

N-3 系多不饱和脂肪酸 膳食参考摄入量的研究进展

陈蝶玲¹, 黄巍峰^{2,*}, 郑晓辉², 纪传炮¹, 沈倍羽¹

(1. 润科生物工程(福建)有限公司 福建漳州 363503;

2. 广东润科生物工程有限公司 广东汕头 515041)

摘要: 近年来 n-3 系多不饱和脂肪酸(N-3 Polyunsaturated Fatty Acids, n-3 PUFAs) 在提高婴幼儿认知及视力发育、增强免疫及预防精神疾病、癌症、炎症、心血管疾病(Cardiovascular Disease, CVD) 等方面的作用倍受人们的重视, n-3 PUFAs 的膳食参考摄入量也成为这些研究领域的重要关注焦点之一。为了更好地发挥 n-3 PUFAs 在促进人体营养、发育、健康以及疾病预防等方面的重要作用, 本文综述了世界上许多知名的研究机构及官方组织关于对不同人群的 n-3 PUFAs 推荐摄入量(Recommended Nutrient Intake, RNI) 及适宜摄入量(Adequate Intake, AI), 以及它们对 n-6/n-3 脂肪酸的摄入比例以及 n-3 PUFAs 的可耐受最高摄入量(Tolerable Upper Intake Level, UL) 进行的科学研究、探讨, 同时还对 n-3 PUFAs 在使用过程中的不稳定性及注意事项进行了阐述, 可以为我国不同人群的 n-3 PUFAs 膳食参考摄入量、普通食品中应用添加 n-3 PUFAs 以及 n-3 PUFAs 摄入补充方面提供更加充分、完整的科学依据和参考。

关键词: n-3 系多不饱和脂肪酸, 膳食参考摄入量, n-6/n-3 脂肪酸的摄入比例, 可耐受最高摄入量

Research status of the dietary reference intakes of N-3 polyunsaturated fatty acids

CHEN Die-ling¹, HUANG Wei-feng^{2,*}, ZHENG Xiao-hui², JI Chuan-pao¹, SHEN Bei-yu¹

(1. Runke Biological Engineering(Fujian) Co., Ltd. Zhangzhou 363503, China;

2. Guangdong Runke Biological Engineering Co., Ltd. Shantou 515041, China)

Abstract: In recent years, the roles of n-3 polyunsaturated fatty acids(n-3 PUFAs) in developing infant cognition and vision, improving immunity, preventing mental illness, cancer, inflammation and cardiovascular disease have gradually drawn people's attentions, thereby dietary reference intakes of n-3 PUFAs become one of the important focuses in these research fields. To better promote the functions of n-3 PUFAs in improving human nutrition, development, health and reducing the risk of disease etc, the RNI and AI of n-3 PUFAs for different group offered by many world-known research institutes and official organizations, as well as their scientific researches and discussions on the intake ratio of n-6/n-3 and tolerable upper intake level of n-3 PUFAs were summarized in this paper. And instability and cautions which might occur while using were also introduced. The above information provides more adequate and complete scientific basis and reference for Chinese dietary reference intakes of n-3 PUFAs for different groups, adding amount of n-3 PUFAs in food and supplementary n-3 PUFAs intake.

Key words: n-3 PUFAs; dietary reference intakes; n-6/n-3 fatty acid ratio; tolerable upper intake level

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)11-0378-11

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.11.069

N-3 系多不饱和脂肪酸(n-3 PUFAs) 是一类包含多个双键且第一个双键出现在碳链甲基端第 3 位的脂肪酸, 是人体生长和健康所必需的物质, 分子中的多个双键均处于非共轭体系中, 中间被一个亚甲基隔开, 且均具有顺势构型^[1-3]。尽管在自然界天然发现有多种 n-3 PUFAs(见表 1), 但主要研究的有 4

种: α -亚麻酸(18:3n-3, Alpha-linolenic Acid, ALA)、二十碳五烯酸(20:5n-3, Eicosapentaenoic Acid, EPA)、二十二碳五烯酸(22:5n-3, Docosapentaenoic Acid, DPA) 和二十二碳六烯酸(22:6n-3, Docosahexaenoic Acid, DHA)。在我们日常摄入的各种食物如鱼类、贝类、坚果以及各种食用植物油中都

收稿日期: 2014-07-09

作者简介: 陈蝶玲(1985-), 女, 本科, 主要从事微藻 DHA 的研究和开发工作。

* 通讯作者: 黄巍峰(1981-), 男, 硕士, 食品工程师, 主要从事食品添加剂应用研究和功能性食品的开发。

基金项目: 福建省海洋高新产业发展专项项目(闽海洋高新[2013]12号)。

表1 天然发现的一些 n-3 系多不饱和脂肪酸(n-3 PUFAs) [6-7]
Table 1 List of most common n-3 PUFAs found in nature [6-7]

中文名	英文普通名	脂质名	系统命名
十六碳三烯酸	Hexadecatrienoic acid(HTA)	16:3(n-3)	全-顺-7 ,10 ,13-十六碳三烯酸
α-亚麻酸	α-Linolenic acid(ALA)	18:3(n-3)	全-顺-9 ,12 ,15-十八碳三烯酸
硬脂四烯酸	Stearidonic acid(SDA)	18:4(n-3)	全-顺-6 ,9 ,12 ,15-十八碳四烯酸
二十碳三烯酸	Eicosatrienoic acid(ETE)	20:3(n-3)	全-顺-11 ,14 ,17-二十碳三烯酸
二十碳四烯酸	Eicosatetraenoic acid(ETA)	20:4(n-3)	全-顺-8 ,11 ,14 ,17-二十碳四烯酸
二十碳五烯酸	Eicosapentaenoic acid(EPA)	20:5(n-3)	全-顺-5 ,8 ,11 ,14 ,17-二十碳五烯酸
二十一碳五烯酸	Heneicosapentaenoic acid(HPA)	21:5(n-3)	全-顺-6 ,9 ,12 ,15 ,18-二十一碳五烯酸
二十二碳五烯酸	Docosapentaenoic acid(DPA) (Clupanodonic acid)	22:5(n-3)	全-顺-7 ,10 ,13 ,16 ,19-二十二碳五烯酸
二十二碳六烯酸	Docosahexaenoic acid(DHA)	22:6(n-3)	全-顺-4 ,7 ,10 ,13 ,16 ,19-二十二碳六烯酸
二十四碳五烯酸	Tetracosapentaenoic acid	24:5(n-3)	全-顺-9 ,12 ,15 ,18 ,21-二十四碳五烯酸
二十四碳六烯酸	Tetracosahexaenoic acid(Nisinic acid)	24:6(n-3)	全-顺-6 ,9 ,12 ,15 ,18 ,21-二十四碳六烯酸

含有 n-3 PUFAs ,尤其在海洋鱼类、贝类(主要以 DHA、EPA 为主)以及食用植物油中亚麻籽油、核桃油以及菜籽油(主要以 ALA 为主)中含量比较丰富^[4]。在对我国的成人主要脂肪酸食物来源分析显示,城市居民膳食中约 70% 的多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated Fatty Acids ,PUFAs)和 n-6 系多不饱和脂肪酸(N-6 Polyunsaturated Fatty Acids ,n-6 PUFAs)来自食用油,其中豆油和色拉油占很高比例;约 70% 的 n-3 PUFAs 来源于色拉油、豆油、菜籽油。农村居民膳食中 PUFAs 及 n-6 PUFAs 来源广泛,而 43% 的 n-3 PUFAs 来自于菜籽油^[5]。

由于 ALA 在体内可以转化为 EPA、DHA ,但是转化成 DHA 的效率有限,不能满足人体对 DHA 的需要,因此 n-3 PUFAs 中的 DHA 需要额外补充^[8-10]。然而根据大量的研究发现,以 DHA 和 EPA 为代表的 n-3 PUFAs 在人体的营养、发育、健康及疾病预防等方面起着非常重要作用^[4 ,11-13]。n-3 PUFAs 中特别是 DHA 能促进婴幼儿的认知、智力和视力发育,是人脑和视网膜脂质的主要组成部分^[14-16]。此外,n-3 PUFAs 还能抑制血小板聚集,降低血液粘稠度,延缓血栓形成,改善微循环的功能,甚至还能使已经形成的粥样化的斑块消退,对防治冠心病(Coronary Heart Disease ,CHD)和心脑血管的栓塞有显著作用^[17-19]。

增加 n-3 PUFAs 的摄入量可以降低人类发生慢性病的危险,对人体的营养、发育、健康以及预防疾病等方面具有非常重要的意义。世界上许多知名的研究机构及官方组织制定了不同人群的 n-3 PUFAs 推荐摄入量(RNI)及适宜摄入量(AI),并对 n-6/n-3 脂肪酸的摄入比例以及 n-3 PUFAs 的可耐受最高摄入量(UL)进行了科学的研究、探讨,本文对这些方面的研究进行了综述,同时还对 n-3 PUFAs 在使用过程中的不稳定性及注意事项进行了阐述,旨在为我国不同的人群的 n-3 PUFAs 膳食参考摄入量、普通食品中应用添加 n-3 PUFAs 以及其摄入补充方面提供更加充分、完整的科学依据和参考。

1 n-3 PUFAs 的膳食参考摄入量

不同身体状况(特别是妊娠期和哺乳期)和年龄

阶段的人群对 n-3 PUFAs 的营养需求是存在差异的,以下就妊娠期和哺乳期、婴幼儿期、儿童和青春期、成年期及老年期^[20]各个阶段 n-3 PUFAs 的膳食参考摄入量分别展开论述。

1.1 妊娠期和哺乳期

妊娠期膳食脂肪的摄入量会影响妊娠周期,同时也会影响到出生后婴儿的生长、发育和健康^[21]。n-3 PUFAs 的摄入可以使孕妇减少早产的发生率,并有可能对胎儿的生长发育、预防妊娠高血压疾病以及产后抑郁症的发生有着重要的影响^[22]。哺乳期妇女增加 n-3 PUFAs 的摄入量还可以增加乳汁中 n-3 PUFAs 的含量,从而会影响到婴儿的大脑及视力发育^[23-24]。

1999 年,在美国国立卫生研究院(NIH)、国际脂肪酸与脂类研究协会(ISSFAL)以及与其它单位联合举办关于 n-3、n-6 脂肪酸膳食摄入的重要性及推荐量的专题研讨会上,专家组认为没有充足的数据能确定成人的脂肪酸推荐摄入量(RNI),但有可靠数据能对适宜摄入量(AI)作出推荐,并建议妊娠期和哺乳期妇女 EPA + DHA 的适宜摄入量(AI)为 0.65g/d,其中 DHA 至少为 0.3g/d,而 EPA 至少为 0.22g/d^[25-26]。

2004 年,英国营养科学咨询委员会(SACN)建议包括孕妇在内的人群每周至少摄入两份鱼,其中至少一份为多脂鱼类(Fatty fish),相当于每天摄入 0.45g 的长链 n-3 系多不饱和脂肪酸(Long Chain N-3 Polyunsaturated Fatty Acids ,LC n-3 PUFAs)^[27]。

2005 年,美国医学研究所(IOM)建议妊娠期和哺乳期妇女 ALA 可接受的摄入量范围(Acceptable Macronutrient Distribution Range ,AMDR)为 0.6~1.2g/d,而适宜摄入量(AI)分别为 1.4、1.3g/d^[28]。

2005 年,比利时高级健康委员会(Belgian Superior Health Council)建议妊娠期和哺乳期妇女每天摄入 250mg DHA^[29]。

2006 年,澳大利亚和新西兰国家健康与医学研究委员会(NHMRC)推荐 14~50 岁妊娠期和哺乳期妇女 ALA 的适宜摄入量(AI)分别为 1.0、1.2g/d。妊娠期妇女 LC n-3 PUFAs(DHA、EPA、DPA)的适宜摄入量(AI),14~18 岁为 140mg/d,19~50 岁为 115mg/d。

哺乳期妇女 LC n-3 PUFAs (DHA、EPA、DPA) 的适宜摄入量 (AI), 14~18 岁为 110mg/d, 19~50 岁为 145mg/d^[30]。

2007 年, 为了给妊娠期和哺乳期妇女脂肪摄入提供指导, 欧洲委员会 (European Commission) 举行了一项关于围产期脂质代谢和早期营养的研究, 工作小组的研究报告建议妊娠期和哺乳期妇女平均每天至少摄入 200mg DHA^[21]。

2008 年, 瑞士营养学会 (Swiss Society for Nutrition Research)、德国营养学会 (German Society for Nutrition) 和奥地利营养学会 (Austrian Society for Nutrition) 建议妊娠期和哺乳期妇女 DHA 的摄入量至少为 200mg/d^[31]。

2010 年, 法国食品卫生安全局 (AFFSA) 建议妊娠期和哺乳期妇女 DHA 的摄入量为 250mg/d, EPA + DHA 的摄入量为 500mg/d^[32]。

2010 年, 欧盟食品安全局 (EFSA) 推荐妊娠期和哺乳期 DHA 的适宜摄入量 (AI) 为 100~200mg/d^[33]; 联合国粮农组织 (FAO) 也在 2010 年回顾了各个国家关于妊娠期和哺乳期 n-3 PUFAs 摄入量临床基础数据的研究 (如妊娠期妇女 n-3 PUFAs 摄入量对出生后婴幼儿视力发育及认知能力的影响、哺乳期妇女 DHA 膳食摄入量与母乳中 DHA 含量的关系等), 最终推荐妊娠期和哺乳期妇女 EPA + DHA 的摄入总量至少为 300mg/d, 其中 DHA 不低于 200mg/d^[34]。

世界围产学会 (World Association of Perinatal Medicine 2008 年)^[35] 和美国出生缺陷基金会 (March of Dimes 2012 年)^[36] 认为 n-3 PUFAs 能降低早产风险并建议女性在妊娠期和哺乳期期间每天应摄入不少于 200mg 的 DHA。

2013 年加拿大营养师协会 (Dietitians of Canada) 建议妊娠期和哺乳期妇女 ALA 的适宜摄入量 (AI) 分别为 1.4、1.3g/d^[37]。

日本厚生劳动省 (MHLW) 2010 年版的《日本人的食事摄取基準》建议妊娠期和哺乳期妇女 n-3 PUFAs 的适宜摄入量 (AI) 分别为 1.9、1.7g/d^[38]。然而其最新发布的计划于 2015~2019 年份实施的《日本人的食事摄取基準》(2015 年版) 中将妊娠期和哺乳期妇女 n-3 PUFAs 的适宜摄入量 (AI) 统一更新为 1.8g/d^[39]。

2014 年, 中国营养学会 (Chinese Nutrition Society, CNS) 发布的《中国居民膳食营养素参考摄入量》(2013 年版) 推荐妊娠期和哺乳期妇女 ALA 的适宜摄入量 (AI) 为 0.6% E, EPA + DHA 的适宜摄入量 (AI) 为 0.25g/d (DHA 至少为 0.2g/d), n-3 PUFAs 可接受的摄入量范围 (AMDR) 为 0.5~2.0% E^[40]。

1.2 婴幼儿期

1999 年, 国际脂肪酸与脂类研究协会 (ISSFAL) 和美国国立卫生研究院 (NIH) 建议婴幼儿配方食品中 DHA 含量占总脂肪酸的 0.35%, 且 EPA 含量占总脂肪酸必须小于 0.10%^[25-26]。

2001 年, 荷兰健康委员会 (Health Council of the Netherlands) 指出单纯接受母乳喂养的 5 月龄以内婴

儿, 平均每天摄入的 EPA + DHA 大约为 0.15g, 推荐母乳喂养的 0~6 月龄婴儿 ALA 的适宜摄入量 (AI) 为 0.08g/kg·bw/d (每天每千克体重 0.08g), DHA 的适宜摄入量 (AI) 为 0.02g/kg·bw/d (每天每千克体重 0.02g), 同时建议 6 月龄~19 岁人群通过鱼类摄入 n-3 脂肪酸的适宜摄入量 (AI) 为 0.15~0.2g/d^[41]。

2005 年, 美国医学研究所 (IOM) 推荐 0~12 月龄婴儿 ALA 的适宜摄入量 (AI) 为 0.5g/d, 1~3 岁幼儿 ALA 适宜摄入量 (AI) 为 0.7g/d, 可接受的摄入量范围 (AMDR) 为 0.6~1.2g/d^[28]。

2006 年澳大利亚和新西兰国家健康与医学研究委员会 (NHMRC) 推荐 0~3 岁婴幼儿 ALA 的适宜摄入量 (AI) 为 0.5g/d, 1~3 岁幼儿 LC n-3 PUFAs (DHA、EPA、DPA) 的适宜摄入量 (AI) 为 40mg/d^[30]。

2008 年, 关于婴幼儿配方食品中 PUFAs 的添加量, 世界围产学会 (World Association of Perinatal Medicine) 建议 DHA 占总脂肪酸的 0.2%~0.5%, 同时至少要添加有与 DHA 等量的花生四烯酸 (Arachidonic acid, ARA)^[35]。

2010 年, 法国食品卫生安全局 (AFFSA) 建议 0~6 月龄婴儿的 DHA 摄入量应占总脂肪的 0.32%, 且 EPA 摄入量必须少于 DHA, 并建议 6~36 月龄的婴幼儿 DHA 摄入量为 70mg/d^[32]。

2010 年, 欧盟食品安全局 (EFSA) 指出较大婴儿 (6 月龄以上) 在添加辅食喂养阶段每天摄入 50~100mg 的 DHA 已证实对视觉功能有益, 并推荐 7~24 月龄婴幼儿 DHA 的适宜摄入量 (AI) 为 100mg/d^[33]。

2010 年, 美国饮食指南顾问委员会 (Dietary Guidelines Advisory Committee) 推荐 1~3 岁幼儿 ALA 的适宜摄入量 (AI) 为 0.7g/d^[42]。

2010 年, 联合国粮农组织 (FAO) 推荐 0~6 月龄婴儿 ALA 的适宜摄入量 (AI) 为 0.2~0.3% E, DHA 的适宜摄入量 (AI) 为 0.1~0.18% E; 6~24 月龄婴幼儿 ALA 的适宜摄入量 (AI) 为 0.4~0.6% E, DHA 的适宜摄入量 (AI) 为 10~12mg/kg·bw/d (每天每千克体重 10~12mg)^[34]。

日本厚生劳动省 (MHLW) 2010 年版的《日本人的食事摄取基準》推荐 0~24 月龄婴幼儿 n-3 PUFAs 的适宜摄入量 (AI) 为 0.9g/d^[38]。最新的 2015 年版《日本人的食事摄取基準》对该年龄段婴幼儿的 n-3 PUFAs 的适宜摄入量 (AI) 作了更细致的推荐, 0~5 月龄婴儿为 0.9g/d, 6~11 月龄婴儿为 0.8g/d, 1~2 岁男性幼儿为 0.7g/d, 1~2 岁女性幼儿为 0.8g/d^[39]。

2014 年, 中国营养学会 (CNS) 发布的《中国居民膳食营养素参考摄入量》(2013 年版) 建议 0~5 月龄、6~11 月龄、1~3 岁的婴幼儿 ALA 适宜摄入量 (AI) 分别为 0.87% E、0.66% E 和 0.60% E, 0~3 岁婴幼儿 DHA 的适宜摄入量 (AI) 为 100mg/d^[40]。

1.3 儿童和青春期

2006 年, 澳大利亚和新西兰国家健康与医学研究委员会 (NHMRC) 建议 4~8 岁儿童 ALA 的适宜摄入量 (AI) 为 0.8g/d, LC n-3 PUFAs (DHA、EPA、DPA) 的适宜摄入量 (AI) 为 55mg/d。9~13 岁青少

年,ALA 的适宜摄入量(AI),男性为 1.0g/d,女性为 0.8g/d;LC n-3 PUFAs(DHA、EPA、DPA)的适宜摄入量(AI)为 70mg/d。14~18 岁人群,ALA 的适宜摄入量(AI),男性为 1.2g/d,女性为 0.8g/d;LC n-3 PUFA(DHA、EPA、DPA)的适宜摄入量(AI),男性为 125mg/d,女性为 85mg/d^[30]。

2010 年,法国食品卫生安全局(AFFSA)建议 3~9 岁儿童 DHA 摄入量为 125mg/d,EPA + DHA 摄入量为 250mg/d;10~18 岁青少年人群 DHA 摄入量为 250mg/d,EPA + DHA 摄入量为 500mg/d^[32]。

2010 年,欧盟食品安全局(EFSA)推荐 2~18 岁人群 EPA + DHA 的适宜摄入量(AI)为 250mg/d^[33];联合国粮农组织(FAO)也在同年推荐 2~4 岁、4~6 岁、6~10 岁儿童 EPA + DHA 的适宜摄入量(AI)分别为 100~150、150~200 和 200~300mg/d^[34]。

2012 年,北欧部长理事会(Nordic Council of Ministers)认为 2 岁及以上人群每天摄入至少 200~250mg 的 EPA + DHA 有助于降低心血管疾病(CVD)风险^[43]。

2014 年,中国营养学会(CNS)发布的《中国居民膳食营养素参考摄入量》(2013 年版)建议 4~18 岁人群 ALA 的适宜摄入量(AI)为 0.6% E^[40]。

美国医学研究所(IOM)、美国饮食顾问委员会(Dietary Guidelines Advisory Committee)对 4~18 岁年龄阶段人群的 ALA 适宜摄入量(AI)作出了更加具体的推荐,而日本厚生劳动省(MHLW)则对 3~17 岁年龄阶段人群的 n-3 PUFAs 适宜摄入量(AI)也作出了比较详细的推荐(见表 2)。

表 2 儿童和青春期 n-3 PUFAs 的膳食参考摄入量

Table 2 Dietary reference intakes of n-3 PUFAs in childhoods and adolescents

组织机构	推荐量 (mg/d)		年龄 (岁)
	男	女	
美国医学研究所 (IOM) * [28]	900	900	4~8
	1200	1000	9~13
	1600	1100	14~18
美国饮食指南顾问委员会 (Dietary Guidelines Advisory Committee) * [42]	900	900	4~8
	1200	1000	9~13
	1600	1100	14~18
日本厚生劳动省 (MHLW) ** [38-39]	1200/1300	1200/1100	3~5
	1600/1400	1300/1300	6~7
	1700/1700	1500/1400	8~9
	1800/1700	1700/1500	10~11
	2100/2100	2100/1800	12~14
	2500/2300	2100/1700	15~17

注:1.“*”指推荐量为 ALA 的适宜摄入量(AI),另美国医学研究所(IOM)建议 4~18 岁儿童和青少年 ALA 可接受的摄入量范围(AMDR)为 0.6~1.2g/d。2.“**”指推荐量为 n-3 PUFAs 的适宜摄入量(AI),“/”前面的数据对应 2010 年版《日本人の食事摂取基準》数据,“/”后面的数据对应 2015 年版《日本人の食事摂取基準》数据。

1.4 成年期

n-3 PUFAs 能降低成年人或老年人心血管疾病

(CVD) 的发生风险并有助于心血管疾病(CVD) 患者的保健预防和延缓疾病发展^[17-19]。

1990 年,加拿大卫生与福利部(Health and Welfare Canada)建议一般成年人 n-3 PUFAs(ALA、EPA、DHA)的摄入量为 1.1~1.6g/d^[44]。

2001 年,美国国家心脏、肺和血液研究所(National Heart, Lung, and Blood Institute, NHLBI)在美国胆固醇教育计划(National Cholesterol Education Program)中指出膳食摄入较高的 n-3 PUFAs 是降低冠心病(CHD)患者或其危险人群发生风险的途径之一^[45]。同年,荷兰健康委员会(Health Council of the Netherlands)建议一般成年人通过鱼类摄入 n-3 脂肪酸的适宜摄入量(AI)为 0.2g/d,冠心病(CHD)患者(6 月龄及以上)ALA 的适宜摄入量(AI)为 1% E^[41]。

2002 年,美国心脏学会(AHA)建议冠心病(CHD)患者 EPA + DHA 摄入量为 1g/d^[17]。

2003 年,美国总统办公室(Executive Office of the President)建议在膳食指南和食物结构金字塔中强调降低反式脂肪酸和提高富含 n-3 脂肪酸食物摄入的益处^[46]。

2003 年欧洲心脏病学会(ESC)认为膳食结构能影响冠心病(CHD)患者的二级预防,患者每天摄入 1g n-3 PUFAs 有助于降低心脏猝死危险,建议患者应采用地中海居民的饮食习惯,降低膳食中的饱和脂肪酸,同时增加不饱和脂肪酸的摄入,多食用水果和蔬菜^[47]。

2004 年国际脂肪酸与脂类研究协会(ISSFAL)推荐 ALA 的摄入量为 0.7% E,同时建议每天至少摄入 0.5g 的 EPA + DHA,有利于保持心血管健康^[48]。

2004 年,美国医疗保健研究与质量局(Agency for Healthcare Research and Quality)指出鱼和鱼油补充剂能降低心血管疾病(CVD)风险^[49]。

2005 年,比利时高级健康委员(Belgian Superior Health Council)建议一般成年人每周摄入两餐多脂鱼类,心血管疾病(CVD)患者通过服用鱼油胶囊确保每天摄入 1g 的 EPA + DHA^[29]。

2005 年,美国饮食指南顾问委员会(Dietary Guidelines Advisory Committee)提出 0.6%~1.2% E 的 ALA 有助于预防心血管疾病(CVD),并建议普通人群每周摄入 2 份多脂鱼类,相当于每天摄入 496mg 的 EPA + DHA^[50]。在其 2010 年版的《美国居民膳食指导》中推荐 19~50 岁成年人 ALA 的适宜摄入量(AI),男性为 1.6g/d,女性为 1.1g/d^[42]。

2008 年,瑞士营养学会(Swiss Society for Nutrition Research)、德国营养学会(German Society for Nutrition)和奥地利营养学会(Austrian Society for Nutrition)建议一般成年人每天摄入 250mg 长链多不饱和脂肪酸(Long Chain Polyunsaturated Fatty Acids, LC PUFAs)用于心血管疾病(CVD)的一级预防,冠心病(CHD)患者每天摄入 1g LC PUFAs 用于心血管疾病(CVD)的二级预防^[31]。

2008 年,世界肠胃病学组织(World Gastroenterology Organization)建议一般成年人每周摄

入 3~5 餐鱼来获取 EPA 和 DHA^[51]。

2008 年, 澳大利亚心脏基金会 (Heart Foundation) 建议一般成年人 ALA 的摄入量至少为 2g/d, DHA + EPA 的摄入量为 500mg/d, 冠心病 (CHD) 患者和高血脂患者 EPA + DHA 的摄入量分别为 1000、1200mg/d; 针对高血脂患者, 在必要情况下, 可将 EPA + DHA 的摄入量提高至 4000mg/d, 并且每隔 3~4 周检查患者的血脂直至恢复到正常水平^[52]。

2010 年, 联合国粮农组织 (FAO) 建议 ALA 可接受的摄入量范围 (AMDR) 为大于 5% E, 一般成年人 n-3 PUFAs 可接受的摄入量范围 (AMDR) 为 0.5%~2% E; 推荐一般成年人 (妊娠期和哺乳期妇女除外) EPA + DHA 的摄入量为 0.25g/d, 可接受的摄入量范围 (AMDR) 为 0.25~2g/d, 其中 2g/d 是针对冠心病 (CHD) 患者二级预防的一个推荐量^[34]。

2010 年, 欧盟食品安全局 (EFSA) 提出, 目前没有充分的科学数据可以确定 ALA 的平均需要量 (Average Requirement)、最低摄入量阈值 (Lower Threshold Intake) 或者人群参考摄入量 (Population Reference Intake)。根据大多数欧洲国家 (没有出现明显的 ALA 缺乏症状的地区) ALA 最低摄入量的估计值, 欧盟食品安全局 (EFSA) 建议将 ALA 的适宜摄入量 (AI) 设定为 0.5% E。心血管疾病 (CVD) 的前瞻性流行病学和膳食干预实验证明摄入多脂性鱼类 (oily fish) 或 LC n-3 PUFAs 膳食补充剂 (相当于每日 250~500mg EPA + DHA) 能降低冠心病 (CHD) 和心源性猝死的风险。在心血管疾病 (CVD) 一级预防中, 每日摄入 250mg EPA + DHA 使健康受试者人群明显获益。因此, 考虑到心血管疾病 (CVD) 的预防, 而现有的科学数据不足以确定 EPA + DHA 的平均需要量, 建议成年人 EPA + DHA 的适宜摄入量 (AI) 为 250mg/d^[33]。

健康成年人也应重视膳食中 n-3 PUFAs 的摄入量, 有助于降低心血管疾病 (CVD) 和其它慢性病的发生率。日本厚生劳动省 (MHLW) 针对不同性别及年龄段的成年人分别作出了相应的推荐, 2010 年版《日本人的食事摄取基準》中出于对疾病的预防, 对成年人摄入 n-3 PUFAs 推荐了以下目标量 (tentative dietary goal for preventing life-style related diseases, DG): 18~29 岁成年人, 男性大于 2.1g/d, 女性大于 1.8g/d; 30~49 岁成年人, 男性大于 2.2g/d, 女性大于 1.8g/d^[38]。2015 年版《日本人的食事摄取基準》对成年人 n-3 PUFAs 的推荐量作了更新, 建议 18~29 岁成年人 n-3 PUFAs 适宜摄入量 (AI), 男性为 2.0g/d, 女性为 1.6g/d; 30~49 岁成年人, 男性为 2.1g/d, 女性为 1.6g/d^[39]。

2012 年, 世界卫生组织 (WHO) 指出每天摄入 0.2~0.5g 的 EPA + DHA 有助于预防冠心病 (CHD) 和缺血性脑梗塞^[53]。

2014 年, 中国营养学会 (CNS) 发布的《中国居民膳食营养素参考摄入量》(2013 年版) 建议 18~49 岁成年人 EPA + DHA 可接受的摄入量范围 (AMDR) 为 0.25~2g/d, n-3 PUFAs 可接受的摄入量范围

(AMDR) 为 0.5%~2.0% E^[40]。

其它研究机构及官方组织对成年期人群推荐 n-3 PUFAs 的膳食参考摄入量见表 3。

1.5 老年期

1989 年, 北大西洋公约组织 (NATO) 脂肪酸研究工作组指出长期胃管喂食、静脉注射和全肠胃外营养的老年患者很容易缺乏 n-3 PUFAs, 建议该患者群体每天补充 800~1100mg 的 ALA、300~400mg 的 EPA + DHA^[60]。

2005 年, 美国医学研究所 (IOM) 建议 50 岁及以上男性 ALA 的适宜摄入量 (AI) 为 1.6g/d, 可接受的摄入量范围 (AMDR) 为 0.6~1.2g/d; 50 岁及以上女性 ALA 的适宜摄入量 (AI) 为 1.1g/d, 可接受的摄入量范围 (AMDR) 为 0.6~1.2g/d^[28]。

2006 年, 澳大利亚和新西兰国家健康与医学研究委员会 (NHMRC) 建议 51 岁及以上男性 ALA 的适宜摄入量 (AI) 为 1300mg/d, LC n-3 PUFAs (DHA、EPA、DPA) 的适宜摄入量 (AI) 为 160mg/d; 51 岁及以上女性 ALA 的适宜摄入量 (AI) 为 800mg/d, LC n-3 PUFAs (DHA、EPA、DPA) 的适宜摄入量 (AI) 为 90mg/d^[30]。

日本厚生劳动省 (MHLW) 在 2010 年版《日本人的食事摄取基準》中出于对疾病的预防, 对老年人摄入 n-3 PUFAs 推荐了以下目标量 (DG): 50~69 岁老年人, 男性大于 2.4g/d, 女性大于 2.0g/d; 70 岁及以上老年人, 男性大于 2.2g/d, 女性大于 1.8g/d^[38]。2015 年版《日本人的食事摄取基準》对老年人 n-3 PUFAs 的推荐量作了更新, 建议老年人 n-3 PUFAs 的适宜摄入量 (AI), 50~69 岁老年人, 男性为 2.4g/d, 女性为 2.0g/d; 70 岁及以上老年人, 男性为 2.2g/d, 女性为 1.9g/d^[39]。

美国饮食指南顾问委员会 (Dietary Guidelines Advisory Committee) 2010 年版《美国居民膳食指导》推荐 51 岁及以上老年人 ALA 的适宜摄入量 (AI), 男性为 1.6g/d, 女性为 1.1g/d^[42]。

2014 年, 中国营养学会 (CNS) 发布的《中国居民膳食营养素参考摄入量》(2013 年版) 建议 50 岁及以上老年人 EPA + DHA 可接受的摄入量范围 (AMDR) 为 0.25~2g/d, n-3 PUFAs 可接受的摄入量范围 (AMDR) 为 0.5%~2.0% E^[40]。

2 n-6/n-3 脂肪酸的摄入比例

人体摄入的食物中 n-6/n-3 脂肪酸比例是评价膳食脂肪酸质量的重要指标, n-6 与 n-3 脂肪酸的适宜比例对维持机体多个代谢途径的平衡十分重要。在近 100~150 年内, 随着现代化农业, 尤其是植物油工业和现代饲养业的发展, 人类的膳食结构发生了显著变化, 膳食脂肪酸中 n-6 PUFAs 的增加, 使得 n-3 脂肪酸的摄入量相对不足, 从而使 n-6/n-3 脂肪酸比值由以前保持在 1~2:1 的理想水平上显著上升, n-6 与 n-3 脂肪酸的高比例饮食摄入, 有可能会增加许多疾病发生的风险, 如心血管疾病 (CVD)、癌症、骨质疏松症、炎症以及免疫疾病等, 因此为了降低上述疾病的发生风险, 增进人体的健康, 需要增

表3 成年人 n-3 PUFAs 的膳食参考摄入量
Table 3 Dietary reference intakes of n-3 PUFAs in adults

组织机构	推荐量(mg/d)			年份
	ALA	EPA + DHA	LC n-3 PUFAs	
英国医学和食品政策委员会(UK Committee on Medical Aspects of Food Policy) [54]	-	-	100~200	1996
欧洲营养科学学会(European Academy of Nutritional Sciences) [55]	-	-	200	1998
美国国立卫生研究院(NIH) [25]	2200*	650* ^a	-	1999
国际脂肪酸与脂类研究协会(ISSFAL) [26]	2200*	650* ^a	-	1999
Eurodiet [56]	2000	-	200	2000
世界卫生组织(WHO) [20]	-	-	1~2% E	2003
英国营养科学咨询委员会(SACN) [27]	-	-	450	2004
美国可靠营养品协会(Council for Responsible Nutrition) [57]	-	500	-	2005
美国医学研究所(IOM) [28]	男性: 1600* 女性: 1100*	-	-	2005
澳大利亚和新西兰国家健康与医学研究委员会(NHMRC) [30]	男性: 1300* 女性: 800*	-	男性: 160* 女性: 90*	2006
美国营养师协会(ADA) [58]	-	-	500	2007
澳大利亚国防科学与技术组织(DSTO) [59]	-	-	男性: 610 女性: 430	2009
法国食品卫生安全局(AFFSA) [32]	-	500 ^b	-	2010
加拿大营养师协会(Dietitians of Canada) [37]	男性: 1600 女性: 1100	300~450	-	2013

注: 1. “*”指推荐量为适宜摄入量(AI) ,另美国医学研究所(IOM) 建议成年人 ALA 可接受的摄入量范围(AMDR) 为 0.6~1.2g/d。2. “a”指相应的推荐量中, EPA ≥ 220mg/d, DHA ≥ 220mg/d。3. “b”指相应的推荐量中, EPA 为 250mg/d, DHA 为 250mg/d。

加 n-3 脂肪酸的摄入, 并保持合适的 n-6 与 n-3 脂肪酸的比例。对一般普通人群来讲, n-6/n-3 脂肪酸的摄入比例最理想的水平应为 1~2:1; 在慢性病患者的二级预防中, 基于疾病状况的考虑, n-6/n-3 脂肪酸的摄入比例最优范围为 1~4:1, 不要超过 10:1 [61-64]。

在 n-6 与 n-3 脂肪酸的比例中, 最重要是是人体必需脂肪酸亚油酸(LA, n-6) 与 α-亚麻酸(ALA, n-3) 的膳食摄入比例, 是人体健康的一个重要的决定因素 [63]。此外由于人体从食物中摄入的 n-3、n-6 脂肪酸绝大多数都是多不饱和脂肪酸(PUFAs), 因此 n-6/n-3 PUFAs 的比例将直接决定 n-6/n-3 脂肪酸比例值的大小。1993 年由联合国粮农组织(FAO)、世界卫生组织(WHO) 联合举办的关于膳食脂肪与油脂的专家研讨会推荐人体必需脂肪酸亚油酸(LA, n-6) /α-亚麻酸(ALA, n-3) 的膳食摄入比例为 5~10:1 [65]。

2006 年, 美国医学研究所(IOM) 推荐成年人的亚油酸(LA, n-6) /α-亚麻酸(ALA, n-3) 的膳食摄入比例也为 5~10:1 [66]。日本劳动厚生省(MHLW) 在 1999 年《日本人的营养所要量》(食事摄取基準) [67] 中对健康人推荐的 n-6/n-3 脂肪酸的摄入比例为 4:1; 在 2004 年、2009 年、2014 年修改的《日本人的食事摄取基準》中废除了对此值的直接推荐, 而对各年龄段的人群推荐了更为详细的 n-6/n-3 脂肪酸日摄入量, 通过计算, 其男性、女性推荐的 n-6/n-3

脂肪酸比值区间在 2005 年、2010 年修改《日本人的食事摄取基準》中分别为 3.45~5.63(男性, 2005)、3.64~5.83(男性, 2010)、3.50~6.00(女性, 2005)、3.81~5.56(女性, 2010), 在最新的《日本人的食事摄取基準》(2015 版) 中男性、女性推荐的 n-6/n-3 脂肪酸比值区间分别为 3.64~7.14、3.68~6.25 [38-39, 68]。美国国立卫生研究院(NIH) 基于 n-6/n-3 脂肪酸提议的适宜摄入量(AI) 考虑, 建议 n-6/n-3 脂肪酸的摄入比例为 2~3:1 [25], 中国营养学会(CNS) 2000 年推荐 n-6/n-3 脂肪酸的摄入比例为 4~6:1 [69], 英国营养基金会(BNF) 认为 n-6 PUFAs 和 n-3 PUFAs 应分别占膳食热量的 1% 和 0.2% (相当于 5:1) [70], 瑞典政府推荐 n-6/n-3 脂肪酸的摄入比例为 5:1 [71], 法国食品卫生安全局(AFFSA) 认为 n-6/n-3 脂肪酸的摄入比例在 3~4:1 会预防许多西方饮食诱发疾病的发病 [32]。

在 2009 年原卫生部专项经费调研报告显示我国大部分地区居民膳食中 n-6/n-3 PUFAs 比例接近 7, 超出了我国的推荐范围值。增加膳食 n-3 PUFAs 摄入量, 并保持 n-6 与 n-3 PUFAs 的适宜比例, 对促进平衡膳食、改善健康状况有着积极的意义 [5]。

3 n-3 PUFAs 的可耐受最高摄入量(UL)

尽管 n-3 PUFAs 在降低慢性疾病危险性以及在促进人体健康有着重要的作用, 但人体对其摄入也并不是多多益善, 而是要适量。n-3 PUFAs 的摄入过多, 会引起一些不良反应, 如出血、免疫功能受损、

加速脂质过氧化反应、脂质和葡萄糖代谢受损及腥味引起肠胃不适等,其原因可能是 $n-3$ PUFAs 结构中的不饱和双键发生过氧化反应,产生过氧化脂质,反而成为促进衰老和发生癌症的危险因素之一^[17,57]。

关于 $n-3$ PUFAs 的可耐受最高摄入量(UL),目前不同的研究机构及官方组织给出的说明还是存在较大的差异。在1997年,美国食品药品监督管理局(FDA)通过对2600多个研究进行回顾,推断出摄入鱼油 EPA + DHA 达到 3g/d 是安全的,不会有副作用^[72];并对 DHA 藻油安全性进行审查时,认为每天摄入 1.5g 的 DHA 藻油是安全的^[73]。

2006年,澳大利亚国民健康与医疗研究委员会(NHMRC)发布的居民膳食营养参考值 $n-3$ LC PUFAs 中,对 ALA 没有设定可耐受最高摄入量(UL),理由是不太清楚 ALA 在什么摄入水平下会发生有害作用,另对儿童、青少年及成人的 LC $n-3$ PUFAs(EPA、DHA、DPA)的可耐受最高摄入量(UL)设定为 3g/d^[30]。

2007年,欧洲委员会(European Commission)举行的一项关于围产期脂质代谢和早期营养的研究,工作小组的研究报告指出随机临床实验结果显示,DHA 摄入量达到 1g/d 的条件下以及 $n-3$ LC PUFAs 摄入量达到 2.7g/d 的条件下并不会对人体产生明显的不良反应^[21]。

2010年,欧盟食品安全局(EFSA)在关于对脂肪膳食参考值的科学意见中指出,由于没有令人信服的证据显示摄入 α -亚麻酸(ALA)会对人体产生有害的影响,因而没有对 α -亚麻酸(ALA)设定可耐受最高摄入量(UL)^[33];2013年,加拿大营养师协会(Dietitians of Canada)也认为没有足够的证据显示 ALA 对人体能产生有害作用,故没有制定 ALA 的可耐受最高摄入量(UL)^[37]。

2010年,联合国粮农组织(FAO)发表了一份关于人类营养脂肪和脂肪酸的专题报告中,认为普通人群 EPA + DHA 的可耐受最高摄入量(UL)为 2g/d;妊娠期和哺乳期妇女 EPA + DHA 的可耐受最高摄入量(UL)为 2.7g/d,且 DHA 应不超过 1.0g/d;0~6月龄和 6~24月龄的婴幼儿 ALA 的摄入量应分别低于 0.75% E 和 3% E^[34]。

2012年,欧盟食品安全局(EFSA)在制定了关于 $n-3$ PUFAs(EPA、DHA、DPA)可耐受最高摄入量(UL)的科学意见,认为现有的科研数据还不足以作为 $n-3$ PUFAs 中一个单体或其混合物来为任何人群建立其可耐受最高摄入量(UL)。在可观察到的摄入水平, $n-3$ PUFAs 不会对健康的儿童或成人造成任何副作用。在供给人体 $n-3$ PUFAs 的稳定性在有保障的情况下,长期摄入约 5 g/d 的 EPA + DHA 不会增加自发性出血、出血并发症、影响葡萄糖体内平衡免疫功能及脂质氧化的风险;若 EPA + DHA 的摄入量在达到 2~6 g/d,其中 DHA 摄入 2~4 g/d,会诱导低密度脂蛋白胆固醇浓度呈 3% 左右的增长,但不会对心血管疾病(CVD)风险造成不利影响。鉴于 EPA 在达到 4 克/天的摄入量对低密度脂蛋白胆固醇没有显著的影响,以及 EPA + DHA 在剂量为 5g/d

的摄入量,其中 EPA 达 1.8 g/d,也不会对成年人造成任何安全性问题,同时基于心血管风险考虑对欧洲成年人的 EPA + DHA 的膳食推荐量为 250~500mg/d。单独摄入 DHA 约 1g/d 不会对普通人群造成任何安全性问题。鱼油作为 EPA 和 DHA 的来源,尽管大多数含有 DPA,其确切含量未知,但一般相对较低,由于没有关于 DPA 单独摄入的数据,对 DPA 没有设定膳食推荐量^[74]。

4 $n-3$ PUFAs 的稳定性及摄入注意事项

由于 $n-3$ PUFAs 分子中富含多个不饱和双键,对氧气、光照、温度及金属离子敏感,极易氧化降解,因此富含 $n-3$ PUFAs 的食品在加工、运输和贮存过程中,在外界环境因素的作用下,也很容易氧化变质^[75-76]。 $n-3$ PUFAs 的氧化首先会造成其在食品中的含量降低,劣化了食品原有的营养价值,并使其对人体的生理功效和作用受到影响^[77];其次,氧化的产物如 4-羧基-2-反式-己烯醛(4-hydroxy-2-trans-hexenal, HHE),丙二醛(Malondialdehyde, MDA)、丙烯醛(2-propenal)等,具有一定的毒性,对人体有害,会对细胞和组织的 DNA 造成一定的损伤,并能使蛋白质交联,使肌肉失去弹性,黑色素增多,出现老人斑,还会使血管内壁出现粥样硬化而变脆,是导致高血压和脑溢血的一个重要原因^[78-79];再次, $n-3$ PUFAs 的氧化也是产生异腥味的一个重要原因,氧化的最终产物是各种具有挥发性的低级醛、酮,这些物质使食品出现鱼腥味、油漆味、青草味以及金属味等异味,降低了食品的品质,使食品丧失了良好的适口性和接受度^[77]。因此,提高 $n-3$ PUFAs 在食品中的稳定性对更好的发挥 $n-3$ PUFAs 的生理作用具有重要的意义,在富含 $n-3$ PUFAs 食品的生产和使用过程中通过采取避光、低温、隔绝空气氧、螯合金属离子以及添加抗氧化剂等抗氧化保护措施,都能有效延缓其氧化,提高产品的稳定性。

目前 $n-3$ PUFAs 的膳食补充途径常见的主要有两大类,一是普通食品补充, $n-3$ PUFAs 广泛存在于海洋食物和植物油中,尤其在海洋鱼类、贝类(主要以 DHA、EPA 为主)以及食用植物油中(亚麻籽油、核桃油以及菜籽油(主要以 ALA 为主)中含量比较丰富,可通过进食此类食品来获取一定量的 $n-3$ PUFAs;此外,可选择一些市售强化了 $n-3$ PUFAs(主要以 DHA、EPA 为主)的牛奶、发酵乳、面包、固体饮料、食用油脂等普通食品作进一步的补充。二是专门的特殊膳食食品或保健食品或膳食补充剂等产品,尽管一些普通食物或强化食品中含有一定量的 $n-3$ PUFAs,但其数量与人体正常的需求还相差甚远,因此为了更有效地满足不同人群的生理功能需要,应该针对不同人群的生理需求特点,可选择专门的特殊膳食食品或保健食品或膳食补充剂等产品进行相应的补充。

鉴于 $n-3$ PUFAs 的氧化稳定性不好,在使用过程中应引起注意,避免其在空气中长期暴露和加热油炸。

联合国粮农组织(FAO)提倡将食物进行蒸煮加

工,尽量减少煎炸油,因为煎炸过程会造成食物中 PUFAs 损失或者影响其营养价值^[34]。中国营养学会(CNS)考虑到多不饱和脂肪酸易产生脂质过氧化,提出食用浓缩鱼油类产品补充 n-3 PUFAs 时,为防止过氧化作用必须同时服用维生素 E,一般每食用 1g 鱼油需服用 0.9mg 维生素 E^[69]。通过食用海产品特别是深海鱼类来补充 n-3 PUFAs 时应特别注意汞污染的问题,海水中的汞被浮游生物吸收后转变成有机汞,再通过食物链作用在海洋鱼类的体内富集,到达人体时其毒性是原来的几十倍,对人体神经系统特别是对婴幼儿、儿童的神经发育产生危害作用。美国 FDA 和环保署(EPA)曾发表公告警示国民关于深海鱼类的汞污染问题,指出尽管海洋鱼类含有优质蛋白质、维生素、矿物质以及 n-3 PUFAs,然而根据美国科学家的多年监测,部分海洋鱼类的汞含量还是比较高,其中 4 种海洋鱼类汞含量非常高:大西洋马鲛鱼(king mackerel)、鲨鱼(shark)、箭鱼(swordfish)和马头鱼(title fish),建议怀孕期、哺乳期、育龄妇女以及儿童应尽量避免摄食以上 4 种海洋鱼类^[80-81]。

5 展望

尽管世界上许多知名的研究机构及官方组织制定了不同人群的 n-3 PUFAs 推荐摄入量(RNI)、适宜摄入量(AI),并对 n-6/n-3 脂肪酸的摄入比例以及 n-3 PUFAs 的可耐受最高摄入量(UL)进行了相关的研究、探讨及阐述,但各研究机构及官方组织之间的推荐标准还是存在较大的差异,对推荐膳食参考摄入量的表示方法也不统一,以绝对量(g/d)表示的占大多数,也有少部分用“%总能量”或“%总脂肪”表示,有可能用绝对量(g/d)表示更为清晰准确,也便于各国之间的横向比较。为了更好地更深入地了解这些数据的意义,其制定依据就显得格外重要,可以对相关研究机构及官方组织制定 n-3 PUFAs 膳食参考摄入量的背景作更深的研究,为我国居民以后制定更加完整的 n-3 PUFAs 膳食参考摄入量提供更多的科学参考。

在我国,根据世界银行在 2011 年所发表的《创建健康和谐生活:遏制中国慢性病流行》报告中指出,癌症、糖尿病、心血管疾病(CVD)、慢性呼吸道疾病为中国的四种主要慢性病。慢性病已成为中国的主要死亡杀手,每年全国死亡总人数约 1030 万,其中超过 80% 由慢性病所致;如果 2010 至 2040 年间,每年能将心血管疾病(CVD)死亡率降低 1%,其产生的经济价值相当于 2010 年国内经济生产总值的 68% 或多达 10.7 万亿美金(按购买力平价计)^[82]。考虑到 n-3 PUFAs 在预防癌症、糖尿病及心血管疾病(CVD)等慢性疾病方面的重要作用,有必要尽快在国家层面对国内的所有人群推荐并增加 n-3 PUFAs 的摄入,另外在增加摄入的途径上,可以通过在日常食品中进行强化添加,以增加不同人群获得足量 n-3 PUFAs 的便利性。此外应针对不同人群自身的生理需求特点,可选择富含 n-3 PUFAs 的普通食品、强化食品或专门的特殊膳食食品、保健食品

品、膳食补充剂等产品进行相应的补充,在补充过程中也应注意其氧化稳定性及风险问题。同时还要根据不同地区、饮食结构、身体状况、年龄和个人体质情况来制定更加完整的居民 n-3 PUFAs 膳食参考摄入量,在注意人体可耐受最高摄入量(UL)的情况下,进行更加合理、科学的推荐和补充,此举将对国家的未来发展具有非常重要的社会和经济效益。

参考文献

- [1] Ruxton C H, Reed S C, Simpson M J, et al. The health benefits of omega-3 polyunsaturated fatty acids: a review of the evidence [J]. *J Hum Nutr Diet* 2004, 17(5): 449-459.
- [2] 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.
- [3] Palmquist D L. Omega-3 fatty acids in metabolism, health, and nutrition and for modified animal product foods [J]. *The Professional Animal Scientist* 2009(25): 207-249.
- [4] Gogus U, Smith C. N-3 Omega fatty acids: a review of current knowledge [J]. *International Journal of Food Science and Technology* 2010, 45: 417-436.
- [5] Zhang J, Meng L P, Jiang Y R, et al. The dietary fatty acids intakes and their food sources among Chinese adults [J]. *Acta Nutrimenta Sinica* 2009, 31(5): 421-427.
- [6] Kapoor R, Patil U K. Importance and production of omega-3 fatty acids from natural sources [J]. *International Food Research Journal* 2011, 18: 493-499.
- [7] Mayzaud P, Ackman R G. The 6, 9, 12, 15, 18-heneicosapentaenoic acid of seal oil [J]. *Lipids*, 1978, 13(1): 24-28.
- [8] Burdge G C, Calder P C. Conversion of α -linolenic acid to longer-chain polyunsaturated fatty acids in human adults [J]. *Reprod Nutr Dev* 2005, 45(5): 581-597.
- [9] Chan J K, McDonald B E, Gerrard J M, et al. Effect of dietary alpha-linolenic acid and its ratio to linoleic acid on platelet and plasma fatty acids and thrombogenesis [J]. *Lipids*, 1993, 28(9): 811-817.
- [10] Brenna J H, Salem N, Sinclair A J, et al. α -linolenic acid supplementation and conversion to n-3 long chain polyunsaturated fatty acids in Humans [J]. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids* 2009, 80(2): 85-91.
- [11] Horrocks L A, Yeo Y K. Health benefits of docosahexaenoic acid (DHA) [J]. *Pharmacological Research*, 1999, 40(3): 211-225.
- [12] Swanson D, Block R, Mousa S A. Omega-3 Fatty Acids EPA and DHA: Health Benefits Throughout Life [J]. *American Society for Nutrition Adv Nutr*. 2012, 3(1): 1-7.
- [13] Von Schacky C, Harris W S. Cardiovascular benefits of omega-3 fatty acids [J]. *Cardiovascular research*, 2007, 73(2): 310-315.
- [14] Birch E E, Hoffman D R, Casteneda Y S, et al. A randomized controlled trial of long-chain polyunsaturated fatty acid supplementation of formula in term infants after weaning at 6 wk of age [J]. *American Journal of Clinical Nutrition* 2002, 75(3): 570-580.

- [15] Makrides M, Neumann M, Simmer K, et al. Are long-chain polyunsaturated fatty acids essential nutrients in Infancy? [J]. *Lancet*, 1995, 345: 1463-1468.
- [16] 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.
- [17] Kris - Etherton P M, Harris W S, Appel L J. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease [J]. *Journal of the American Health Association*, 2002, 106: 2747-2757.
- [18] Hooper L, Harrison R A, Summerbell C D, et al. Omega 3 fatty acids for prevention and treatment of cardiovascular disease [J]. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2004, (4): CD003177.
- [19] Gazi I, Liberopoulos E N, Saougos V G, et al. Beneficial effects of omega 3 fatty acids: the current evidence [J]. *Hellenic Journal of Cardiology*, 2006, 47: 223-231.
- [20] Joint WHO/FAO Expert. Consultation on Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases [R]. Switzerland: WHO Library, 2003: Technical report series 916.
- [21] Koletzko B, Cetin I, Brenna J T. Dietary fat intakes for pregnant and lactating women [J]. *British Journal of Nutrition*, 2007, 98(5): 873-877.
- [22] Cetin I, Koletzko B. Long-chain omega-3 fatty acid supply in pregnancy and lactation (review) [J]. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 2008, 11(3): 297-302.
- [23] Fidler N, Sauerwald T, Pohl A, et al. Docosahexaenoic acid transfer into human milk after dietary supplementation: a randomized clinical trial [J]. *J Lipid Res*, 2000, 41(9): 1376-1383.
- [24] Jensen C L, Voigt R G, Prager T C, et al. Effects of maternal docosahexaenoic acid intake on visual function and neurodevelopment in breastfed term infants [J]. *Am J Clin Nutr*, 2005, 82(1): 125-132.
- [25] Simopoulos A P, Leaf A, Salem N. 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.
- [26] International Society for the Study of Fatty Acids and Lipids. omega-6 and omega-3 fatty acids [EB/OL]. Available at: <http://www.issfal.org/statements/adequate-intakes-recommendation-table> accessed January 2014.
- [27] Scientific Advisory Committee on Nutrition. Advice on fish consumption: benefits & risks [M]. United Kingdom: the Stationery Office, 2004: 10-30.
- [28] Institute of Medicine. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids [M]. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 2005: 422-472.
- [29] Brasseur D, Delzenne N, Henderickx H, et al. Recommendations and claims made on omega-3-fatty Acids (SHC7945) [R]. Superior Health Council of Belgium, 2005.
- [30] National Health and Medical Research Council. Nutrient reference values for Australia and New Zealand - Executive Summary [R]. Canberra: NHMRC publications, 2006: 35-58.
- [31] D - A - CH, 2008 Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung, Schweizerische Vereinigung für Ernährung: Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr, Umschau/Braus Verlag, Frankfurt.
- [32] AFFSA (France). Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à l'actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras [EB/OL]. Available at: <http://www.anses.fr/en/thematique/alimentation-et-nutrition-humaine>, Accessed June 2014.
- [33] European Food Safety Authority. 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): 1461-1567.
- [34] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fats and fatty acids in human nutrition [R]. Rome: Publishing Policy and Support Branch, 2010.
- [35] Koletzko B, Lien E, Agostoni C, et al. The roles of long-chain polyunsaturated fatty acids in pregnancy, Lactation and infancy: review of current knowledge and consensus recommendations [J]. *Journal of Perinatal medicine*, 2008, 36(1): 5-14.
- [36] March of Dimes. Omega-3 fatty acids [EB/OL]. Available at: <http://www.marchofdimes.com/pregnancy/omega-3-fatty-acids.aspx>, accessed January 2014.
- [37] Dietitians of Canada. Food source of omega-3 fats [EB/OL]. Available at: <http://www.dietitians.ca/Nutrition-Resources-A-Z/Factsheets/Fats/Food-Sources-of-Omega-3-Fats.aspx>, accessed January 2014.
- [38] 日本厚生劳动省. 日本人的食事摂取基準(2010年版)(概要) [EB/OL]. Available at: <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/sessyu-kijun.html>, accessed August 2014.
- [39] 日本厚生劳动省. 日本人的食事摂取基準(2015年版)(概要) [EB/OL]. Available at: <http://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-10904750-Kenkouyoku-Gantaisakukenkouzoushinka/0000041955.pdf>, accessed August 2014.
- [40] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量速查手册(2013版) [M]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [41] Health Council of the Netherlands. Dietary Reference Intakes: Energy, Proteins, Fats, and Digestible Carbohydrates [R]. Netherlands: The Hague: Health Council of the Netherlands, 2001: 88-100.
- [42] U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Health and Human Services. Dietary Guidelines for Americans [R]. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 2010: 7th Edition.
- [43] Nordic Nutrition Recommendations. Nordic Nutrition Recommendations 2012: Integrating nutrition and physical activity [M]. Nord 2014: 002, 5th edition.
- [44] Health and Welfare Canada. Nutrition Recommendations: The Report of the Scientific Review Committee [R]. 1990. Ottawa, Ontario.
- [45] National Institutes of Health. National Heart, Lung, and Blood Institute. Third Report of the National Cholesterol Education Program Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of

- High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III) [R]. Washington, DC: NIH, 2001, NIH Publication Number 01-3670.
- [46] Executive Office of the President, Office of Management and Budget. New information on reducing heart disease risk encouraged [R]. Washington, D.C., May 2003.
- [47] Werf F V, Ardissino D, Betriu A, et al. Management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation [J]. *European Heart Journal* 2003 24: 28-66.
- [48] International Society for the Study of Fatty Acids and Lipids. Recommendations for intake of polyunsaturated fatty acids in healthy adults [R]. Australia: sub-committee of ISSFAL 2004.
- [49] Wang C, Chung M, Lichtenstein A, et al. Effects of Omega-3 Fatty Acids on Cardiovascular Disease [R]. Rockville: Agency for Healthcare Research and Quality, AHRQ Publication No.04-E009-2, March 2004.
- [50] U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Health and Human Services. Dietary Guidelines for Americans [R]. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 2005: 6th Edition, part D.
- [51] World Gastroenterology Organisation. 10 nutritional recommendations to improve Digestive Health [EB/OL]. Available at: <http://www.worldgastroenterology.org/wdhd-2008.html> (Published May 29 2008, accessed January 2014).
- [52] National Heart Foundation of Australia. Position statement on Fish fish oils n-3 polyunsaturated fatty acids and cardiovascular health [R]. Presented at AIFST conference July 2008.
- [53] World Health Organization. Population nutrient intake goals for preventing die-related chronic diseases [EB/OL]. Available at: http://www.who.int/nutrition/topics/5_population_nutrient/en/index10.html accessed March 2014.
- [54] UK Committee on Medical Aspects of Food Policy. Nutritional Aspects of Cardiovascular Disease [R]. London: UK: Health Education Authority, 1996.
- [55] De Deckere EA, Korver O, Verschuren PM, et al. Health aspects of fish and n-3 polyunsaturated fatty acids From plant and marine origin [J]. *Eur J Clin Nutr* 1998 52(10): 749-753.
- [56] Eurodiet. Nutrition & diet for healthy lifestyles in Europe: science & policy implications [J]. *Public Health Nutrition* 2000 4(2A): 265-273.
- [57] Council for Responsible Nutrition. White Paper: Long Chain Omega-3 Fatty Acids in Human Health [R]. Washington DC, 2005: 1-6.
- [58] Kris-Etherton PM, Innis S. American Dietetic Association, Dietitians of Canada. Position of the American Dietetic Association and Dietitians of Canada: Dietary Fatty Acids [J]. *Journal of the American Dietetic Association* 2007 107(9): 1599-1611.
- [59] Forbes-Ewan, C. Australian Defence Force Nutritional Requirements in the 21st Century (Version 1) [R]. Human Protection and Performance Division, Defence Science and Technology Organisation 2009.
- [60] Simopoulos A P. Summary of the NATO advanced research workshop on dietary omega 3 and omega 6 fatty acids: biological effects and nutritional essentiality [J]. *The Journal of Nutrition*, 1989 119(4): 521-528.
- [61] Simopoulos A P. Evolutionary aspects of diet, the omega-6/omega-3 ratio and genetic variation: nutritional implications for chronic diseases [J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2006, 60(9): 502-507.
- [62] C. Gómez Candela, L.M. Bermejo López, V. Loria Kohen. Importance of a balanced omega 6/omega 3 ratio for the maintenance of health. Nutritional recommendations [J]. *Nutr Hosp* 2011 26(2): 323-329.
- [63] Simopoulos A P, Cleland L G. Omega-6/Omega-3 Essential Fatty Acid Ratio: The Scientific Evidence [J]. *World Review of Nutrition and Dietetics* 2003 92: 1-174.
- [64] Artemis P. Simopoulos. The omega-6/omega-3 fatty acid ratio: health implications [J]. *OCL* 2010 17(5): 267-275.
- [65] Food Agriculture Organization. Fats and oils in human nutrition [EB/OL]. Available at: <http://www.fao.org/docrep/v4700e/v4700e00.htm> accessed January 2014.
- [66] Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements [M]. Washington: The National Academies Press; 2006.
- [67] 厚生省策定 健康・栄養情報研究会編第六次改定, 日本人の栄養所要量: 食事摂取基準 [M]. 第一出版 東京 2000.
- [68] 日本厚生労働省. 日本人の食事摂取基準 (2005年版) (概要) [EB/OL]. Available at: <http://www.mhlw.go.jp/houdou/2004/11/h1122-2.html> accessed August 2014.
- [69] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量 [M]. 北京: 中国轻工业出版社 2000.
- [70] Lunn J, Theobald H E. The health effects of dietary unsaturated fatty acids [J]. *British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin* 2006 31(3): 178-224.
- [71] Davis B C, Kris-Etherton P M. Achieving optimal essential fatty acid status in vegetarians: current knowledge and practical implications [J]. *American Journal of Clinical Nutrition* 2003 78(3 Suppl) 640S-646S.
- [72] Food and Drug Administration, HHS. Substances affirmed as Generally Recognised as Safe: Menhaden Oil [EB]. Federal Register, 1997 30751-30757.
- [73] The Food and Drug Administration. Agency Response Letter GRAS Notice No. GRN 000137 [EB/OL]. Available at: <http://www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/GRAS/NoticeInventory/ucm153961.htm> accessed January 2014.
- [74] European Food Safety Authority. Scientific opinion on the tolerable upper intake level of eicosapentaenoic acid (EPA), Docosahexaenoic acid (DHA) and docosapentaenoic acid (DPA) [J]. *EFSA Journal* 2012 10(7): 2815-2862.
- [75] P. Anbudhasan, A. Surendraraj, S. Karkuzhali, et al. Development of omega 3 fatty acid enriched stable functional foods: challenges and options [J]. *International Journal of Innovative Research and Review* 2014 2(1): 1-13.
- [76] Jacobsen C. Enrichment of foods with omega-3 fatty acids: a multidisciplinary challenge [J]. *Annals of the New York Academy of Sciences* 2010 1190: 141-150.
- [77] 吴克刚, 孟宏昌. 控制 DHA 油和 AA 油氧化及腥异味的新技术 [C]. 第八届中国国际食品添加剂和配料展览会暨第十四届全国食品添加剂生产应用技术展示会论文集, 上海 2004.

[78] European Food Safety Authority, Scientific Opinion on Fish Oil for Human Consumption. Food Hygiene, including Rancidity [J]. EFSA Journal 2010, 8(10): 1874.

[79] 翁新楚, 董新伟, 任国谱, 等. EPA 和 DHA 的生理功能及其氧化稳定性 [J]. 生物工程进展, 1994, 14(6): 56-60.

[80] The Food and Drug Administration, Environmental Protection Agency. What You Need to Know About Mercury in Fish and Shellfish (Brochure) [EB/OL]. Available at: <http://www.fda.gov/food/resourcesforyou/consumers/ucm110591.htm>, accessed August

2014.

[81] The Food and Drug Administration, Environmental Protection Agency. Fish: What Pregnant Women and Parents Should Know [EB/OL]. Available at: <http://www.fda.gov/Food/FoodborneIllnessContaminants/Metals/ucm393070.htm>, accessed August 2014.

[82] 王世勇, Marquez P, Langenbrunner J, 等. 创建健康和谐生活遏制中国慢性病流行 [R]. 北京: 世界银行东亚与太平洋地区人类发展局, 2011.

(上接第 300 页)

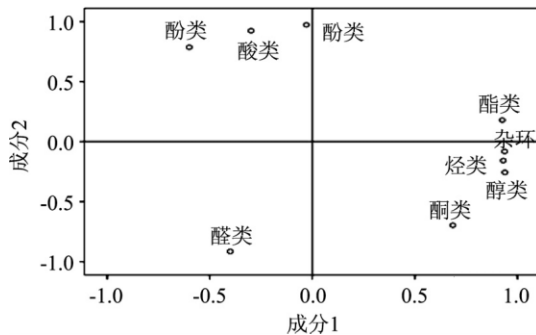


图2 旋转空间中的成分图

Fig.2 The composition diagram of the rotating space

3 结论

本实验提供了一种测定枸杞挥发性风味物质的新方法,此方法操作简便,灵敏度高,方便快捷,所需样品量少,为今后枸杞挥发性风味物质的测定打下基础。

通过比较样品 2、样品 3 与样品 4 的挥发性风味物质,发现样品 2、样品 3 和样品 4 的风味物质差异很大。说明选择不同的干燥方式会显著影响枸杞的风味品质。通过比较样品 1、样品 2、样品 3 与样品 4 的挥发性风味物质,发现样品 2、样品 3 和样品 4 比样品 1 的风味物质种类增多,说明枸杞经干燥后,挥发性风味物质明显增多。

第一主成份和第二主成分的累积贡献率达 93.714%,能够基本反映原变量的信息。比较第一主成分中 4 种风味物质的贡献率,结果为醇类 > 杂环类 > 炔类 > 酯类;而在第二主成分中,比较 5 种风味物质的贡献率,结果为醚类 > 酸类 > 醛类 > 酚类 > 酮类。9 类风味物质对枸杞的影响作用可以分为 5 种,分别是酯类、醇类、炔类和杂环类物质,醚类、酸类和酚类、醛类、酮类产生的 5 种风味影响作用。

参考文献

[1] 李怀赫,李明滨.太阳能烘干枸杞的研究初探 [J].干燥技术与设备, 2004, 4(2): 102.

(上接第 377 页)

formation and oxidation by *Staphylococcus xylosus* strains from artisanal fermented sausages [J]. Letters in Applied Microbiology, 2000, 31(3): 228-232.

[51] Fadda S, Vignolo G, Olive G. Tyramine degradation and tyramine histamine production by lactic acid bacteria and *Kocuria*

[2] 张业辉, 张桂, 孙卫东, 等. 枸杞中类胡萝卜素的提取研究 [J]. 食品研究与开发, 2006, 27(11): 84.

[3] 张云霞, 王萍, 刘敦华. 枸杞活性成分的研究进展 [J]. 农业科学研究, 2008, 29(2): 79.

[4] Qiong Luo, Yizhong Cai, Jun Yan, et al. Hypoglycemic and hypolipidemic effects and antioxidant activity of fruit extracts from *Lycium barbarum* [J]. Food and Chemical Toxicology, 2004, 7: 137-150.

[5] 洪荣, 金幼菊. 日本芳香心理学研究进展 [J]. 世界林业研究, 2001, 14(3): 60-65.

[6] 陆宁, 宛晓春. 固相微萃取-气相色谱/质谱联用技术分析茉莉精油化学成分 [J]. 中国食品添加剂, 2004(1): 111-114.

[7] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 727.

[8] D' Agostino M.F, Sanz J, Castro Martínez, et al. Statistical analysis for improving data precision in the SPME GC-MS analysis of black berry (*Rubus ulmifolius* Schott) volatiles [J]. Talanta, 2014, 125: 248-256.

[9] Lu Xiao, Jiyun Lee, Zhang Gong, et al. HS-SPME GC/MS characterization of volatiles in raw and dry-roasted almonds (*Prunus dulcis*) [J]. Food Chemistry, 2014, 151: 31-39.

[10] Aumatell Riu M, Miró P, Cayuela Serra A, et al. Assessment of the aroma profiles of low-alcohol beers using HS-SPME-GC-MS [J]. Food Research International, 2014, 57: 196-202.

[11] Campos Rodriguez J, Buendía Escalona, et al. Dynamics of volatile and non-volatile compounds in cocoa (*Theobroma cacao* L.) during fermentation and drying processes using principal components analysis [J]. Food Research International, 2011, 44(1): 250-258.

[12] Cheng H, Qin Z H, Guo X F, et al. Geographical origin identification of propolis using GC-MS and electronic nose combined with principal component analysis [J]. Food Research International, 2013, 51(2): 813-822.

[13] He Y, Feng S, Deng X, et al. Study on loss less discrimination of varieties of yogurt using the Visible/NIR-spectroscopy [J]. Food Research International, 2006, 39(6): 645-650.

strains [J]. Biotechnology Letters, 2001, 23(24): 2015-2019.

[52] Zaman M Z, Abubar F, Jinapi S. Novel starter cultures to inhibit biogenic amines accumulation during fish sauce fermentation [J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 145(1): 84-91.