

食品掺杂

鉴别检测技术指南

张睿 主编



南京大学出版社

食品掺杂 鉴别检测技术指南

张睿
主编



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

食品掺杂鉴别检测技术指南 / 张睿主编. —南京:
南京大学出版社, 2017.10

ISBN 978-7-305-19334-7

I. ①食… II. ①张… III. ①食品检验—指南
IV. ①TS207.3-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 247633 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号

邮 编 210093

出 版 人 金鑫荣

书 名 食品掺杂鉴别检测技术指南

主 编 张 睿

责任编辑 刘 琦 荣卫红

编辑热线 025-83685720

照 排 南京紫藤制版印务中心

印 刷 江苏凤凰通达印刷有限公司

开 本 787×960 1/16 印张 21.5 字数 363 千

版 次 2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-19334-7

定 价 80.00 元

网 址 <http://www.njupco.com>

官方微博 <http://weibo.com/njupco>

官方微信 njupress

销售咨询 (025)83594756

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购
图书销售部门联系调换

编 委 会

主 编 张 睿

副 主 编 张 峰 丁 涛 沈伟健 袁 飞

吴 斌 沈崇钰 陈惠兰 吴海文

编写人员 陆慧媛 张晓燕 陈 磊 费晓庆

刘 芸 高 玲 顾 强 王 艳

桂茜雯 陈丽娟 张 健 季美泉

王栩璐 姚舒愉 魏云计 郭思言

陈 雷 姜 珊 祝长青 高 峰

林 宏 程晓澳 邓晓军 伊雄海

郭德华 谢 文 韩 芳 王凯民

柳 菡

序 言

民以食为天,食以安为先。食品的质量和安全性问题是关系到人民健康和国计民生的重大问题,受到全社会的关注。我国作为世界贸易组织的成员国,与世界各国间的贸易往来日益增加,食品质量和食品安全成为食品工业竞争的关键因素。食品安全问题发展到今天,既是经济问题,也是政治问题,同时还是技术问题。

食品安全最突出的两个问题是有毒有害物质残留和掺假使假。近年来,随着中央电视台等各大主流媒体的披露,大量不良企业和商贩对食品进行掺假使假的案例被曝光。利益是驱使这些企业、商贩作假的主要原因。在蜂蜜中掺入糖浆、高值植物油中掺入低值植物油、高值肉类中掺入低值肉类,葡萄酒根本不是葡萄酿造而是色素和添加剂的勾兑,果汁饮料中没有果汁,乳制品中掺入水和三聚氰胺等事件层出不穷。不断曝出的食品掺假使假丑闻,一次又一次地挑拨人们本已紧绷的神经。

部分食品经营者法律意识淡薄、唯利是图、不注重食品质量。在确信不会对消费者立即造成致命伤害时,对食品进行掺假使假,致使消费者在对有可能伤害到自身健康并不知情的情况下进行购买行为。还有一部分生产单位在申报相关食品安全证书或安全标准体系的认证时,一般能较好地执行相关的食品安全标准,但是在获得证书后,往往会给安全标准“打折”,生产低成本、低质量的掺假产品。掺假鉴别标准方法的缺失成为监管难题,使得大量问题产品肆意流入国内市场甚至国际市场,巨大的隐患导致中国食品行业陷入空前的信任危机。

本书是一本以食品掺假检测技术为核心内容的专著,具有覆盖范围广、系统性强的特点。从产品角度而言,涉及食用植物油、蜂产品、酒类和果汁饮料、乳及乳制品、肉类这些类别,囊括了主要的食品种类。从技术层面来讲,总结了国内外食品鉴别检验工作的经验和科研成果,收集了大量技术资料,

系统介绍了每一个食品种类中可能被掺假的物质,并详细介绍了相应的检测方法,是目前对食品掺假检测手段和技术最为详尽的总结与归纳。此外,本书对江苏出入境检验检疫局动植物与食品检测中心近年来所自主研发的掺假鉴别技术,尤其是对于食用植物油和蜂产品的掺假鉴别技术进行了详细的介绍,许多研究内容都是首次公布。

本书的出版不仅对广大消费者具有一定的帮助和指导作用,对食品质量监督执法人员、市场服务及工商管理人员有较高的实用价值,也对食品企业的规范生产、加强自身管理颇有益处,并且为技术机构的科技研发提供资讯,对于业内人士具有较高的参考价值。

前 言

《食品掺杂鉴别检测技术指南》的编者主要来自江苏出入境检验检疫局动植物与食品检测中心,书稿的整理凝结了工作人员多年的检测工作经验。近年来,江苏出入境检验检疫局动植物与食品检测中心先后主持了国家重点科技攻关、省部级科技攻关计划4项,参与欧盟“地平线2020科研与创新框架计划”,制定并修订了数十项国家标准、行业标准,为推动中国食品安全检测技术的发展作出了应有的贡献。现将多年来在食品掺杂掺假方面的研究成果整理成册,奉献给社会,这也是为维护我国食品安全、推动贸易健康发展尽一份责任和义务。

本书共分为五个章节,第一章介绍了食用油掺假鉴别的检测技术;第二章为蜂产品掺假鉴别的检测技术;第三章介绍了酒类及果汁饮料掺假鉴别的检测技术;第四章介绍了乳制品掺假鉴别的检测技术;第五章介绍了肉及肉制品掺假鉴别的检测技术。

本书第一章由沈伟健、陆慧媛负责组织编写;第二章由丁涛、陈磊负责组织编写;第三章由费晓庆负责组织编写;第四章由刘芸负责组织编写;第五章由高玲、顾强负责组织编写。本书在编写过程中参考了大量的国内外食品检测相关标准和相关专家学者的专著、文献,在此谨表谢意。

由于时间和水平有限,本书内容难免有不妥和遗漏之处,恳请广大读者予以指正为盼。

目 录

第一章 食用植物油真伪鉴别与以次充好鉴别技术	1
第一节 食用油掺假概述	1
第二节 脂肪酸组成	4
第三节 植物油中甘油三酯的组成及掺假测定	17
第四节 植物油中甾醇组成的测定及掺假检测	30
第五节 生育酚和生育三烯酚的检测	37
第二章 蜂产品掺假检测技术	42
第一节 蜂蜜掺假检测技术	42
第二节 蜂胶掺假检测技术	79
第三节 蜂王浆掺假检测技术	91
第四节 蜂蜡掺假检测技术	96
第三章 酒类饮品掺假鉴别检测技术	99
第一节 酒类饮品掺假概述	99
第二节 葡萄酒掺假鉴别技术	107
第三节 纯正果汁掺伪鉴别技术	133
第四章 乳制品掺假鉴别检测技术	179
第一节 乳制品掺假现状概述	179
第二节 光谱技术在乳制品掺假鉴别中的应用	185
第三节 色谱技术在乳制品掺假鉴别中的应用	193
第四节 低场核磁共振技术在乳制品掺假鉴别中的应用	204
第五节 电子鼻和电子舌技术在乳制品掺假鉴别中的应用	209

第五章 肉类及水产品掺假鉴别检测技术 220

 第一节 聚合酶链反应检测技术 220

 第二节 酶联免疫分析法（ELISA） 258

 第三节 近红外光谱检测技术 268

 第四节 色谱和质谱法检测 279

参考文献 300

第一章 食用植物油真伪鉴别 与以次充好鉴别技术

第一节 食用油掺假概述

1.1 食用油简介

油脂是人类食谱上的重要成员和人体三大营养素之一,目前市场上的食用油质量参差不齐,掺假的食用油对国内外市场形成了较大的冲击。一些生产经营者为了获取暴利,在高价植物油中掺入低价油,甚至还有有的厂家将国际禁用的有毒物掺入食用油中,或将过期变质油品掺入合格油中以次充好,明显降低了原来油脂的营养价值,并且残留大量的苯并芘和芳烃类化合物,还会生成一些非挥发性氧化物、二聚体、多聚体和环化物等。长期食用上述油脂会对人体的肝脏、肾脏、卵巢、小肠等造成很大危害。这些质量问题,不仅严重影响了市场经济的健康发展,同时对油脂生产企业的健康发展带来了很大的负面影响。为了减少食用油掺假现象,建立有效鉴别食用油掺假的方法,同时加强监督管理,对确保食用油质量和人民健康具有重要价值。

1.1.1 食用油的成分

油脂的主要成分是由脂肪酸和甘油化合而成的天然化合物——甘油三酸酯,除此还有少量的甘一酯、多醇、三萜醇、色素、脂溶性维生素等。食用油中含有人体不能合成却又不可缺少的重要营养成分,可以提供人体必需脂肪酸,增强肌体免疫力和延缓衰老等功效,是人类重要食物之一。食用油的基本成分就是四种十八碳酸,硬脂酸($C_{18}:0$)、油酸($C_{18}:1$)、亚油酸($C_{18}:2$)、 α -亚麻酸($\alpha-C_{18}:3$)。根据饱和度之间的差异性,可以将脂肪酸划分为饱和(SFA)与不饱和(USFA)两种;USFA又可划分为单不饱和(MUFA)和多

不饱和(PUFA)两种。其中 SFA 主要包含山嵛酸(C22 : 0)、花生酸(C20 : 0)、硬脂酸(C18 : 0)、软脂酸(C16)、豆蔻酸(C14 : 0)、月桂酸(C12 : 0)。MUFA 主要有豆蔻油酸(C14 : 1)、棕榈油酸(C16 : 1)、油酸(C18 : 1)。PUFA 主要有亚油酸(C18 : 2)、亚麻酸(C18 : 3)、花生四烯酸(C20 : 4)、DHA(C22 : 6)、EPA(C20 : 5)等。

世界卫生组织推荐人类膳食脂肪中 SFA、MUFA、PUFA 的比值应改为 1 : 1 : 1,“1 : 1 : 1”也被一些国家的营养学家推荐为一种广泛的膳食标准。每种脂肪酸对人体的生理作用都不尽相同,不饱和脂肪酸是人体必需的营养物质,它能够促进身体发育和智力的增长;改善血液微循环,提高免疫力;抗癌、抗肿瘤,预防心血管等疾病;对风湿性关节炎、胃炎等的恢复具有保健作用;在延缓衰老、减肥、美容等方面具有重要生理作用,并且每种油脂均含有特定的脂肪酸种类及含量。日常生活中常见的食用油有花生油、豆油、玉米油、芝麻油、菜籽油、橄榄油等。

1.1.2 食用油掺假鉴别方法研究现状

传统的检测方法有感官检测和理化指标检测。但是有些不法商贩经过过滤、吸附等处理手段使掺假后油脂的各项指标基本接近正常好油,因此传统的利用食用油色泽、透明度、气味等感官检测方法已很难实现辨别。据文献报道,理化指标的检测例如对其水分及挥发物、重金属、折光率、酸值、过氧化值等指标的检测也不能作为准确鉴别劣质油的依据。通过对废油脂的精炼和处理,一些油脂的常规化指标基本能够达到或接近国家卫生标准规定的水平,因此出现了一些常用仪器检测方法。

1.2 食用油检测方法

1.2.1 薄层色谱法

薄层色谱法是一种常用的层析方法,能够使脂肪酸、氨基酸、生物碱、类固醇等多种物质达到快速分离。黄军等利用薄层分析法,对泔水油进行卫生指标检测。结果表明:劣质油经过脱酸、脱色、脱臭处理后,其中的黄曲霉毒素 B1 及苯并(a)芘的含量分别超出国家规定食用植物油卫生标准的 5% 和 10%,该方法灵敏度和准确度较低,当原来油脂中掺入少量其他油脂时该方法并不能达到准确的检测。

其次有研究者制得微型薄层色谱试纸条,它是以塑料板为载体,利用游

离脂肪酸能使喷溴甲酚绿指示剂改变颜色的原理制得。检测时只需在指示剂上滴上劣质食用油,利用它能够使试纸变色的原理,进而得出酸价范围,可以达到快速检验食用油变质的目的。该方法适用于现场对地沟油的快速鉴定,具有很大的推广潜力。

1.2.2 电导率法

油脂本身的电导率很低,但是当混入可电离物质或者金属离子后其电导率就会很高。目前,通过检测电导率的高低进而对食用油掺假现象进行判断的研究很多,王飞艳等总结前人经验,通过测定水相电导率实现了对劣质油脂的快速检测,发现地沟油的电导率明显比合格植物油的电导率高。该方法的优点在于可以快速、简便地断定其是否掺伪。

1.2.3 胆固醇法

胆固醇多含于动物油脂中,一般不包含于或极少存在于植物油中,因此可以通过胆固醇含量的测定来判定植物油中是否掺有动物油脂或者地沟油。目前通常使用高效液相色谱、酶法、薄层层析、气相色谱-质谱等方法来测定植物油中胆固醇的含量。其中高效液相色谱法适用于测定生物制品中的胆固醇,酶法适用于血清、血浆中胆固醇含量的测定。气相色谱-质谱法是一种较好的分析方法,并得到了国际上的认可,日本等均采用此法。

1.2.4 近红外光谱法

谢梦圆等利用劣质油脂与正常好油之间的光谱差异,对其进行了近红外光谱分析,利用光谱峰强度之比判断是否为劣质油或者掺假油。Vlachos 等利用傅里叶转换红外光谱仪(FTIR)检测橄榄油掺伪低价植物油,可实现快速无损的定性或定量检测。李娟采用近红外光谱法和 FTIR 对地沟油进行分析测定,并结合聚类、簇类独立软模式识别(SIMCA)和人工神经网络的数值分析方法对其数据进行分析,建立分类识别模型,其中 FTIR-SIMCA 分析方法得到了很好的分析效果。

1.2.5 核磁共振法

核磁共振鉴别法是基于油脂中固体脂肪含量在射频脉冲信号衰减上的差别来反映被测样品的纯度。王乐等利用此方法检测出了废弃动物油和泔水油的固体脂肪酸值远远大于新鲜食用植物油,该方法测量精度高,当合格植物油中掺入 1% 的地沟油时即可检测出来。此方法适合用于掺假油脂的快

速检测,但实验仪器昂贵,不利于全面普及应用。

1.2.6 脂肪酸分析法

每种植物油脂或动物油脂都有自己特定的脂肪酸含量,利用气相色谱和质谱技术对每种油脂进行定性、定量分析,测出其中的脂肪酸含量并建立成脂肪酸谱图数据库。许秀丽等对多种植物油、动物油和 20 多种地沟油的脂肪酸含量做了研究,汇总成指纹谱图数据库,依据此谱库可以实现油脂的归属判别。实验发现正常油脂的特定脂肪酸如月桂酸、肉豆蔻酸和十七烷酸的含量与掺假后油脂的所含量具有明显差异并且测得的脂肪酸相对不饱和度值明显大于劣质油脂中的脂肪酸相对不饱和度值,可以作为掺假后的判断依据。

第二节 脂肪酸组成

2.1 脂肪酸简介

2.1.1 脂肪酸的种类

脂肪酸(fatty acids)是由碳氢组成的直链烃类基团连接一个羧基末端构成的一类羧酸化合物。自然界中的脂肪酸种类很多,而膳食脂肪酸一般为偶数碳的脂肪酸。脂肪酸通常采用的分类方法是根据碳链长度、饱和度和双键位置,而根据饱和度和双键位置分类在营养学界和医学界较为多见。

按照不饱和程度分类,可分为三大类:饱和脂肪酸(saturated fatty acids, SFA),单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA),多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)。SFA 是指碳链上没有碳碳双键的脂肪酸;MUFA 是指碳链上仅有一个碳碳双键的脂肪酸,膳食中的单不饱和脂肪酸以油酸最为常见,动物油中含量丰富;PUFA 的碳链上存在两个或两个以上的碳碳双键,两个双键之间一般间隔一个亚甲基,最主要的 PUFA 为亚油酸和亚麻酸。

根据双键位置不同,将甲基端的碳原子记为第 1 号碳原子,按照第一个双键出现的碳原子位置来命名。如距甲基端的第 3 个碳原子上出现第一个双键,则记为 $n-3$ 。不饱和脂肪酸可分为 $n-3$ 、 $n-6$ 、 $n-7$ 和 $n-9$ 系列,其中, $n-3$ 和 $n-6$ 多不饱和脂肪酸以及 $n-9$ 系列的油酸具有重要的生物活性功

能,与人体的健康息息相关。严格意义上讲, $n-3$ 系列的 α -亚麻酸和 $n-6$ 系列的亚油酸是营养学上所说的必需脂肪酸,该类脂肪酸为人体健康和生命活动所必需的,人体自身不合成,必须从食物中摄取。

2.1.2 膳食脂肪酸的食物来源

饱和脂肪酸在动物油脂中的含量较丰富,如猪油、牛油、羊油、鸡油等;在植物油中,含饱和脂肪酸较多的植物油有椰子油、棕榈油,花生油中也含有较丰富的饱和脂肪酸。植物油脂中的饱和脂肪酸主要是棕榈酸、硬脂酸,常伴有少量月桂酸、肉豆蔻酸、花生酸、山榆酸。

单不饱和脂肪酸的分布较广泛,在橄榄油,油茶籽油、菜籽油、花生油、芝麻油中,都含有较丰富的单不饱和脂肪酸,其中橄榄油含有的单不饱和脂肪酸最为丰富,油酸为主,其含量在55%~83%左右,常伴有棕榈油酸。在某些动物性油脂中也含有单不饱和脂肪酸,如鸡油中的单不饱和脂肪酸在40%以上,还有文献报道,牛油中单不饱和脂肪酸含量在50%上,主要是棕榈油酸和油酸。

植物油脂中的多不饱和脂肪酸主要是亚油酸、亚麻酸,个别多不饱和脂肪酸还含有花生四烯酸等。植物油中亚油酸的含量比较丰富,如大豆油、葵花籽油、芝麻油、红花籽油、玉米油、棉巧油、花生油、核桃油等。而 α -亚麻酸在大宗植物油中较缺乏,只存在于某些特种植物油,如紫苏油 α -亚麻酸含量为56.14%~64.82%,罗勒籽油和荆芥油的 α -亚麻酸含量分别为55.4%和53.97%,亚麻籽油含 α -亚麻酸在50%左右;另外在一些海藻、微生物和深海鱼油中也含有比较丰富的 α -亚麻酸、 γ -亚麻酸、DHA和EPA等多不饱和脂肪酸,但这些食物在我们的日常餐桌上并不常见。

2.1.3 各类脂肪酸的生理功能

2.1.3.1 饱和脂肪酸的生理功能

人们对饱和脂肪酸生理功能的研究较早,传统观念认为饱和脂肪酸是引发各种心血管疾病及肥胖症的主要原因。但随着研究的深入,发现饱和脂肪酸对体内胆固醇水平的影响因其种类而异。碳链长度低于10个碳数的饱和脂肪酸对血清胆固醇的浓度基本无影响,而月桂酸和肉豆蔻酸都具有明显升高体内胆固醇的作用,硬脂酸对体内胆固醇的影响却不明显,甚至有一定的降低作用。Sugano等人研究了不同饱和脂肪酸对小鼠体内胆固醇水平的影响,实验结果也证实了硬脂酸可以减少肠道吸收胆固醇的量,从而降低机体

胆固醇的浓度。因此,以偏概全地给饱和脂肪酸冠“坏脂肪酸”之名并不确切。另一方面,饱和脂肪酸还具有某些积极的生理功能。研究表明,饱和脂肪酸具有预防和减轻酒精肝、增强精子在冷冻过程中保持活力的能力等重要作用。丁酸除了能够为机体提供生命活动所需的能量之外,还有很多重要的生理功能,如参与基因调控并防治癌症、促进肠道黏膜的增生、改善免疫功能及炎症反应、促进细胞的分化与凋亡、控制肿瘤细胞增殖等作用。据文献报道,月桂酸在体内具有一定的抗菌、抗病毒能力,还具有防龋和抗蚀斑的功能;肉豆蔻酸在升高血清胆固醇的同时还可以提高 LDL-C 和 HDL-C 的含量;棕榈酸和硬脂酸都能不同程度地降低血清胆固醇的浓度,硬脂酸还可以有效降低血栓、心肌梗塞及动脉硬化的发病率等。

现在肥胖的发生率越来越高,主要还是高脂饮食及能量过剩所造成的,尽管饱和脂肪酸有可能在一定程度上增加血浆胆固醇,但在控制摄入量的前提下,饱和脂肪酸还是会为人体健康带来益处的。

2.1.3.2 单不饱和脂肪酸的生理功能

天然单不饱和脂肪酸以油酸最为丰富,广泛存在于各种动物及植物油脂中。在橄榄油为主要膳食油脂的克里特人群中,冠心病的发病率极低,其原因是橄榄油中含有极为丰富的单不饱和脂肪酸,这表明 MUFA 极有可能与心脑血管疾病有着密切的关系,MUFA 的生理功能也因此成为人们研究与关注的焦点。

MUFA 具有调节血脂的作用。这种功效与 PUFA 似乎是相同的,然而 MUFA 在降低胆固醇方面的效应与 PUFA 又存在着差异。血浆胆固醇分为低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)两种,这两种类型的胆固醇对机体健康及发病率的影响是截然相反的。HDL-C 能有效预防动脉粥样硬化,而 LDL-C 含量升高可诱发动脉粥样硬化及冠心病。单不饱和脂肪酸在体内对这两种胆固醇的影响是不同的,研究证实,富含 MUFA 的油脂饮食对血清总胆固醇有整体降低的作用,同时降低低密度脂蛋白胆固醇,但对高密度脂蛋白胆固醇的浓度影响不大。大量研究表明,MUFA 具有调节血脂的功能,表现为降低低密度脂蛋白胆固醇和总胆固醇,减少血浆中的总甘油三酯,但不会引起高密度脂蛋白和载脂蛋白 AI 的明显降低,从而起到预防高胆固醇血症、动脉粥样硬化及冠心病等心血管病发生的作用。

MUFA 具有降血糖的作用。施万英等探讨了 MUFA 的降血糖功能,通过对富含 MUFA 的肠内营养制剂(Clucema)与Ⅱ型糖尿病患者的血糖及血脂水平的影响进行研究,发现高 MUFA 含量的 Clucema 对降低Ⅱ型糖尿病

患者的血糖水平,尤其是餐后血糖水平具有显著的效果。

MUFA 对心脏有保护作用,周斌等研究了茶油中 MUFA 对梗阻性黄疸大鼠的心脏的影响,实验结果显示,高 MUFA 的茶油能明显增强心肌细胞线粒体内 SDH 活性;对梗阻性黄疸大鼠心肌细胞肌丝结构和线粒体膜、核膜的形态及功能具有一定的保护作用,表明 MUFA 对梗阻性黄疸心脏具有一定的保护作用。

另有文献报道,MUFA 可有效控制血小板聚集以及促进血纤维蛋白溶解,抑制血栓的形成,增强血浆中 LDL 的抗氧化能力,维持内皮细胞功能。MUFA 还能有效降低危重症病人的过度炎症反应,减轻氧化应激损伤。MUFA 具有抗癌功效,刘蕾等人对女性血浆游离脂肪酸组成谱及其与乳腺癌的相关性进行了研究,结果表明,MUFA 与乳腺癌的发病率呈负相关。

2.1.3.3 多不饱和脂肪酸的生理功能

与 SFA 和 MUFA 相比,PUFA 生理及保健功能的研究更为广泛,另外,多不饱和脂肪酸中包括了人体的必需脂肪酸,这就更加突出了 PUFA 的重要性,其营养保健功能和对疾病的防治作用在医药、保健食品、化妆品等多个领域都受到了极大的关注。

PUFA 具有调节血脂的作用。大量实验表明,PUFA 可以有效调控血浆总胆固醇和甘油三酯的水平。然而,也有实验显示,PUFA 对 LDL-C 和 HDL-C 的调节趋势并没有 MUFA 的效果理想。Rivellese 等研究了 SFA、MUFA 与 PUFA 对健康受试者禁食和餐后体内脂蛋白、低密度脂蛋白大小、饭后脂类代谢的影响,结果显示,虽然高 PUFA 饮食可以有效降低血浆甘油三酯的水平,但同时会升高 LDL-C 的浓度,而 HDL-C 的浓度有所下降,这种变化趋势并不利于体内脂质代谢和对心血管疾病的防治。

PUFA 具有抗血栓作用。王建中等人对鱼油 PUFA 的抗血栓功能进行了研究,采用高 DHA 和 EPA 鱼油多不饱和脂肪酸制剂分别做了动物实验和人体临床试验,实验结果表明,鱼油中 DHA 和 EPA 多不饱和脂肪酸能够有效抑制血小板聚集、延长出血时间,从而抑制血栓的形成。万瑞香等人通过实验证实, $n-3$ PUFA 在体内转化过程中形成的衍生物能够有效抑制血栓的形成。

PUFA 对细胞膜功能起着重要作用,是细胞膜和细胞器膜磷脂的重要组成部分,维持细胞中生物膜的完整性和正常的生理功能;PUFA 能够促进细胞生物膜的流动化,维持各种细胞生物膜的正常形态及功能特性;但 PUFA 摄入过量又会导致细胞膜脂质过氧化的敏感性增强,破坏细胞功能。

PUFA 具有抗癌的作用。 $n-3$ PUFA 能有效抑制肿瘤细胞的生长增殖并诱导其凋亡,降低恶性肿瘤如乳腺癌、胃癌、结肠癌、前列腺癌等癌症的发病率。韦娜等研究了 $n-6$ 与 $n-3$ PUFA 不同比例对乳腺癌细胞脂代谢调控基因的影响,试验结果显示低 $n-6/n-3$ 比值能够显著抑制脂代谢调控基因表达及信号转导,发挥抗乳腺癌细胞增殖效应;而刘蕾等的研究表明,血浆游离脂肪酸中 $n-6$ PUFA 的量及 $n-6/n-3$ 的比值与乳腺癌的发生呈正相关,这说明合理的膳食脂肪酸摄入方可有效预防疾病的发生。也有文献表明, $n-6$ PUFA 摄入过多,主要是亚油酸,有诱发乳腺癌的危险,可见,不同种类及比例的 PUFA 在体内发挥的效应也不同,甚至会对健康产生负面影响。以上研究显示,人体摄入的 $n-6/n-3$ PUFA 比例失衡可能是导致现代流行性疾病发生的一个重要原因。

PUFA 具有抗炎和调节免疫功能的作用,合理补充 PUFA 对机体抵抗炎症及增强免疫功能具有良好的效果。李群珍等探讨了 $n-3$ PUFA 对结直肠癌病人术后营养状况、炎症反应和预后的影响,研究发现, $n-3$ PUFA 能有效减轻结直肠癌病人术后的炎症反应,提高蛋白质合成速度、改善营养状况,促进肠功能恢复,增强机体免疫功能,减少术后并发症,但是过高的 $n-6$ PUFA 与 $n-3$ PUFA 比值不利于术后免疫功能的恢复及炎症反应的缓解。陈晓琳等人将 $n-3$ 多不饱和脂肪酸含量较多的鱼油脂肪乳应用于老年重症肺炎病人,观察其对患者炎症反应、细胞免疫功能的影响,结果显示, $n-3$ PUFA 能有效减轻老年重症肺炎患者机体炎症反应,改善细胞免疫功能。郝薇研究了 $n-3$ PUFA 对人肝细胞和巨噬细胞抗炎的作用,实验证实,EPA 不仅对巨噬细胞和肝细胞有直接的抗炎作用,而且可以通过激活的巨噬细胞对肝细胞发挥间接的抗炎作用。

此外, $n-3$ PUFA 中的 DHA 与 EPA 能够维持大脑正常功能、促进婴幼儿大脑发育、改善学习记忆能力; $n-3$ PUFA 在抑制肥胖的发生和发展、控制体重、降低食欲方面起到一定的积极作用,但高 $n-6$ PUFA 膳食对于控制肥胖的发生却是不利的,甚至会诱导肥胖的发展。 $n-3$ PUFA 具有保护视力的作用,添加 DHA 配方比不添加的人工喂养婴幼儿,一岁后视力明显较好。

上述研究表明,体内 $n-6/n-3$ 多不饱和脂肪酸比例的改变,会引起二者生理功效的协同或拮抗两种截然不同的作用。这也暗示,现代流行性疾病的发生或许与人们的高 $n-6$ PUFA(主要是烹调油脂中的亚油酸)膳食有关,而并非只是饱和脂肪酸所致。