海洋微藻, 深海鱼通过摄食微藻将 DHA 积累在自身体内<sup>[14]</sup>。海洋微藻包含了大量的产油微生物, 这类微生物能在细胞内积累超过自身干重 20% 以上的油脂, 且产生的油脂通常特异性地含有某一种特定的多不饱和脂肪酸<sup>[15]</sup>。微生物发酵生产的 DHA 更容易分离纯化; 不含鱼腥味<sup>[16]</sup>; 培养条件易于控制, 不受季节性条件影响; 可用资源充足<sup>[17]</sup>。目前, 研究者发现产 DHA 微生物种类越来越多, 其中主要以破囊壶菌和裂殖壶菌为主。但是破囊壶菌菌体细胞对剪切力敏感, 难以承受较大的机械搅拌, 难以实现工业上的放大生产<sup>[18]</sup>。而裂殖壶菌由于具有耐受剪切力、油脂含量高、油脂成分比较单

收稿日期: 2021-03-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (U1504324)

\*通讯作者

张晓丽, 女, 1993 年生, 硕士研究生在读。

一、且可在高盐和高糖条件下生长等优势,成为目前工业化生产 DHA 的理想物种之一<sup>[19]</sup>。

## 2 裂殖壶菌在蛋鸡上的应用

DHA 的保健功能十分明确,但当下我国居民人均 DHA 摄入量仍严重不足。首要原因是大多数居民摄入的含有天然 DHA 来源性食物不足,其次是当前市售 DHA 补充剂因技术和环境等条件的限制价格昂贵<sup>[20]</sup>。虽然理论上,人体可以通过摄入  $\alpha$ -亚麻酸( $\alpha$ -Linolenic acid, ALA),在肝脏中合成 DHA,但有研究证明,ALA-DHA 转化率只有 0.1%<sup>[21]</sup>,即便大量摄入 ALA,血液中 DHA 的含量也几乎没有增加<sup>[22]</sup>。因此,有必要开发出一种 DHA 含量高、质量稳定、安全、食用方便、价格低廉的功能性食品,来满足人们日常的需要。有研究证明,与肉类相比,饲料中的 DHA 更容易被鸡蛋所富集,且富集周期短,不易氧化,沉积污染物少<sup>[23]</sup>。同时饲喂蛋鸡富含 DHA 的饲料,不仅能提高蛋黄中 DHA 含量,对蛋鸡生产性能和鸡蛋品质也有改善作用<sup>[24]</sup>。

### 2.1 对蛋鸡生产性能和蛋品质的影响

生产性能和蛋品质是衡量蛋禽的两大重要和基础指标。大多数研究者认为,在蛋鸡饲料中添加裂殖壶菌 DHA,对蛋鸡生产性能和蛋品质无不良影响。王浩等<sup>[25]</sup>在蛋鸡饲料中添加裂殖壶菌油,结果显示蛋鸡在生产性能和蛋品质方面均无显著变化。Kaewsutas 等<sup>[26]</sup>在蛋鸡饲料中添加裂殖壶菌粉探究对蛋鸡的影响,结果显示采食量、产蛋量、哈氏单位、蛋白高度等生产性能和蛋品质指标均无显著差异。Wang 等<sup>[27]</sup>也得出了相似结论。同样,Chin 等<sup>[28]</sup>也发现了裂殖壶菌粉不会对蛋鸡的产蛋率、蛋重、采食量、料蛋比等生产性能造成不良影响。

除此之外,裂殖壶菌中含有多种类胡萝卜素、虾青素、叶黄素等有益色素,其中  $\beta$ -胡萝卜素是国际公认的天然染色剂,具有很强的抗氧化和着色功能,部分学者发现裂殖壶菌中 DHA 在蛋黄中沉积后能够显著增加蛋黄颜色<sup>[29]</sup>。杨贤庆等<sup>[5]</sup>证实了这一点,在饲料中添加裂殖壶菌粉对蛋鸡产蛋率、料蛋比和平均蛋重以及鸡蛋品质的影响均不显著,但可以显著增加蛋黄颜色。Kralik 等<sup>[30]</sup>分别在蛋鸡饲料中添加 0.5%、1.0%、1.5% 的裂殖壶菌粉,发现实验组的蛋黄颜色均不同程度提高,并推测可能是因为裂殖壶菌中含有胡萝卜素。

### 2.2 对鸡蛋脂肪酸组成的影响

有研究表明,蛋黄中脂肪酸的组成与饲料中的脂肪酸组成有直接关系,并且鸡蛋中绝大部分的 DHA 和 EPA 取决于它们在饲料中的含量<sup>[31]</sup>。裂殖壶菌含有大量  $\omega$ -3 PUFA,通过在蛋鸡饲料中添加裂殖壶菌粉或其提取物,可以显著提高饲料中  $\omega$ -3 PUFA 的含量,从而使得鸡蛋中  $\omega$ -3 PUFA 的含量随之升高,邓兴照等<sup>[32]</sup>的研究证明了这一点。并且,因为饲料中  $\omega$ -3 PUFA 含量的增加,能够同花生四烯酸等  $\omega$ -6 PUFA 产生竞争效应,抑制其在蛋黄中的积累,从而降低  $\omega$ -6 /  $\omega$ -3<sup>[33]</sup>。陈秀丽等<sup>[10]</sup>也发现蛋鸡采食含有裂殖壶菌粉的饲料,可以提高  $\omega$ -3 PUFA 含量,降低  $\omega$ -6 /  $\omega$ -3。不仅如此,吴永保等<sup>[34]</sup>在蛋鸡饲料中添加适量微藻,可提高蛋黄中  $\omega$ -3 PUFA 的含量,降低  $\omega$ -6 PUFA 的含量,并降低  $\omega$ -6 /  $\omega$ -3。事实证明,在蛋鸡饲料中添加富含  $\omega$ -3 PUFA 的原料,如裂殖壶菌,可提高蛋黄中  $\omega$ -3 PUFA 的含量,降低  $\omega$ -6 /  $\omega$ -3,提高鸡蛋营养价值。

其中,有研究报道,蛋黄中 PUFA 的含量,特别是 DHA 的含量,与相应原料在饲料中的添加量以及蛋鸡采食时间存在直接关系。Ao 等<sup>[35]</sup>发现,在蛋鸡饲料中分别添加 1%、2%、3% 的裂殖壶菌粉,相同饲喂时间内鸡蛋中 DHA 的含量与裂殖壶菌粉的添加量成正相关。Filev 等<sup>[36]</sup>在蛋鸡饲料中分别添加 1.27% 和 1.77% 的裂殖壶菌粉,饲喂过程中发现,随着饲喂天数的增加,处理组鸡蛋蛋黄中 DHA 含量持续增加,在 28 d 后各组蛋黄 DHA 含量基本达到稳定,并且 1.77% 添加量处理组蛋黄 DHA 含量显著高于 1.27% 处理组。这表明,蛋鸡通过采食富含 DHA 的饲料,可以在短时间内稳定地将 DHA 富集在蛋黄中。Wang 等<sup>[27]</sup>、Hu 等<sup>[37]</sup>、Park 等<sup>[38]</sup>在用裂殖壶菌饲喂蛋鸡的研究中均发现,当蛋鸡采食含有 DHA 饲料 14 d 后,蛋黄中 DHA 的含量达到最高值,并在随后基本保持稳定。

## 3 DHA 在鸡蛋中的稳定性

DHA 含有多个不饱和键,极易在空气中被氧化,形成过氧化物,这样不仅不能在人体中发挥其本身的营养保健功能,反而因为过氧化物的存在,还会破坏细胞结构、加速细胞衰老死亡,对人体产生不良营养<sup>[39]</sup>。DHA 被富集在蛋黄中,能有效避免氧化效应,这是因为在蛋黄低密度脂蛋白的外面交

织密集分布着蛋白质和磷脂分子,有效隔绝了氧分子与低密度脂蛋白内部DHA的接触,从而使其免遭氧化。同时,蛋黄中铁离子被卵黄高磷蛋白分子所螯合,从而抑制了铁离子对DHA的氧化作用。此外,有研究认为,蛋黄中过氧化物含量保持平衡,即其生成速度等于分解速度,这从根本上保证了蛋黄中各种物质的稳定性<sup>[40]</sup>。通过实际验证,不同的烹饪加工方法,如煮鸡蛋、炒鸡蛋、煎荷包蛋等,均不会对鸡蛋中的DHA造成破坏,并且不同的保存方法也几乎不会对蛋黄中的DHA产生不良影响<sup>[41]</sup>。

#### 4 裂殖壶菌在蛋鸡上的应用前景

随着人们生活水平的不断提高,健康意识不断加强,对DHA功能产品的需求越来越大。裂殖壶菌作为富含DHA并易于大规模商业化生产的藻类,受到人们的广泛关注。而我国作为鸡蛋产量的第一大国<sup>[42]</sup>,在人们日常饮食中,鸡蛋扮演者必不可少的重要角色,据估计每人每天食用1~2个DHA功能鸡蛋,即可满足其正常需要量,因此,利用裂殖壶菌开发出富含DHA的功能鸡蛋对居民健康水平及蛋鸡行业的发展都具有重要意义。

通过裂殖壶菌生产富含DHA的功能鸡蛋,这种方式具有下列优点:①生产时间短,方式简单。一般只用在蛋鸡饲料中添加适量DHA原料,饲喂15~28 d,即可得到DHA含量稳定、符合标准的DHA功能鸡蛋。②不含有毒物质,更加安全可靠。饲料中的DHA经过蛋鸡机体的消化、吸收、转运,并经过生殖屏障的筛选作用,可以有效除去有毒、有害物质。③现实意义大,可行性优良。

但是,我国对裂殖壶菌在蛋鸡上的应用研究起步较晚,关于在蛋鸡饲料中的添加量、添加方式、富集规律以及作用机制等问题还需要进一步地深入探究。

#### 参 考 文 献

- [1] 龚定芳. 高产DHA裂殖壶菌的诱变选育及转录组分析[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
- [2] DECSI T, KOLETZKO B. N-3 fatty acids and pregnancy outcomes[J]. Current opinion in clinical nutrition and metabolic care, 2005, 8(2): 161-166.
- [3] 朱丽娜, 张志国, 张敏, 等. DHA的生理功能及其在食品中的稳定性[J]. 中国乳品工业, 2009, 37(2): 45-48.
- [4] MARIK P E, VARON J. Omega-3 dietary supplements and the risk of cardiovascular events: A systematic review[J]. Clinical cardiology, 2009, 32(7): 365-372.
- [5] 杨贤庆, 吕军伟, 林婉玲, 等. DHA功能特性以及抗氧化性研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(2): 390-394.
- [6] FINCO A M, MAMAMI L D, CARVALHO J C, et al. Technological trends and market perspectives for production of microbial oils rich in omega-3[J]. Critical reviews in biotechnology, 2016, 37(5): 656-671.
- [7] GOODNIGHT S H, HARRIS W S, CONNOR W E, et al. Polyunsaturated fatty acids, hyperlipidemia, and thrombosis[J]. Arteriosclerosis, 1982, 2(2): 87-113.
- [8] 黄菊华, 李蕴成. DHA的功能及在食品添加中的应用研究[J]. 中国食物与营养, 2014, 20(4): 76-79.
- [9] CHERIAN G, GONZALEZ D, RYU K S, et al. Long-term feeding of conjugated linoleic acid and fish oil to laying hens: Effects on hepatic histopathology, egg quality, and lipid components [J]. Journal of applied poultry research, 2007, 16(3): 420-428.
- [10] 陈秀丽, 岳洪源, 李连彬, 等. 裂殖壶菌粉对蛋鸡生产性能、蛋品质、血清生化指标和蛋黄二十二碳六烯酸含量的影响[J]. 动物营养学报, 2014, 26(3): 701-709.
- [11] 王浩, 王晓翠, 张海军, 等. 饲料胆碱和裂殖壶菌油联合添加促进二十二碳六烯酸在鸡蛋卵黄中的富集[J]. 动物营养学报, 2017, 29(7): 2374-2383.
- [12] 付兴周, 路志芳, 申海燕, 等. 富集DHA鸡蛋的研究进展[J]. 中国家禽, 2016, 38(9): 41-44.
- [13] 于喆. DHA来源及分离纯化方法的研究进展[J]. 天津农业科学, 2017, 23(7): 29-32.
- [14] GUPTA A, BARROW C J, PURI M. Omega-3 biotechnology: thraustochytrids as a novel source of omega-3 oils[J]. Biotechnology advances, 2012, 30(6): 1733-1745.
- [15] HARWOOD J L, GUSCHINA I A. The versatility of algae and their lipid metabolism[J]. Biochimie, 2009, 91(6): 679-684.
- [16] GANUZA E T, BENITEZ-SANTANA, AATLAH E, et al. Cryptocodinium cohnii and schizochytrium sp. as potential substitutes to fisheries-derived oils from seabream (*Sparus aurata*) microdiets[J]. Aquaculture, 2008, 277(1-2): 109-116.
- [17] RAGHUKUMAR S. Thraustochytrid marine protists: production of PUFAs and other emerging technologies[J]. Marine biotechnology, 2008, 10(6): 631-640.
- [18] IIDA I, NAKAHARA T, YOKOCHI T, et al. Improvement of docosahexaenoic acid production in a culture of *Thraustochytrium aureum* by medium optimization[J]. Jour-



- nal of fermentation and bioengineering, 1996, 81 (1) : 76-78.
- [19] 魏萍, 马小琛, 任路静, 等. 裂殖壶菌发酵生产 DHA 研究进展[J]. 食品工业科技, 2010, 31(10): 398-404.
- [20] 曹万新, 孟橘, 田玉霞. DHA 的生理功能及应用研究进展[J]. 中国油脂, 2011, 36(3): 1-4.
- [21] 刘婷, 刘洋, 陈然. n-3 脂肪酸鸡蛋营养价值分析[J]. 粮食与饲料工业, 2013(9): 45-48.
- [22] HUSSEIN N, AH-SING N, WILKINSON P, et al. Long-chain conversion of linoleic acid and alpha-linolenic acid in response to marked changes in their dietary intake in men [J]. Journal of lipid research, 2005, 46(2): 269-280.
- [23] MOUROT J, HERMIER D. Lipids in monogastric animal meat[J]. Reproduction nutrition development, 2001, 41 (2): 109-118.
- [24] 彭琰, 占今舜, 李丽立, 等. 饲料中添加 DHA 复合添加剂对蛋鸡生产性能和蛋品质的影响[J]. 华南农业大学学报, 2012, 33(4): 539-543.
- [25] 王浩, 王晓翠, 张海军, 等. 饲料胆碱和裂殖壶菌油联合添加促进二十二碳六烯酸在鸡蛋卵黄中的富集[J]. 动物营养学报, 2017, 29(7): 2374-2383.
- [26] KAEWSUTAS M, SARIKAPHUTI A, NARARATWAN-CHAI T, et al. The effects of dietary microalgae (*Schizochytrium* spp.) and fish oil in layers on docosahexaenoic acid omega-3 enrichment of the eggs[J]. Journal of applied animal nutrition, 2016(4): 1-6.
- [27] WANG H, ZHANG H J, WANG X C, et al. Dietary choline and phospholipid supplementation enhanced docosahexaenoic acid enrichment in egg yolk of laying hens fed a 2% Schizochytrium powder-added diet[J]. Poultry science, 2017, 96(8): 2786-2794.
- [28] CHIN H J, SHEN T F, SU H P, et al. Schizochytrium limacinum SR-21 as a source of docosahexaenoic acid: optimal growth and use as a dietary supplement for laying hens[J]. Australian journal of agricultural research, 2006 (57): 13-20.
- [29] HERBER-MCNEILL S M, ELSWYK M E. Dietary marine algae maintains egg consumer acceptability while enhancing yolk color[J]. Poultry science, 1998, 77(3): 493-496.
- [30] KRALIK Z, KRALIK G, MANUELA G, et al. Microalgae *Schizochytrium limacinum* as an alternative to fish oil in enriching table eggs with n-3 polyunsaturated fatty acids [J]. Journal of the science of food and agriculture, 2020, 100(2): 1-15.
- [31] BAUCCELLS M D, CRESPO N, BARROETA A C, et al. Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs[J]. Poultry science, 2000, 79(2): 51-59.
- [32] 邓兴照, 齐广海, 刘福柱, 等. 日粮多不饱和脂肪酸类型对蛋鸡生产性能和蛋黄脂肪酸富集的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2006, 42(3): 31-34.
- [33] PARDIO V T, LANDIN L A, WALISZEWSKI K N, et al. The effect of soybean soapstock on the quality parameters and fatty acid composition of the hen egg yolk[J]. Poultry science, 2005, 84(1): 148-157.
- [34] 吴永保, 杨凌云, 闫海洁, 等. 饲料中添加微藻和亚麻籽提高鸡蛋黄中 $\omega$ -3 多不饱和脂肪酸含量对比研究[J]. 动物营养学报, 2015, 27(10): 3188-3197.
- [35] AO T, MACALINTA L M, PAUL M A, et al. Effects of supplementing microalgae in laying hen diets on productive performance, fatty-acid profile, and oxidative stability of eggs[J]. Journal of applied poultry research, 2015, 24 (3): 394-400.
- [36] FILEV K, RIZOVA V, GJORGOVSKA N, et al. Influence of marine alga *Schizochytrium* sp. on the production of enriched eggs with long chain polyunsaturated fatty acid DHA[C]. Symposium of Livestock Production with International Participation, 2001.
- [37] HU X C, REN L J, CHEN S L, et al. The roles of different salts and a novel osmotic pressure control strategy for improvement of DHA production by *Schizochytrium* sp[J]. Bioprocess and biosystems engineering, 2015, 38 (11) : 2129-2136.
- [38] PARK J H, UPADHAYA S D, KIM I H. Effect of dietary marine microalgae (*Schizochytrium*) powder on egg production, blood lipid profiles, egg quality, and fatty acid composition of egg yolk in layers[J]. Asian Australasian journal of animal sciences, 2015, 28(3): 391-397.
- [39] 李红燕, 隋恒凤. n-3 多不饱和脂肪酸强化蛋研究现状[J]. 草食家畜, 2012(1): 66-68.
- [40] 王文君, 徐明生, 欧阳克惠, 等.  $\omega$ -3 多不饱和脂肪酸在改善鸡蛋营养质量方面的研究[J]. 中国食品学报, 2003, 3(1): 82-85.
- [41] 李妍, 王静, 李麒龙, 等. DHA 与 EPA 最新研究进展[J]. 农产品加工·学刊, 2013(2): 6-13.
- [42] 迟玉杰. 浅析中国蛋品加工行业现状及发展方向[J]. 中国家禽, 2014, 36(12): 2-5.