

微藻 DHA 的营养保健功能及在食品工业中的应用

温雪馨¹, 李建平¹, 侯文伟², 彭晓芳¹, 马金余³

(1. 广东润科生物工程有限公司, 广东 广州 510613; 2. 润科生物工程(福建)有限公司, 福建 漳州 363500; 3. 香港大学生物科学学院, 香港)

摘要: DHA 是婴幼儿的成长因子, 也是成年人不可缺少的保健元素。由于人体不能自身合成 DHA, 且在日常膳食中摄入量不足, 因此需要额外服用 DHA 补充产品。本文在综合中国人饮食习惯和国际权威机构 DHA 相关推荐摄入量的基础上, 得出我国不同人群的 DHA 推荐摄入量标准。与鱼油 DHA 相比, 微藻 DHA 不含鱼腥味、DHA 与 EPA 含量配比适当、不存在海洋污染和破坏生态平衡的问题, 是一种天然、安全、环保的功能性食品添加剂。微藻 DHA 在国外已有广泛的认知及应用, 在国内的保健品行业和食品行业中的食用油、液态奶领域日益受到业内人士的关注, 其在应用过程中的技术问题也具有积极的研究意义。微藻 DHA 作为一种新型的功能性食品添加剂, 将成为保健品和食品行业产品未来发展的趋势。

关键词: 微藻 DHA; DHA 来源; 推荐摄入量; 食品添加剂

Microalgal Docosahexaenoic Acid: A New Functional Food Additive

WEN Xue-xin¹, LI Jian-ping¹, HOU Wen-wei², PENG Xiao-fang¹, MA Jin-yu³

(1. Guangdong Runke Biological Engineering Co. Ltd., Guangzhou 510613, China; 2. Runke Biological Engineering (Fujian) Co. Ltd., Zhangzhou 363500, China; 3. School of Biological Sciences, The University of Hongkong, Hongkong, China)

Abstract: Docosahexaenoic acid (DHA) is a necessary element during the growth of infants and children, and also a necessary supplement benefiting for the health of adults. Because DHA cannot be synthesized in human body and daily intake from dietary sources is insufficient, it is essential to consume special DHA supplemental products. Based on diet habits of Chinese people and recommendations for Dietary Reference Intake (DRI) of DHA from international authorities, DRI of DHA for Chinese people is suggested in this paper. As a natural, safe, environment-friendly functional food additive, microalgal DHA has drawn extensive attention and been applied widely in some countries. Meanwhile, it will be developed as a popular healthcare product and applied in food industry in China. However, technical problems in the application of microalgal DHA still need to be further investigated. As a new functional food additive, microalgal DHA will become a development trend of healthcare and food industries.

Key words: microalgal DHA; DHA resource; DRI; food additive

中图分类号: TS218

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2010)21-0446-05

1 DHA 的概述

1.1 DHA 的功效

DHA(docosahexaenoic acid), 又称二十二碳六烯酸, 属 ω -3 系列长链多不饱和脂肪酸。国内外的众多研究已证明 DHA 在多方面都具有优越的生理调节功能。DHA 是婴幼儿生长发育过程中不可缺少的成长因子。1) DHA 为大脑皮层及视网膜的重要成分, 能促进婴幼儿

脑部及视力的发育。2002 年美国《临床营养学杂志》报道, 婴儿在进食强化 DHA 的食品 52 周后, 视觉灵敏度明显提高^[1]; 2) DHA 能调节中枢神经系统, 有助于婴幼儿的生长发育。英国著名医学杂志《柳叶刀》研究指出, DHA 对婴幼儿神经细胞发育非常重要, 摄入 DHA 不足会导致学习能力下降^[2-3]。孕妇补充 DHA 也是非常必要的, 由于胎儿自身并不能合成 DHA, 必须通

收稿日期: 2010-06-10

作者简介: 温雪馨(1984—), 女, 硕士, 研究方向为食品加工与保藏。E-mail: dsaisy.wen27@gmail.com

过胎盘从母体中获得。DHA 与胎儿的体格发育有关, Smuts 等^[4]发现, 随着怀孕末期 DHA 摄入量的增加, 新生儿出生体质量、身长和头围也有所增长。若摄入 DHA 不足, 可导致胎儿脑细胞生长与发育不正常, 产生弱智; DHA 严重缺乏时可能影响胎儿中枢神经系统, 导致无法正常代谢^[5-6]。

DHA 对婴幼儿的功效在国内已被广大消费者接受和认同。另外, DHA 也是成年人的保健元素并具有如下功能: 1) 降血脂、血压和胆固醇, 预防动脉硬化。澳大利亚科学家 Mori 等^[7]发现 DHA 有降血压、调节人体内血脂和脂蛋白的正常代谢的功效, 并能降低血液黏稠度和血液中胆固醇水平。2) 减少血栓形成, 预防冠心病。日本科学家临床实验证明, 每天进食 DHA 能有效降低心脏病患者猝死的几率^[8]。3) 预防老年痴呆^[9-10]。4) 保护视网膜, 改善视力^[11]。5) 抗癌、抑制肿瘤。瑞典科学家研究发现, DHA 及其衍生物在机体中能够杀死神经母细胞瘤癌细胞, 这或许为多种癌症如神经母细胞瘤、髓母细胞瘤、结肠癌、乳腺癌和前列腺癌等提供新的治疗方法^[12]; 6) 防治糖尿病。Popp-Snijders 等^[13]发现 DHA 可在缺乏胰岛素的情况下有效提高组织对糖的吸收和代谢的效率; 7) 抗炎症。DHA 对气管炎、风湿性关节炎、哮喘等均有疗效^[14-15]; 8) 延缓衰老等^[16]。由此可见, DHA 对不同人群都具有积极的保健功能。

1.2 DHA 的来源

1.2.1 体内转化

人体不能自身合成 DHA, 但可由摄食亚麻酸转化而成。DHA 的体内来源是前体脂肪酸 - 亚麻酸(ALA), - 亚麻酸进入人体后, 经碳链增长和去饱和酶的作用, 衍生为 DHA, 由于转化涉及 3 种酶的代谢过程, 因此转化效率较低^[17]。

1.2.2 食物补充

表 1 主要海产品的 DHA 含量(生鱼)
Table 1 Content of DHA in selected fish (raw)

鱼类	马鲛鱼	三文鱼	马哈鱼	鲑鱼	黄鳍金枪鱼 ^a	鳕鱼
DHA 含量/(mg/100g)	1400	1100~1110	660~820	520	157	120

注: a. 参考文献[18]; 其他数据参考文献为[19]。

表 2 常见食品中 DHA 含量
Table 2 Content of DHA in daily foods

食品	鸡肝	鸡蛋 ^b (mg/个)	鸡肉	牛奶	牛油	瘦猪肉	瘦牛肉	瘦羊肉
DHA 含量/(mg/100g)	70	20	0.02	0	0	0	0	0

注: a. 参考文献[20]; b. 参考文献[21]; 其他数据参考文献为[22]。

DHA 广泛存在于海产品中, 可通过进食海产品获得 DHA, 富含 DHA 海洋鱼类的 DHA 含量可参考表 1^[18-19]。

动物肝脏和蛋黄也含少量 DHA。对于一些常见的肉类, 如牛和猪的脂肪是一种饱和脂肪酸, 不含 DHA。谷物、薯类、淀粉、植物油、人造奶油、黄油、豆类、牛奶、蔬菜、水果等也几乎都不含 DHA, 见表 2^[20-22]。

1.2.3 专门的 DHA 补充产品

市场上的 DHA 补充产品分为两类, 一种是 DHA 保健品, 另一种是添加有 DHA 的功能性食品。在保健品方面, 主要以软胶囊为主, 鲜见有片剂的产品。DHA 功能性食品品种丰富多样, 在液态奶、食用油、烘焙食品、肉制品等都有添加。

DHA 产品主要来源有鱼油和微藻油。鱼油 DHA 主要从金枪鱼和鲑等大型鱼的头部和眼窝脂肪中提取, DHA 含量在 12% 左右; 为了提高含量, 经过浓缩处理后, 鱼油 DHA 含量可达 20% 以上, 但 DHA 以生物利用度较低的乙酯型存在。而微藻 DHA 是通过生物技术规模化培养富含 DHA 的海洋微藻, 继而从微藻油中提炼而成, DHA 含量可达 35% 以上, 以天然的甘油三酯型存在, 生物利用度高。

1.3 DHA 的推荐补充量

关于 DHA 的每日推荐摄入量, 目前国际上并无明确的官方指引, 不同机构对 DHA 推荐摄入量的规定也有所区别, 主要有 4 种表述形式。以成人的 DHA 每日摄入量为例: 1) 每日能量消耗量的百分比形式。美国国家卫生院(NIH)规定成人的 DHA 摄入量约相当于每日总能量的 0.1%, 以 2000 kcal 计算为 220mg/d^[23]。2) 脂肪酸形式。荷兰健康委员会(DHC)推荐成人 DHA 摄入量为 450mg/d 的 -3 脂肪酸^[18]。3) 具体摄入量形式。法国食品卫生安全局规定成人 DHA 摄入量最少为 120mg/d^[18]。4) DHA+EPA 形式。世界卫生组织(WHO)推荐成人 DHA + EPA 摄入量为 500mg/d^[24]。

对于健康的成年人来说, DHA 在人体内的转化率极低, 研究指出体内亚麻酸向 DHA 的转化率少于 0.5%^[25-26]。而在日常膳食中, 一般的肉类和蔬果都不含 DHA, 虽然动物肝脏和蛋黄中含有少量 DHA, 但不能满足 DHA 日常摄入量的需要, 因此 DHA 主要通过食用深海鱼类来补充。但由于地理环境和饮食习惯的差异, 绝大部分中国居民食用深海鱼类产品的频率较低, 即使是沿海地区居民也难以保证每天食用一定量的新鲜海鱼。发达国家 DHA 摄入量均维持在较高的水平, 如澳大利亚 2009 年成人的 DHA 每日摄入量为 200mg/d^[27]。而我国居民的 DHA 每日摄入量的水平较低。据中国疾病预防控制中心营养与食品安全所 2002 年对我国成人膳食脂肪酸摄入量的调查指出, 我国城市居民的 DHA 摄入量为 22.1mg/d, 农村居民为 6.0mg/d^[28]。另外, 2004 年中国疾病预防控制中心营养与食品安全所和伦敦城市大学对我国不同水产品消费地区(淡水产品消费量较高、海产品消费量较

高和水产品消费量很低的城市)孕妇的脂肪酸摄入量进行调查,发现3个地区孕妇的DHA摄入量均值为11.83~55.30mg/d,其摄入量远低于国外人群^[29]。因此,除婴幼儿外,成年人、孕妇或哺乳期妇女都应该通过专门的DHA产品来补充。

根据中国人膳食结构和习惯,并综合参考国际权威机构的DHA相关推荐摄入量,建议中国不同人群的DHA推荐摄入量为:成人220mg/d,孕妇和哺乳期妇女300mg/d,婴幼儿100mg/d,儿童、青少年160~200mg/d。不同的人群应根据饮食习惯和自身的需要量及时补充DHA。

2 鱼油 DHA 与微藻 DHA

目前,市场上的DHA产品主要来源于鱼油和海洋微藻。两种来源的DHA产品对比信息如下:

2.1 鱼腥味

鱼油DHA因含有三甲胺,有较重的鱼腥味,从而影响了产品的应用。而微藻DHA不含鱼腥味,具有较好的感官品质,特别适合于对口味敏感的婴幼儿人群。另外,由于微藻DHA不存在鱼腥味,在作为食品营养强化剂添加到食品中时,不会对原食品载体的风味产生不良的影响。

2.2 DHA 和 EPA 含量

鱼油含有较高二十碳五烯酸(EPA),EPA可以置换细胞膜中的花生四烯酸(ARA),降低婴幼儿对花生四烯酸的吸收量,从而阻碍新生儿的生长发育。同时,目前没有数据和实验证明在婴幼儿大脑和视觉系统的发育过程中需要EPA或需要积累大量EPA^[30]。FAO/WHO专家委员会报告指出,为避免鱼油中EPA对婴幼儿生长发育造成的副作用,添加于奶粉中的鱼油,其DHA:EPA的比例最低应为10:1。另外,血小板少或凝血机制有问题的有出血倾向的人及患自身免疫疾患的患者必须慎用含有EPA的产品^[31]。而微藻DHA是利用分离筛选得出富含DHA的纯藻种,通过培养抽提精练得出的,DHA:EPA的含量比远大于10:1,不会对新生儿生长起阻滞作用,适合不同人群长期服用。

2.3 污染问题

鱼油从海鱼中提取,鱼类存在潜在的污染问题,包括致癌物质和非致癌物质。致癌物质包括有机污染物如滴滴涕、六六六、七氯(杀虫剂)、多氯化联苯(PCB)、二恶英等。非致癌物质包括汞等重金属元素。如常用作补充-3不饱和脂肪酸来源的吞拿鱼和三文鱼,最容易积累这些毒素。2002年英国环境科学杂志《光化层》的研究报告指出,从15个国家随机收集的44种不同品牌的鱼油中,全部含有显著量的持续性有机氯污染物,同时还含有显著量的二恶英和毒杀芬等有机污染物^[32]。

5岁以下的儿童如经常性食用海鱼和鱼油,将很容易超过世界卫生组织(WHO)所规定的最高有机污染物摄入量^[33]。即使是微量污染物,胎儿正在发育的神经系统对其都是非常敏感的,而成人长期摄入这些污染物在体内积累也会产生危害。有机污染物可干扰人体内分泌系统、损害神经系统、影响成年人的生育能力以及诱发和促进癌细胞的生长。在哺乳期妇女,体内积累的有机污染物会全部转移到母乳当中,婴儿通过母乳100%吸收^[34]。孕妇食用受重金属污染的鱼会导致流产,婴幼儿食用则会导致身体缺陷。同时,这些污染物在体内的半衰期很长,如PCB在血液中的半衰期为4到12个月,汞的半衰期为70~90d^[35]。因此,应避免从鱼类或鱼油产品中摄入污染物,特别是儿童和孕妇这些人群^[36]。

微藻DHA是从海洋藻类筛选纯化得出优质的藻种,利用生物工程技术于不含污染物且可食用的营养液中进行规模化培养,能有效避免外界污染的机会,是纯天然、安全的植物性DHA。

2.4 生态可持续发展

由于鱼油DHA从深海鱼类中提取,过度的捕杀使全球鱼类数量大量下降,濒临绝种,影响海洋生物的多样化和沿海地区的气候。同时,生物多样性的降低也造成沿岸生态系统的破坏,并直接影响到人类的生活。生态系统的破坏导致海洋植物的过滤和解毒作用减弱,海洋水质降低,藻类过度增殖,从而使沿岸地区洪水频发,降低地区生态系统对人类的承载能力。随着人口的增长,人们对DHA的需求量日益增大,长期开发鱼油DHA产品势必会破坏生态环境,影响生态平衡与人类生活环境。

微藻DHA属于植物来源,微藻处于食物链的较低层级,不会对生态造成巨大影响。另外,目前微藻DHA主要是通过生物工程技术进行大规模培养,不会破坏生态系统,不影响生态可持续发展。

3 微藻 DHA 的应用

3.1 保健品行业

微藻DHA作为保健品,在国内外市场上已有较高的认知度,并主要以软胶囊产品为主。市场上的DHA软胶囊一般含量在100mg~200mg DHA/粒。也有分别针对婴幼儿、孕妇等特殊人群,推出的不同DHA含量的软胶囊产品,以适应不同人群的需要。在软胶囊中,微藻DHA是以油剂形式存在。DHA粉剂可设计成硬囊、冲剂等其他形式的保健品,目前,也已有相关产品在市场上出现。

3.2 食品行业

在国外市场,微藻DHA在食品行业的应用比较成熟,已被添加于多种不同的食品基质中。其中在婴幼

儿配方产品中使用最为广泛, DHA 通常与 ARA 配合应用。由于 EPA 会阻碍婴幼儿的发育, FAO/WHO 专家建议使用微藻 DHA 作为奶粉或代乳品中 DHA 的来源。国际各大婴幼儿配方产品公司都积极将微藻 DHA 应用到自己的产品中(例如婴幼儿配方奶粉、米粉、果泥、麦片、代乳品等)。其次, 微藻 DHA 在食用油中的应用也较普遍, 特别是在保健食用油中(将微藻 DHA 添加到高端食用油中), 供人们直接口服以补足每日所需 DHA。例如, 美国的 Now 牌保健食用油, 其基础油为亚麻油和玻璃苜油, 每汤匙(15mL)含有 100mg DHA。Flora、Health from the sun 等品牌也有类似产品。同时, 将微藻 DHA 添加到普通食用油(供烹调使用)也成为一种新的应用趋势。美国 Pompeian 公司最近推出了添加有微藻 DHA 的食用调和油 “Olivextra plus DHA” (32mg/15mL)。另外, 微藻 DHA 也被添加到饮料当中, 包括乳酸饮料、豆奶和果汁等。其他应用微藻 DHA 的食品还有芝士、黄油、面包、香肠、果酱、软糖、膨化饼干等。

在国内, 微藻 DHA 主要应用于婴幼儿配方食品, 如婴幼儿奶粉、米粉和蔬果泥等。而在其他食品领域, 微藻 DHA 产品也陆续在市场上渐露头角。在食用油方面, 中粮集团已推出了“福临门 DHA 谷物多食用植物性调和油”, 引领国内市场上 DHA 食用油的发展潮流。在液态奶、儿童冲剂和软糖方面, 也有相关的产品。微藻 DHA 在国内食品行业的应用高潮即将来临。

3.3 应用中的技术问题

首先, 微藻 DHA 作为一种新型功能性添加剂, 其在食品行业实际应用的可行性值得研究, 即加工稳定性, 对产品感官品质和保质期的影响等因素。例如, 将微藻 DHA 添加于食用油中, 研究对其感官品质和货架期的影响, 以及微藻 DHA 在烹调过程中的热稳定性^[37]。深入考察这些因素都将有助于推动微藻 DHA 的广泛应用。

另外, 添加剂的剂型也应根据具体情况加以选择。目前, 微藻 DHA 以油剂和粉剂两种剂型为主。在实际应用中, 应根据不同食品材质的特性, 选择相应的微藻 DHA 剂型。例如, 在婴幼儿配方食品中, 以奶粉、米粉等产品, 一般采用微藻 DHA 粉剂进行添加; 而在食用油中, 微藻 DHA 油剂则更为适合。同时, 加工工艺应简单方便, 尽量在食品生产过程的最后阶段加入, 避免高温长时间加热或与空气接触, 降低微藻 DHA 的损失率。

4 微藻 DHA 前景及展望

DHA 对不同年龄阶段的人群都有着积极的保健功效。由于 DHA 在人体内的自身合成(转化)率极低, 需

要额外补充。相对于鱼油 DHA, 微藻 DHA 不含鱼腥味、DHA 与 EPA 含量配比适当、无海洋污染不破坏生态环境, 因而有着更为广阔的市场应用前景。微藻 DHA 功能性食品在推动人类健康的同时也带来理想的经济效益和社会效益, 是保健品和食品行业未来的发展趋势。

参考文献:

- [1] BIRCH E E, HOFFMAN D R, UAUY R, et al. Visual acuity and the essentiality of docosahexaenoic acid and arachidonic acid in the diet of term infants[J]. Paediatric Research, 1998, 44: 201-209.
- [2] MAKRIDES M, NEUMANN M, SIMMER K, et al. Are long-chain polyunsaturated fatty acids essential nutrients in infancy[J]. Lancet, 1995, 345: 1463-1468.
- [3] WILLATTS P, FORSYTH J S, DIMODUGNO M K, et al. Effect of long chain polyunsaturated fatty acids in infant formula on problem solving at 10 months of age[J]. Lancet, 1998, 352: 688-691.
- [4] SMUTS C M, HUANG M, MUNDY D, et al. A randomized trial of docosahexaenoic acid supplementation during the third trimester of pregnancy[J]. Obstet Gynecol, 2003, 101(3): 469-479.
- [5] 王利华, 霍贵成. -3 不饱和脂肪酸的生物学作用[J]. 东北农业大学学报, 2001, 32(1): 100-104.
- [6] FORSYTH J S, CARLSON S. Long-chain polyunsaturated fatty acids in infant nutrition: effects on infant development[J]. Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care, 2001(4): 123-126.
- [7] MORIT A, BAOD Q, BURKE V, et al. Docosahexaenoic acid but not eicosapentaenoic acid lowers ambulatory blood pressure and heart rate in humans[J]. Hypertension, 1999, 34: 253-260.
- [8] SISCOVICK D S. Dietary intake and cell-membrane levels of long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids and the risk of primary cardiac-arrest[J]. Journal of the American Medical Association, 1995, 274(17): 1363-1367.
- [9] 张春艳. DHA和EPA的生理作用及开发利用研究进展[J]. 柳州师专学报, 2005, 20(3): 118-121.
- [10] MORLEY R. Nutrition and cognition development[J]. Nutrition, 1998, 14(10): 752-754.
- [11] GIOVANNI J P S, CHEW E Y. The role of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in health and disease of the retina[J]. Progress in Retinal and Eye Research, 2005, 24(1): 87-138.
- [12] HILLARY L W, SARAH J M, JONATHAN C. DHA Exacerbates Experimentally Induced Colitis in SMAD3^{-/-} Mice[J]. FASEB Journal, 2010, 24: 728.
- [13] POPP-SNIJDERS C, SCHOUTEN J A, HEINE R J, et al. Dietary supplementation of omega-3 polyunsaturated fatty acids improves insulin sensitivity in non-insulin dependent diabetes[J]. Net J Med, 1986, 29: 74-79.
- [14] ENDRES S, GHORBANI R, KELLY V E, et al. The effect of dietary supplementation with -3 polyunsaturated acids on the synthesis of interleukin-1 and tumor necrosis factor by mononuclear cells[J]. New England Journal of Medicine, 1989, 320 (5): 265-271.
- [15] YIN H, LIU W, GOLENIIEWSKA K, et al. Dietary supplementation of -3 fatty acid-containing fish oil suppresses F2-isoprostanes but enhances inflammatory cytokine response in a mouse model of ovalbumin-induced allergic lung inflammation[J]. Free Radical Biology and Medicine, 2009, 47(5): 622-628.
- [16] KIM Y J, CHUNG H Y. Antioxidative and anti-inflammatory action of docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid in renal epithelial cells

- and macrophages[J]. *Journal of Medicinal Food*, 2007,10(2): 225-231.
- [17] 许友卿, 张海柱, 丁兆坤. 二十二碳六烯酸和二十碳五烯酸的代谢研究[J]. *水产科学*, 2007, 26(10): 580-583.
- [18] MARTIN A. *Apports nutritionnels conseilles pour la population Francaise* [M]. 3rd ed. France: Tech. & Doc Lavoisier, 2001.
- [19] 罗殷, 王锡昌, 刘源. 黄鳍金枪鱼食用品质的研究[J]. *食品科学*, 2008, 29(9): 476-480.
- [20] 王晖, 张淑华, 尹娜. 亚麻子对鸡蛋黄及鸡体内DHA含量的影响[J]. *首都医科大学学报*, 2003, 24(1): 27-29.
- [21] SANDERS T A B. DHA status of vegetarians[J]. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 2009, 81:137-141.
- [22] EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA). Scientific opinion on dietary reference values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol[J]. *EFSA Journal*, 2010, 8(3): 1461:1-107.
- [23] SIMOPOULOS A P, LEAF A, SALEM N, Jr. Workshop on the essentiality of and recommended dietary intakes for omega-6 and omega-3 fatty acids[J]. *Journal of the American College of Nutrition*, 1999, 18(5): 487-489.
- [24] World Health Organization. Interim summary of conclusion and dietary recommendations on total fat & fatty acids[R]. Geneva: WHO, 2008.
- [25] PLOURDE M, CUNNANE S C. Extremely limited synthesis of long chain polyunsaturates in adults: implications for their dietary essentiality and use as supplements[J]. *Appl Physiol Nurr Metab*, 2007, 32: 619-634.
- [26] HARRIS W S, LEMKE S L, HANSEN S N, et al. Stearidonic acid-enriched soybean oil increased the omega-3 index, an emerging cardiovascular risk marker[J]. *Lipids*, 2008, 43: 805-811.
- [27] ELMADFA I. European Nutrition and Health Report 2009 [M/OL]. *Forum of Nutrition*, 2009: 253. <http://content.karger.com/ProdukteDB/produkte.asp?Aktion=showproducts&searchWhat=books&ProduktNr=251591>.
- [28] 张坚, 孟丽萍, 姜元荣, 等. 中国成人膳食脂肪酸摄入和食品来源状况分析[J]. *营养学报*, 2009, 31(5): 421-427.
- [29] 孟丽苹, 张坚, 王以群, 等. 不同水产品消费地区孕妇脂肪酸摄入量调查[J]. *营养学报*, 2008, 30(3): 249-252.
- [30] 姜悦. 乳制品中的DHA: 微藻油还是鱼油?[J]. *食品工业科技*, 2006, 27(12): 191-192.
- [31] 森田育男. 化学と生物[M]. 日本: 科学技术振兴机构, 1983: 168.
- [32] JACOBS M N, SANTILLO D, JOHNSTON P A, et al. Organochlorine residues in fish oil dietary supplements: comparison with industrial grade oils[J]. *Chemosphere*, 1998, 37: 1709-1721.
- [33] JACOBS M, FERRARIO J, BYRNE C. Investigation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzo-p-furans, and selected coplanar biphenyls in Scottish farmed Atlantic salmon[J]. *Chemosphere*, 2002, 47: 183-191.
- [34] SOLOMON G M, WEISS P M. Chemical contaminants in breast milk: Time trends and regional variability[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2002,110: A339-A347.
- [35] CANNON D. From fish oil to microalgae oil a win-win shift for humans and our habitat[J]. *Diet and Nutrition*, 2009, 5(5): 229-303 .
- [36] MAYCOCK B J, BENFORD D J. Risk assessment of dietary exposure to methylmercury in fish in the UK[J]. *Hum Exp Toxicol*, 2007, 26: 185-190.
- [37] 邓斌, 尚刚. -3型脂肪酸-DHA在食品中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2009, 30(10): 157-159.