

鱼油在食品领域中的应用技术综述

夏树华, 姜元荣*, 张余权, 牛付欢
(丰益(上海)生物技术研发中心有限公司, 上海 200137)

摘要: 对鱼油在食品领域中的应用技术进行综述。由于具有独特的营养功能, 鱼油的应用十分广泛。中国居民目前对二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)摄入不足, 因而鱼油在食品中的应用十分必要。目前市场上已有多种鱼油应用于各类食品中。在应用过程中, 鱼油的氧化稳定性问题一直是研究热点, 选择不同的添加形式(纯鱼油、乳状液和微胶囊)并采用某些新工艺可有效提高氧化稳定性。鱼油应用于食品在技术和商业方面的发展前景均十分广阔。

关键词: 鱼油; 食品; 应用; 乳化; 微胶囊

A Review of Techniques for Fish Oil Application in Food Products

XIA Shu-hua, JIANG Yuan-rong*, ZHANG Yu-quan, NIU Fu-huan
(Wilmar (Shanghai) Biotechnology Research and Development Center Co. Ltd., Shanghai 200137, China)

Abstract: This paper provides a review of techniques for the application of fish oil in food products. Fish oil has been widely used in food products due to its special health benefit. It is necessary to add fish oil in food products because of deficient intake of docosahexaenoic acid (DHA) and eicosapentaenoic acid (EPA) in China. Nowadays, there are many foods rich in fish oil available in the market. The oxidative stability of fish oil has been a concern for a long time during this application. The addition styles such as direct addition, emulsion or microcapsulation, and new processing techniques can effectively improve the oxidative stability of fish oil. Therefore, the application of fish oil in daily food will be developed widely in future both technologically and commercially.

Key words: fish oil; food; application; emulsification; microencapsulation

中图分类号: TS225.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)11-0299-04

二十碳五烯酸(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA)属于 *n*-3 多不饱和脂肪酸(PUFA), 具有多种生理功能, 其中 EPA 具有预防冠心病、降血压、消除疲劳、预防动脉粥样硬化和脑血栓、抗癌等生理活性, 可应用于预防心血管疾病的食品中; 而 DHA 能显著地促进婴儿的智力发育, 改善大脑机能, 提高记忆力, 可应用于婴儿益智食品中。美国国家医学院(IOM)推荐 DHA 和 EPA 每日总摄入量为 160mg, 据调查, 中国居民 DHA 和 EPA 的总摄入量仅为 37.6mg/d, 迫切需要进行补充^[1]。

鱼油是 EPA 和 DHA 的主要来源, 其应用十分广泛, 主要分为 4 个领域: 保健品、食品、饲料和临床(鱼油脂肪乳)。胶囊是保健品领域中鱼油主要的补充形式, 但要求消费者按照有规律的时间服用, 很不方便, 且鱼油密度比胃液小, 可能造成反胃^[2-3]。与之相比, 将鱼油加入到日常食品中时, 受众更为广泛, 且更营

养健康, 无需额外改变饮食规律, 非常适合中国人的饮食习惯。研究已证实这些添加鱼油的食物具有和鱼油同样的生理功能, 是欧美市场上增长最快的食品类别之一^[4-6]。

鱼油在应用于食品中时, 其氧化稳定性一直是关注的焦点。但大量研究和实践已经证实, 通过选择合适的添加形式和某些新工艺, 完全可以得到稳定而营养的产品。

1 鱼油在食品中的应用

在北美、日本和欧洲已涌现了大量添加鱼油的食物, 主要有油脂产品、乳制品、肉类制品、焙烤食品等, 其中食用油以及乳粉等乳制品销量较大、品质稳定且已被广泛认同, 而国内的鱼油应用食品种类还较少。

收稿日期: 2011-05-24

作者简介: 夏树华(1977—), 女, 博士, 研究方向为粮食与油脂的营养与安全。E-mail: xiashuhua@wilmar-intl.com

* 通信作者: 姜元荣(1970—), 女, 高级工程师, 博士, 研究方向为粮食与油脂开发及脂肪酸营养等。

E-mail: jiangyuanrong@wilmar-intl.com

1.1 食用油

食用油是日常大量摄取的食品, 消费群体十分广泛, 以之为载体非常有利于增加鱼油的摄入, 而且由于是连续油相, 较适宜于鱼油的应用。有实验证实, 在色拉油中的鱼油添加量为 1.5% 时, 贮存 4 个月品质良好。而卡诺拉油含鱼油不超过 15% 时, 在相同的贮存条件下与纯卡诺拉油的风味区别不大^[7-8]。

事实上, 国外已有一些商业化食用油添加了鱼油, 如日本味之素公司 2004 年上市的“每日 DHA”, 即添加了鱼油, 其中含 17mg/g DHA/EPA(600g 包装), 标示用法包括炒菜、煎炸及色拉, 可见这种产品适用于通常的家庭烹饪。中国也有类似产品, 如“添加深海鱼油调和油”, 其 DHA/EPA 含量为 4mg/g, 经计算可以达到 IOM 的权威推荐量, 并已证实烹饪稳定性及风味良好。这一产品的可贵之处在于其 DHA/EPA 达到了有效剂量, 且惠及面广, 已有超过百万的消费者受益于此, 针对性地改善中国人 DHA/EPA 摄入严重不足的情况。比产品巨大销量更具影响力的是, 它让更多的人认识到了 DHA/EPA 的健康作用。

1.2 乳制品

乳制品中的酸乳由于需冷藏, 脂肪及蛋白含量较高, 有一定风味, 且凝固型酸奶较少搅动, 氧含量较低, 因而成为鱼油的良好载体。研究还发现乳蛋白发酵过程中产生的一些肽可能具有抗氧化作用。相同条件下鱼油酸乳的稳定性远好于鱼油牛乳^[9-10], 且酸乳中 DHA/EPA 的吸收快于牛乳及鱼油胶囊^[5]。酸乳中鱼油的添加量可达 2%, 其风味、凝固效果、乳酸菌生长及营养附加值能实现较好的平衡^[11]。

与酸乳相比, 以乳粉为基料的粉冲剂、高甜度或浓郁风味的固体高脂乳制品(如奶酪、涂抹奶油等)和液态乳中的鱼油添加量依次下降, 有报道称分别可加 1.5%^[7]、1%^[12]和 0.5%^[13], 这主要与乳固体(尤其是乳脂)含量有关。婴儿配方乳粉需强化 DHA 已成为广泛共识, 其中明治及雀巢等品牌均添加了鱼油。

1.3 其他食品

除食用油和乳制品外, 鸡蛋是另一种广泛意义上的鱼油应用食品, 也是第一个市场化的 *n-3* PUFA 强化食品, 是通过在鸡饲料中添加鱼粉或鱼油而实现的。目前也可通过加工制成富含 *n-3* PUFA 的蛋制品, 其颜色、质构(硬度、弹性、胶凝性、咀嚼性等)都相似^[14]。在国外, 面包是被大多数人大量食用的食品, 富含鱼油的白面包在丹麦自 1990 年上市畅销至今, 其中 *n-3* PUFA 的含量为 40~55mg/100g^[15]。能量棒和香肠中也常添加鱼油, 一般在混合物料工序的最后加入, 添加比例约 1%~5%, 多以鱼油乳状液形式添加, 已证实烘烤中的加热过程对氧化无明显影响^[16-17]。

2 鱼油应用于食品中需解决的问题

虽然已有众多成功的鱼油应用食品上市, 但应该认识到影响鱼油应用食品品质的因素有很多, 包括鱼油的初始质量、加工工艺和产品贮存温度等。而由于其本身的一些特质以及食品体系的复杂, 鱼油添加于食品中时需解决的主要问题如表 1 所示。

表 1 鱼油添加于食品中需解决的问题

Table 1 Critical problems that need to be solved for the application of fish oil in foods

存在问题及影响	原因	难点
过氧化物及分解, 产物影响最终产品的商业和营养价值	<i>n-3</i> PUFA 高度不饱和, 对食品加工过程中氧气、光照、温度和过渡金属离子敏感	在食品体系中, 氧化涉及空气、水相、油相和固体颗粒, 与油相比, 连续相鱼油氧化机制更为复杂
滋气味和消费者接受度	鱼腥味	特征风味, 随氧化加深
相分散不均, 难以融合	液体油相	食品中水相及固相成分居多

3 鱼油应用形式及工艺

针对以上问题, 可以通过选择合适的鱼油添加形式和工艺加以解决, 以保证产品的氧化稳定性、风味和鱼油分布均匀性。通常有 3 种形式可供选择: 纯鱼油、乳状液及微胶囊, 分别介绍如下。

3.1 纯鱼油

以纯鱼油直接添加的方式在食品中应用并不是很广, 适合一些面包、纯油基产品(如植物油)等对均匀分散的要求不高的产品, 但对原料品质、氧化稳定性、风味等的要求较高。

3.1.1 原料品质

鱼油品质的优劣决定着其价值和应用。高品质的鱼油, 不仅要求其理化指标如酸价、颜色、过氧化值等满足特定范围, 更重要的是严格控制其中污染物如二噁英、类二噁英等多氯联苯(PCBs)、重金属等的含量。如有研究^[6]对鱼油指标进行如下控制: 二噁英含量 < 0.4pg/kg、有机氯杀虫剂(DDT)含量 < 18μg/L、PCBs 含量 < 4.5μg/L 及重金属含量 < 5μg/L, 添加到面包中食用后可以有效降低高血脂^[6]。

3.1.2 氧化稳定性

鱼油极易氧化, 如何提高其稳定性面临挑战。维持鱼油稳定性的常用的方法有避光、避热、低温、真空或充氮贮存等, 而添加抗氧化剂会更有效, 可以达到有效螯合金属离子、清除氧自由基等目的。目前常见的处理方法是将生育酚、卵磷脂、茶多酚等抗氧化剂添加到鱼油中或将鱼油加入到含有大量抗氧化剂的植物油中^[7]。另外, 在调配鱼油调和油时加入含有大量 VE 的麦胚油也可以显著提高其稳定性^[18]。

3.1.3 风味

鱼油在贮存和使用过程中极易被氧化,产生具有挥发性的低级羰基化合物和胺类化合物,这些化合物具有刺鼻味、酸臭味、鱼腥味、青草味、金属味或油漆味等异味。因此,为改善其风味,除了控制原料鱼油品质、提高稳定性,还可以将鱼油添加到风味浓的食品中,不仅能稀释鱼油而且还可以掩盖鱼腥味。如将鱼油添加到紫苏油、花生油、芝麻油等风味油中,可以有效改善其风味^[18-19]。

3.2 乳状液

乳状液形式可使鱼油均匀分散于水相食品体系中,其中O/W(水包油)型鱼油乳状液比W/O(油包水)型在食品体系中应用得更为广泛。有多种因素会影响鱼油乳状液的稳定。比如鱼油乳状液中的DHA在界面区域会采用高度保护构型对抗自由基和金属离子的氧化进攻,甚至比 α -亚麻酸(ALA)更稳定,而在油滴内部情况则正好相反^[20]。

3.2.1 乳化剂及抗氧化剂的影响

乳化剂会影响乳状液的黏度、界面电荷和pH值等,进而影响鱼油乳状液的稳定。乳化剂可降低油滴迁移率,减缓氧化的扩散。乳化剂如能使油滴表面带正电荷,就会排斥带正电的金属离子,减少氧化。乳化剂还能影响抗氧化剂的作用效果。抗氧化剂在鱼油乳状液中起作用的机制遵从“极性反常”(polar paradox)理论,如极性较强的抗坏血酸和水溶性VE在非极性体系中的抗氧化效果比相对应的极性较弱的抗坏血酸棕榈酸酯和生育酚更好^[21-22]。

3.2.2 工艺条件的影响

乳化过程一般需要经过均质工艺,均质压力和温度都会对稳定性产生影响。其中温度对鱼油乳状液氧化稳定性的影响比较复杂。温度会影响鱼油-水界面的实际组成,一般认为较高的温度会加速氧化,但在一定范围内升高均质温度可以改变蛋白质构型,如使 β -乳球蛋白中部分含有巯基(有一定抗氧化性)的氨基酸暴露出来,有利于保持氧化稳定^[23]。

另有一种双层乳化技术(W/O/W),除将鱼油进行乳化保护之外,还可将Fe³⁺等氧化诱因包在内层水相中,与鱼油隔绝开来,使油滴保持稳定^[24]。其中制备温度、溶剂去除率、油相与内部水相的体积比、聚合物浓度、连续水相的添加速度等都是关键点。

3.3 微胶囊

鱼油微胶囊是指以鱼油为芯材,采用壁材通过特定的工艺将鱼油包埋后制成的粉末状鱼油产品。这样鱼油可与外界环境隔开,能够延缓氧化,又可掩饰鱼腥味,分散性也有很大提高,为鱼油食品生产提供了取用方便、性质稳定的优质原料^[25]。衡量鱼油微胶囊的指标主要有包埋效率、载油量、产率、微粒形态、粒径分布、粉末流动性等,特别指出的是感官风味的判定比通过气相测定的挥发性产物更灵敏。

3.3.1 壁材

壁材的选择是影响微胶囊特性的关键。传统壁材分为胶类(瓜尔豆胶、阿拉伯胶等)、脂类、蛋白类(明胶、乳蛋白、大豆蛋白等)、糖类(淀粉等)及其衍生物等。不同组分通常可起到乳化剂、乳化稳定剂及抗氧化剂的作用,加强成膜性和微胶囊的致密性,实际上常结合使用并考虑商业价格。

除传统壁材外,鱼油的易氧化性使抗氧化型壁材倍受青睐。蛋白与多糖加入谷氨酰胺转氨酶,进行共价交联,其美拉德反应产物作为壁材具有一定的抗氧化性能,且不易被酸性及有机溶剂破坏,另外由于是在食品加工和贮存过程中自身产生的,可认为是天然的。使用这种壁材时通过抽滤或低温烘干即可得到产品,无需经喷雾干燥,对鱼油有保护作用。Gan等^[26]用大豆浓缩蛋白、核糖和MTGase为壁材,可制备出质量分数50%~60%鱼油微胶囊,其气体渗透速率低,货架期较长。

3.3.2 工艺

制备微胶囊的传统工艺主要是乳化及喷雾干燥。在制备过程中需选择合适的壁芯比及浓度,在保证包埋效果的前提下兼顾经济性。也要注意某些微胶囊粒径越大,包入的空气有可能就越多,就越不稳定^[27]。对于鱼油微胶囊还可通过添加风味遮蔽物质(如 β -环糊精)或香精(如香草或苹果味)来改善其风味^[28]。

随着市场需求的提高,一些新型鱼油微胶囊加工技术不断涌现。如用微射流技术结合超声制成亚微乳,可得纳米胶囊^[29];复合凝聚法通过两种带有相反电荷的高分子电解质之间发生的相互作用,形成一种具有特殊性质的复合凝聚物,可得球形多核微胶囊,有利于在高温高湿环境中发挥优异的缓释性能^[30];另有喷雾冷却法,与喷雾干燥法产品相比,该法制备的微胶囊鱼油具有热稳定性、流动性好和可破碎的特性^[31]。

3.4 3种鱼油添加形式的比较

3种鱼油添加形式有各自适合的应用范围及优缺点,基本可以满足不同食品体系的应用需求,获得具有营养价值且稳定的产品,概要比较如表2所示。

表2 不同鱼油添加形式的优缺点比较
Table 2 Comparison of addition styles for fish oil in foods

比较项目	添加形式		
	纯鱼油	乳状液	微胶囊
应用范围	夹心软糖、酸乳、沙拉酱、植物油等 ^[7]	牛乳、饮料等液体或固体食品	乳粉等大部分液体或固体食品
优点	添加前未受破坏,透明度好	液态,易分散,有效氧防止化, DHA/EPA短期生物利用率高 ^[9]	物理及氧化稳定性最好,易分散, DHA/EPA短期生物利用率高
缺点	水相中不易均匀分散,易氧化	加工过程本身会对鱼油造成一定影响,同时增加成本	

4 结 语

将鱼油加入到日常食品中不仅提升了普通食品的营养价值,也为以后的功能性食品发展提供一个全新的思路或方向,这也许是增加 *n*-3 PUFA 摄入量的最好方式,并使更多人真正认识到其益处。

富含鱼油的食物产品目前种类还不多,其 *n*-3 PUFA 含量差别很大且售价较贵。食品加工企业可以做出更大的努力使这类食品朝着方便化、营养化和功能化方向发展,更加物美价廉,以鼓励更多的人尤其是心血管疾病的高危人群食用。

目前的食品加工技术已经可以生产出某些种类稳定而富于营养的鱼油应用食品,鉴于这类食品具有广阔的市场前景,并考虑到食品基质的多样性,其应用技术还有很大的发展空间。

参 考 文 献:

- [1] 中国粮油学会. 鉴字[2010]第1号: 金龙鱼深海鱼油调和油[Z]. 2010-05-09.
- [2] TRONSDEN T, SCHOLDERER J, LUND E, et al. Perceived barriers to consumption of fish among Norwegian women[J]. *Appetite*, 2003, 41(3): 301-314.
- [3] VERBEKE W, VACKIER I. Individual determinants of fish consumption: application of the theory of planned behavior[J]. *Appetite*, 2005, 44(1): 67-82.
- [4] CARRERO J J, BARO L, FONOLLA J, et al. Cardiovascular effects of milk enriched with omega-3 polyunsaturated fatty acids, oleic acid, folic acid, and vitamins E and B₆ in volunteers with mild hyperlipidemia[J]. *Nutrition*, 2004, 20(6): 521-527.
- [5] BARROW C J, NOLAN C, HOLU B J. Bioequivalence of encapsulated and microencapsulated fish-oil supplementation[J]. *Journal of Functional Foods*, 2009, 1(1): 38-43.
- [6] LIU M, WALLIN R, SALDEEN T. Effect of bread containing stable fish oil on plasma phospholipid fatty acids, triglycerides, HDL-cholesterol, and malondialdehyde in subjects with hyperlipidemia[J]. *Nutrition Research*, 2001, 21(11): 1403-1410.
- [7] WOJCIECH K, FRANCISZEK S, STANISLAW B. Possibilities of fish oil application for food products enrichment with ω -3 PUFA[J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 1999, 50(1): 39-49.
- [8] DEIRDRE N E, DAVID O B. Oxidative stability and acceptability of camelina oil blended with selected fish oils[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2010, 112(8): 878-886.
- [9] LET M B, JACOBSEN C, MEYER A S. Lipid oxidation in milk, yoghurt, and salad dressing enriched with neat fish oil or pre-emulsified fish oil[J]. *Journal of Agricultural and Food Chem*, 2007, 55(19): 7802-7809.
- [10] FARVIN S K H, BARON C P, NIELSEN N S. Antioxidant activity of yoghurt peptides: part 1-*in vitro* assays and evaluation in ω -3 enriched milk[J]. *Food Chemistry*, 2010, 123(4): 1081-1089.
- [11] 刘桂芹. 深海鱼油保健酸奶的工艺研究[J]. *食品科技*, 2010, 35(2): 84-88.
- [12] KOLANOWSKIA W, WEIXBRODT J. Sensory quality of dairy products fortified with fish oil[J]. *International Dairy Journal*, 2007, 17(10): 1248-1253.
- [13] LET M B, JACOBSEN C, MEYER A S. Sensory stability and oxidation of fish oil enriched milk is affected by milk storage temperature and oil quality[J]. *International Dairy Journal*, 2005, 15(2): 173-182.
- [14] KASSIS N, DRAKE S R, BEAMER S K, et al. Development of nutraceutical egg products with omega-3-rich oils[J]. *Food Science and Technology*, 2010, 43(5): 777-783.
- [15] NIELSEN H. *n*-3 Polyunsaturated fish fatty acids in a fish-oil-supplemented bread[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1992, 59(4): 559-562.
- [16] HORN A F, NIELSEN N S, JACOBSEN C. Additions of caffeic acid, ascorbyl palmitate or α -tocopherol to fish oil-enriched energy bars affect lipid oxidation differently[J]. *Food Chemistry*, 2009, 112(2): 412-420.
- [17] CACERES E, GARCIA M L, SELGAS M D. Effect of pre-emulsified fish oil - as source of PUFA *n*-3 - on microstructure and sensory properties of mortadella, a Spanish bologna-type sausage[J]. *Meat Science*, 2008, 80(2): 183-193.
- [18] 张国浩, 吴泽君. 一种含 ω (omega)-3 多不饱和脂肪酸的营养均衡调和油及其生产方法: 中国, 101124928[P]. 2008-02-20.
- [19] 谢黔岭, 杨波涛, 王勇. 含有二十二碳六烯酸的食用调和油: 中国, 101088349[P]. 2007-12-19.
- [20] GOKI A, NAOKO K, MASASHI H, et al. Effect of droplet size on the oxidative stability of soybean oil TAG and fish oil TAG in oil-in-water emulsion[J]. *Journal of Oleo Science*, 2009, 58(6): 329-338.
- [21] FRANKEL E N, HUANG S W, KANNER J, et al. Interfacial phenomena in the evaluation of antioxidants: bulk oils vs emulsions[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1994, 42(5): 1054-1059.
- [22] HUANG S W, HOPIA A, SCHWARZ K, et al. Antioxidant activity of α -tocopherol and trolox in different lipid substrates: bulk oils vs oil-in-water emulsions[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1996, 44(2): 444-452.
- [23] LET M B, JACOBSEN C, SØRENSEN A D, et al. Homogenization conditions affect the oxidative stability of fish oil enriched milk emulsions: lipid oxidation[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(5): 1773-1780.
- [24] CHOI S J, DECKER E A, MCCLEMENTS D J. Impact of iron encapsulation within the interior aqueous phase of water-in-oil-in-water emulsions on lipid oxidation[J]. *Food Chemistry*, 2009, 116(1): 271-276.
- [25] 项惠丹. 抗氧化微胶囊壁材的制备及其在微胶囊化鱼油中的应用[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [26] GAN C Y, CHENG L H, EASA A M. Evaluation of microbial transglutaminase and ribose cross-linked soy protein isolate-based microcapsules containing fish oil[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2008, 9(4): 563-569.
- [27] SERFERT Y, DRUSCH S, SCHMIDT-HANSBERG B. Process engineering parameters and type of *n*-octenylsuccinate-derivatised starch affect oxidative stability of microencapsulated long chain polyunsaturated fatty acids[J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 95(3): 386-392.
- [28] SERFERT Y, DRUSCH S, SCHWARZ K. Sensory odour profiling and lipid oxidation status of fish oil and microencapsulated fish oil[J]. *Food Chemistry*, 2010, 123(4): 968-975.
- [29] JAFARI S M, ASSADPOOR E, BHANDARI B, et al. Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying[J]. *Food Research International*, 2008, 41(2): 172-183.
- [30] 路宏波, 张冲, 冯岩, 等. 复合凝聚法制备鱼油微胶囊技术的研究[J]. *食品工业科技*, 2008, 29(6): 120-123.
- [31] KATRIN H, KNUT F. Using freezing and drying techniques of emulsions for the microencapsulation of fish oil to improve oxidation stability[J]. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 1999, 12(3): 223-229.