

油炸与油炸食品中的反式脂肪酸产生、危害及消减

卫璐琦, 刘 彪, 张雅玮, 吕慧超, 刘森轩
(南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095)

摘 要: 反式脂肪酸(trans fatty acids, TFA)一般天然存在于反刍动物体内,或在油脂精炼、加热、氢化加工过程中产生。不恰当的加工方式,如高温加热或油炸等,也会产生一定量的TFA,且不同加工条件对TFA生成量的影响程度不同。TFA对人体健康的影响是多方面的,因此更需要在油脂烹调过程中对其加以控制。本文从TFA的结构、来源、不同加工条件对其形成的影响、危害和消减措施等方面做出阐述,对我国目前暴露量进行分析并提出相关的建议。

关键词: 反式脂肪酸; 油炸; 健康危害; 绿色制造技术

Formation, Health Hazards and Reduction of Trans Fatty Acids in Fried Foods

WEI Lu-qi, LIU Biao, ZHANG Ya-wei, LÜ Hui-chao, LIU Sen-xuan
(College Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Trans fatty acids (TFA) are non-conjugated unsaturated fatty acids with at least one trans double bond in the molecule. TFA naturally occur in small amounts in ruminant animals or are formed during oil refining, heating and hydrogenation. Improper cooking methods such as high-temperature heating and deep frying may also induce the formation of TFA, which depends on cooking conditions. TFA may cause hazards to human health in multiple ways. Thus, it is very necessary to control the formation of TFA in cooking oils. This article elucidates the chemical structure, sources and health hazards of TFA, the influence of cooking conditions on their formation. Moreover, some suggestions are proposed for dietary exposure assessment to TFA.

Key words: trans fatty acids (TFA); frying oils; health hazards; green manufacturing technology

中图分类号: TS221

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2014) 07-0032-06

油脂与人类的生活息息相关,它不仅可以增加菜肴的色、香、味,为人类提供大约1/3的能量,还能通过加工各种类型的食物丰富日常饮食,满足了人们对美食的追求。然而,油脂的加工过程,如油脂精炼、氢化及高温油炸加工等,在带给人们美好的味觉享受的同时,也会产生一些有害健康的物质,比如反式脂肪酸。在人们喜爱的奶油蛋糕、冰淇淋、曲奇、薯片、炸鸡、薯条等由人造黄油、起酥油、煎炸油等油脂制成的食品中,也含有较大量的反式脂肪酸。

1 反式脂肪酸的结构

脂肪酸是构成三酰基甘油酯的基本结构单位之一,可以分为饱和脂肪酸(saturated fatty acids, SFA)

和不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acids, UFA),后者又可根据不饱和键的数量不同分为单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFA)和多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA)。在饱和脂肪酸的碳链中不含有双键,碳原子之间以单键相连,而不饱和脂肪酸中所含的双键在一定程度上限制了不饱和脂肪酸的空间构型,使其可以因双键两侧碳原子所连的氢原子是否在同一侧而形成顺式结构(或“z”型, *cis*-, 氢原子在同侧,碳链以盘旋结构构成空间构型)或反式结构(或“e”型, *trans*-, 氢原子在异侧,碳链以直线结构构成空间构型)(图1),从而形成多种空间异构体^[1-2]。

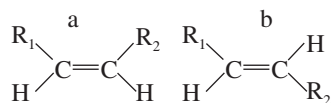
反式脂肪酸(trans fatty acids, TFA)是分子中至少含有一个反式双键的非共轭不饱和脂肪酸。一般天然的不饱和脂肪酸大多为顺式结构,但在油脂某些加工过程

收稿日期: 2014-06-13

基金项目: 国家现代农业(肉牛牦牛)产业技术体系建设专项(nycyt-38)

作者简介: 卫璐琦(1992—),女,本科,研究方向为食品质量与安全。E-mail: 474797805@qq.com

中,受到加工条件的影响,不饱和脂肪酸中的双键可能会发生位置的改变(位置异构)或从顺式变为反式(顺反异构),从而产生TFA。



a.顺式脂肪酸; b.反式脂肪酸。

图1 顺、反式脂肪酸结构示意图

Fig.1 Structures of *cis*-/*trans*-fatty acids

2 反式脂肪酸的产生和来源

膳食中的TFA根据个人膳食结构和饮食习惯的不同而有所差异,其来源较为广泛。

一般天然存在的TFA主要来源于反刍动物(如牛、羊等)脂肪组织及其乳脂,但含量相对较低,主要由反刍动物瘤胃中共生的丁酸弧菌属菌群等多种细菌共同作用,在将饲料中所含的部分不饱和脂肪酸酶促生物氢化生成饱和度较高的终产物的过程中,形成中间产物TFA^[3-6],所生成的TFA可以结合于机体脂肪组织或分泌到乳汁中,使其制品中也含有TFA。例如,牛奶中总TFA含量为44.730 mg/g脂肪、牛肉中为21.498 mg/g脂肪、奶油中为63.362 mg/g脂肪^[3],一般牛脂、牛奶中的TFA以单不饱和脂肪酸为主,并以反式11-十八碳一烯酸(11*t*-C_{18:1})含量最多^[7],且其含量可能因物种、饲料、地区和季节等不同而不同^[8]。但由于这种天然来源的TFA可以部分转化为对人类健康有益的共轭亚油酸(conjugated linoleic acid, CLA),目前普遍认为它对人类的健康危害不大^[9-11]。

在油脂脱臭精炼的过程中,油脂中的不饱和脂肪酸由于暴露在空气和高温环境中,易发生热聚合反应等化学变化而异构化生成TFA。TFA的形成量与脱臭温度、脱臭时间以及植物油的种类有关,脱臭温度越高、高温状态持续时间越长,TFA形成量也就越多^[12]。Ferrari等^[13]使用Sato-10色谱柱(50 m×0.32 mm, 0.25 μm)分别检测化学精炼前后的大豆油、菜籽油和玉米油样品,测得精炼后TFA分别增加了4.5%、2.3%和1.0%,且增加的工艺段主要集中在脱臭阶段。Tasan等^[14]研究葵花油在不同精炼阶段的TFA,检测到化学精炼葵花籽油的平均TFA含量增加小于1%,主要集中在脱臭阶段,而物理精炼的葵花籽油中平均TFA含量增加了2.5%,主要集中在脱色和水蒸汽蒸馏阶段。

油脂的氢化过程虽然可以增加油脂的煎炸稳定性^[15],但是也会有金属味或由于高温高压的催化条件下发生的异构化而产生较大量TFA。TFA的含量和种类由于氢化条件、氢化深度和原料中不饱和脂肪酸含量的不同而有较大的差异,一般以反式油酸(*trans* C_{18:1})为主^[16]。有

研究表明,受到加工方式、加工条件、加工原料、食品类型、地域分布及生产商等诸多因素的影响,氢化油的TFA含量在一般5%~45%之间,甚至可高达65%^[17]。

此外,不恰当的烹调习惯,如将油加热至冒烟、长时间反复高温使用煎炸油等,都可能增加烹调油中TFA的含量。

3 加工方式对反式脂肪酸形成的影响

3.1 加热对反式脂肪酸含量的影响

植物油冒烟的温度通常大于200℃(如花生油201℃、大豆油208℃、玉米油216℃、菜籽油225℃),很多人在用植物油烹调食物时常常将油加热到冒烟,却不知这样会导致油脂中TFA的产生;一些反复煎炸食物的油脂温度更是远高出油脂发烟的温度,使煎炸油及油炸食品中所含的TFA随油脂使用时间的延长而增加。

煎炸油在180℃温度下加热的过程中,煎炸油中的TFA呈上升趋势,在加热过程中不饱和脂肪酸在高温环境中发生自动氧化。在链引发阶段中,不饱和脂肪酸双键旁边的碳失去一个氢,形成自由基,自由基发生共振,达到稳定状态即反式结构,这时自由基与氢自由基结合就形成了TFA,因此在高温催化下煎炸油中的TFA含量增加^[18-19]。Yang Meiyang等^[20]研究玉米油加热过程TFA的形成,发现在180℃加热2 h以上,TFA含量显著上升,且其含量随温度进一步升高而增加;260℃加热12 h后总TFA含量和C_{18:1}、C_{18:2}含量均升高,然而亚油酸和α-亚麻酸在相同条件下含量均降低,说明温度,尤其是高温可显著诱导不饱和脂肪酸的反式异构。夏季亮^[21]又通过用菜籽油、葵花籽油、茶籽油、玉米油、花生油5种食用油在150、180、210℃这3个温度下油炸土豆条,以检测其中各种脂肪酸组成的变化,研究发现,不同植物油中由于各类脂肪酸,特别是SFA、MUFA、PUFA的含量不同,导致其在煎炸过程中受煎炸温度和煎炸时间的影响不同,而呈现不同的趋势,从这5种食用油中各类脂肪酸含量变化趋势可以看出,这5种植物油在油炸过程中,随着时间的增加,TFA的含量整体都呈现增加趋势,当煎炸温度为150℃与180℃时TFA含量的上升幅度相近都是比较平缓的,而210℃时TFA含量的上升剧烈,变化幅度最大。苏德森等^[22]在研究食用油加热过程时还发现,在各种TFA中,高不饱和度的TFA比低不饱和度的TFA更容易生成或变化;在相同碳数、相同不饱和度的TFA中,反式异构数量越少的TFA越容易生成,对称性越高的TFA越容易生成;同时,TFA的生成与食用油中的不饱和脂肪酸组成及含量密切相关,食用油中某种顺式脂肪酸含量高的,其相应TFA含量也较高。

3.2 油炸对反式脂肪酸含量的影响

油炸作为目前国内外最常用的加工手段之一,其研究具有重要意义。随着油炸时间的延长,煎炸油发生很多复杂的物理化学变化,如氧化反应、水解反应、聚合反应等,导致煎炸油品质劣化,且经过长期高温加热的油脂中由于油脂劣变,不仅破坏VB,使VA、VE、VD、VK及亚麻酸、亚油酸等必需脂肪酸氧化,还会使油脂颜色变深,黏度增加,导热下降,并产生杂环芳胺、多环芳烃及成分复杂的TFA等有害物质,更严重者,油脂会裂解形成醛基、羰基、酮基、羧基等化合物,产生哈败味、肥皂味、辛辣味、油腻味等刺鼻或不愉快的气味,影响油脂及油炸食品的感官品质。

有学者认为,在煎炸过程中,是否更换新油、油炸的时间和温度、煎炸油的品质、食物成分、煎炸锅的类型、抗氧化剂的种类及溶解氧的含量等都会影响煎炸油的品质^[23]。Tyagi等^[24]研究煎炸油在煎炸过程中的组成和特性的变化,发现油脂在170、180、190℃煎炸70 h后反式异构体含量升高,认为脂肪酸在高温煎炸过程中有发生异构化的可能。夏季亮等^[25]研究了煎炸时间和煎炸温度对花生油脂肪酸组成的影响,认为煎炸温度的升高和煎炸时间的延长都能导致花生油中的中碳链脂肪酸、奇数碳链脂肪酸和TFA的含量增加,同时导致多不饱和脂肪酸含量下降。杨滢等^[26]以常见油炸食品鸡柳作为原料,采用大豆油、山茶油和棕榈油作为煎炸油,对连续无添加新油的油炸模拟体系中TFA的变化进行研究,发现大豆油TFA含量最高,平均值为15.53 mg/g,棕榈油中TFA含量最低,平均值为1.36 mg/g。采用不同食用油炸的鸡柳脂肪中脂肪酸进行测定发现,其组成与所使用的食用油非常一致,说明鸡柳在油炸过程中会吸收一定量的煎炸油,使鸡柳中的总TFA的含量都有所增加。王维涛等^[27]对玉米油和鱼油调的油煎炸实验结果表明,煎炸温度和时间对油脂总TFA含量影响显著。在煎炸温度低于220℃、时间小于2 h时,油脂中总TFA含量上升缓慢;在温度不小于220℃、时间不小于2 h条件下煎炸,油脂的TFA含量能迅速增至原油中含量2~3倍。宋志华等^[28]和牛翠娇^[29]的研究也表明,油炸食品中的TFA含量与油炸时间和煎炸油反复使用的周期长短有关,煎炸油反复使用周期越长,油炸时间越长,越容易发生异构化,TFA的含量越高,甚至高达20%以上。

然而,张铁英等^[30]对煎炸过程中TFA的变化的研究结果显示,豆油、棉籽油和棕榈油煎炸鸡翅和薯条过程中其TFA含量均没有显著增加,同时TFA含量较高的氢化油(10.39%)煎炸鸡翅和薯条后,其TFA含量分别显著降低至6.66%和6.80% ($P<0.05$),但其煎炸后的油脂中仍保持较高水平的TFA含量。张铁英等^[31]又模仿国内外常用的煎炸和煎炒的烹调方式,研究不同加工条件

下食物中TFA含量变化情况,发现在煎炸过程中煎炸油的TFA含量都显著降低($P<0.05$),认为长时间的煎炸并不会使煎炸油的TFA含量增加,而煎炸过程中煎炸油和油炸食品中TFA含量均无显著变化,且两种烹调方式下食物中TFA总量均小于0.30 g/100 g,处于较低水平,相对安全。Liu等^[32]研究氢化大豆油加热过程中TFA的形成,在160、180、200℃条件下加热24 h,并没有检测到TFA在氢化大豆油或非氢化大豆油中形成,说明TFA可能只在极端的加热条件下形成。章海风等^[33]的研究也发现,菜籽油和大豆油中的TFA含量并没有随着煎炸次数的增多而增大,并猜测其可能原因是由于高温下TFA也发生了氧化分解,导致了其含量的降低。

4 反式脂肪酸对健康的危害

近年来,已有许多关于TFA对健康影响的研究资料。TFA可以与其他脂肪酸一样通过脂质正常的吸收代谢途径进入人体内,参与人体新陈代谢,并可能在体内蓄积^[3]。TFA对健康的危害是多方面的。

4.1 反式脂肪酸与心血管疾病

大量关于TFA对心血管系统影响的相关的实验研究和流行病学调查数据均显示,相比于摄入相同数量的饱和脂肪酸,TFA对人体的危害似乎更大。不仅会增加对人体不利的低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein, LDL),还会增加对人体有益的高密度脂蛋白(high-density lipoprotein, HDL),提高血浆中LDL/HDL的比例,降低LDL的粒度大小,升高血浆脂蛋白Lp(a)的含量,并引起系统炎症及血管内皮功能障碍^[34],可能引起心肌梗塞^[35-36],提高冠心病、动脉硬化及血栓等的患病风险^[37-40]研究血浆磷脂反式脂肪酸,发现较高水平的反式C_{18:2}和较低水平的反式C_{18:1},与老年人心脏猝死有关,与缺血性心脏病的发病风险呈显著正相关^[38,41]。

4.2 反式脂肪酸与糖尿病

TFA摄入量过多还可能会使脂肪细胞对胰岛素敏感性下降,增大胰腺负担,容易诱发II型糖尿病,尤其会增加妇女患II型糖尿病的概率^[42-43]。有研究表明,在血糖不变的情况下,膳食反式脂肪酸会导致患非胰岛素依赖型糖尿病的肥胖病人的餐后血液中胰岛素含量增加^[44];饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸以及总脂肪的摄入量与女性II型糖尿病的发病风险没有关系,多不饱和脂肪酸有利于降低其发病风险,然而TFA却会提高该病的发病风险^[42]。

4.3 对脂肪酸及细胞膜的影响

TFA对正常脂质代谢也会产生影响。在对53名年龄在1~15岁之间的儿童(平均年龄为7.5岁)的血浆磷脂脂肪酸成分的分析中发现,各样品中均存在有TFA,且



占(1.78±0.10)%,并发现反式油酸与 n -6不饱和脂肪酸(尤其是花生四烯酸)的新陈代谢呈显著负相关,TFA可以抑制花生四烯酸的生物合成,干扰新生儿或儿童生长所必需的脂肪酸的组成结构及代谢,造成必需脂肪酸的缺乏,甚至影响到婴幼儿的正常生长发育^[45-46];在组织合成过程中,部分TFA可能会与饱和脂肪、多不饱和脂肪酸产生竞争,并优先占据细胞膜上的相应位点。也有研究认为TFA会改变红细胞细胞膜的脂质分布,直接影响到膜的通透性、流动性、钠离子通道的活性及信号传递功能^[41,47]。

4.4 反式脂肪酸与癌症

一些实验研究及调查发现,反式脂肪酸可能与某些癌症的发生有一定关系,如乳腺癌、结肠癌等^[48-49],在67岁以上的年龄段中TFA的摄入量与结肠癌的发生率有一定关系,不服用非甾体抗炎药而摄入较大量TFA的受试者发生结肠癌的风险要提高50%,但目前尚未形成定论,其机理也不完全清楚,但确有数据表明TFA可能会增加患结肠癌等的风险^[50]。

5 降低食品中反式脂肪酸的措施

5.1 选择相对合理的煎炸条件

适当降低煎炸油的油炸温度、减少油炸时间以及避免反复长时间使用煎炸油等都可以在一定程度上降低油炸过程中TFA的含量,同时还可以降低其他有害物质的生成量。

研究表明,在连续反复使用的葵花油作为煎炸油的过程中有丙二醛、极性化合物、过氧化物、TFA等有害物质的生成,研究还建议,间歇油炸过程中,煎炸油反复使用持续时间不宜超过16 h,以避免有毒、有害物质甚至致癌物质的生成量达到阈值而对人体健康产生损害^[51]。Romero等^[19]的实验数据说明在煎炸过程中持续添加新油可以减少脂肪酸构成的改变,从而减少食物中的TFA含量。但是当使用时间过长时,即便频繁添加新油也不能使煎炸油始终保持较好品质。

5.2 选择合适的煎炸油

煎炸油种类的选择非常重要。杨滢等^[26]以常见油炸食品鸡柳作为原料,采用大豆油、山茶油和棕榈油作为煎炸油,对连续无添加新油的油炸模拟体系中TFA的变化进行研究,发现其中TFA含量都有所增加,且增大的幅度为大豆油>山茶油>棕榈油,在一定程度上说明棕榈油比大豆油更适合作为煎炸油。Daniel等^[52]在实验中发现棉籽油中预油炸的薯条TFA和饱和脂肪酸含量均降低,认为采用非氢化的棉籽油作为煎炸油可以减少薯条中的TFA。

5.3 采用先进技术

传统的食品加工技术,尤其是肉制品加工,多采用

煎、炸、烤等加工工艺,由于美拉德反应而使产品具有特有的诱人的色、香、味,不仅符合中国饮食文化,更是深受消费者的喜爱。然而油炸等加工方式在带给食品诱人的色泽和风味的同时,还会产生苯并芘、杂环胺及TFA等有害物质,且随着精加工时间延长,有害物质的产生量也越大。虽然适当降低油炸温度、缩短油炸时间并避免反复长时间使用煎炸油等可以在一定程度上降低油炸过程中部分TFA的含量,但并不能从根本上消除油炸过程中有害物质TFA的产生及其对油炸食品产生的不利影响。

邵斌等^[53]采用非卤煮、非高温烧烤、非烟熏禽肉加工技术对中国传统禽肉制品——烧鸡进行加工,在较低的加工温度和较短的加工时间的条件下保证传统烧鸡的色、香、味、形的同时,最大程度地降低了有害物质的产生,新工艺加工出的烧鸡的苯并芘含量及杂环胺含量分别为0.22 μg/kg和1.21 μg/kg,远远低于传统工艺加工的烧鸡中的4 μg/kg和108 μg/kg。有学者在研究肉类传统加工方式的基础上,提出肉制品绿色制造技术的概念,采用优质原料,利用绿色化学原理及手段,将产品在生产链各阶段可能产生的危害降到最低,以达到经济效益和社会效益的协调优化,并对传统加工的禽肉制品、熏鱼及熏肉制品的绿色制造技术做出了阐述^[54-56]。

6 暴露量及建议

目前市场上销售的起酥油、人造黄油等氢化油制品及油炸食品,比如起酥面包、曲奇、奶油蛋糕、夹心饼干、泡芙、冰淇淋、薯片、薯条、汉堡、炸鱼、炸鸡、油条等,因便捷和美味而深受消费者喜爱,然而这些食品中的TFA含量也相对很高,如起酥面包的TFA与总脂肪百分比为3.84%,炸鸡为2.08%,夹心饼干为12.0%,油条甚至可高达20.4%^[29]。在2003年世界卫生组织(World Health Organization, WHO)/联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)专家委员会发表的报告中指出,为预防膳食相关的慢性疾病,如心血管疾病、II型糖尿病等,保护人体健康,TFA的最大摄入量不宜超过摄入总能量的1%^[57],如果按一个成年人平均每天摄入能量2000 kcal来计算,则每天摄入TFA不应超过2.2 g。也就是说,假设某种点心的含油量为20%,按TFA占总脂肪量的20%的水平来计算,仅食用100 g就可能摄入4 g的TFA,远超过WHO和FAO规定的推荐摄入量。根据牛翠娇^[29]对煎炸类、焙烤类、休闲类食品中TFA在青少年人群中暴露评估的统计分析,调查地区内青少年人群的TFA人均日摄入量为2.22 g/d,其中中小学生的TFA人均摄入量最高,达3.42 g/d。在日常生活中消费者(尤其是青少年)对这些食物的摄入量较大,TFA摄入很量容易偏高,对此需要引起足够的重视。



在食用油方面, 根据相关资料的调查及测定结果, 在2002年我国城市和农村仅植物油摄入量达到40.2 g/标准人日和29.9 g/标准人日^[58], 我国居民常用的各种植物油中TFA含量也相差较大, 平均总TFA量大豆油为2.3%、菜籽油为3.4%、玉米油为3.9%、葵花籽油为1.9%、棕榈油为0.20%^[59]、花生油为0.6%、芝麻油为0.6%、调和油为2.52%^[60]。

我国卫生部2007年发布的《中国居民膳食指南》建议, 每人每天食用油摄入量不超过25 g; 总脂肪的摄入量要低于每天总能量摄入的30%, 同时建议我国居民要“远离反式脂肪酸, 尽可能少吃富含氢化油脂的食物”。在卫生部于2010年发布的多项乳品安全国家标准中, 对婴幼儿相关食品的原料和终产品的TFA含量做出了限定。

然而目前, 煎炸油在烹调过程中产生TFA的相应机理和控制方法的研究尚不完善; 我国对TFA的相关学术研究也相对较少, 暂缺相关的人群调查资料, 难以对TFA的健康风险进行科学的评估, 在GB2716—2005《食用植物油卫生标准》、GB7102.1—2003《食用植物油煎炸过程中的卫生标准》等食用植物油的相关国家标准中, 也没有反式脂肪酸的相关测定指标或限量规定, 国家相关部门也尚未出台更多相关的监管措施和限量规定。希望相关的管理办法可以尽快出台, 对食物中TFA含量和每人每天TFA摄入量等做出合理科学的限定标准, 以科学地指导企业的生产, 保障居民健康饮食。

参考文献:

- [1] 张恒涛, 肖韦华, 王旭峰, 等. 食品中反式脂肪酸的研究现状及其进展[J]. 肉类研究, 2006, 20(4): 28-32.
- [2] 张金廷, 倪永全. 脂肪酸及其深加工手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 74-75.
- [3] 刘东敏. 食物中反式脂肪酸异构体的分析及我国居民反式脂肪酸摄入量的调查[D]. 南昌: 南昌大学, 2008.
- [4] JENKINS T C, WALLANCE R J, MOATE P J. Board-invited review recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem[J]. Journal of Animal Science, 2008, 86(2): 397-412.
- [5] PROELL J M, MOSLEY E E, POWELL G L. Isomerization of stable isotopically labeled elaidic acid to *cis* and *trans* monoenes by ruminal microbes[J]. Journal of Lipid Research, 2002, 43(12): 2072-2076.
- [6] KEWELOH H, HEIPIEPER H J. Trans unsaturated fatty acids in bacteria[J]. Lipids, 1996, 31: 129-137.
- [7] 宋伟, 杨慧萍, 沈崇钰, 等. 食品中的反式脂肪酸及其危害[J]. 食品科学, 2005, 26(8): 500-504.
- [8] ARO A, ANTOINE J M, PIZZOFERRATO L, et al. Trans fatty acids in dairy and meat products from 14 European Countries: the Transfair study[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 1998, 11(2): 150-160.
- [9] 谢明勇, 谢建华, 杨美艳, 等. 反式脂肪酸研究进展[J]. 中国食品学报, 2010, 10(4): 14-26.
- [10] MCGUIRE M A, MCGUIRE M K. Conjugated linoleic acid (CLA): a ruminant fatty acid with beneficial effects on human health[J]. Journal of Animal Science, 2000, 77(Suppl 1): 1-8.
- [11] FRITSCH J, STEINHART H. Analysis, occurrence, and physiological properties of trans fatty acids (TFA) with particular emphasis on conjugated linoleic acid isomers (CLA): a review[J]. Lipid/Fett, 1998, 100(6): 190-210.
- [12] 左青. 植物油的营养和如何在加工中减少反式酸[J]. 中国油脂, 2006(5): 11-13.
- [13] FERRARI R A, SCHULTE E, ESTEVES W, et al. Minor constituents of vegetable oils during industrial process[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1996, 73(5): 587-592.
- [14] TASAN M, DEMIRCI M. Trans fatty in sunflower oil at different steps of refining[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2003, 80(8): 825-828.
- [15] WARNER K, KNOWLTON S. Frying quality and oxidative stability of high-oleic corn oils[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1997, 74(10): 1317-1322.
- [16] DESTAILLATS F, de WISPELAERE M, JOFFRE F, et al. Authenticity of milk fat by fast analysis of triacylglycerols application to the detection of partially hydrogenated vegetable oils[J]. Journal of Chromatography A, 2006, 1131(1/2): 227-234.
- [17] 魏丽芳, 李培武, 谢立华, 等. 食用油中反式脂肪酸研究进展[J]. 食品工业科技, 2008, 29(2): 294-298.
- [18] 穆昭. 煎炸油加热过程品质变化与评价[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [19] MROMERO A, CUESTAC, SACHEZ-MUNIZ F J. Trans-fatty acid production in deep fat frying of frozen foods with different oils and frying modalities[J]. Nutrition Research, 2000, 20(4): 599-608.
- [20] YANG Meiyan, YANG Ying, NIE Shaoping, et al. Analysis and formation of trans fatty acids in corn oil during the heating process[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2012, 89(5): 859-867.
- [21] 夏季亮. 植物油中脂肪酸组成受煎炸影响的规律及其品质相关性的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013.
- [22] 苏德森, 陈涵贞, 林虬. 食用油加热过程中反式脂肪酸的形成和变化[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(1): 69-73.
- [23] CHOE E, MIN D B. Chemistry of deep-fat frying oils[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(5): 77-86.
- [24] TYAGI V K, VASISHTHA A K. Changes in the characteristics and composition of oils during deep-frying[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1996, 73(4): 499-506.
- [25] 夏季亮, 陈珂珂, 吴晶. 煎炸时间与煎炸温度对花生油脂肪酸组成的影响[J]. 中国油脂, 2013, 38(7): 76-81.
- [26] 杨滢, 陈奕, 张志芳, 等. 油炸过程中3种植物油脂脂肪酸组分含量及品质的变化[J]. 食品科学, 2012, 33(23): 36-41.
- [27] 王维涛, 李桂华, 赵芳, 等. 煎炸条件对油脂中反式脂肪酸及氧化物影响的研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2011, 32(3): 21-25.
- [28] 宋志华, 王兴国, 金青哲, 等. 油脂食品中反式脂肪酸含量研究[J]. 粮油加工, 2008(14): 67-69.
- [29] 牛翠娇. 食品中反式脂肪酸的检测及青少年人群暴露评估[D]. 保定: 河北农业大学, 2011.
- [30] 张铁英, 姜元荣, 陈雅琼. 煎炸油在煎炸过程中脂肪酸组成的变化[J]. 食品科学, 2013, 34(5): 132-136.
- [31] 张铁英, 姜元荣, 卢超, 等. 不同烹饪条件下食物中反式酸含量变化的研究[J]. 中国粮油学报, 2012(3): 43-47.
- [32] LIU W H, INBARAI B, STEPHEN, CHEN B H. Analysis and formation of trans fatty acids in hydrogenated soybean oil during heating[J]. Food Chemistry, 2007, 104(4): 1740-1749.
- [33] 章海凤, 周晓燕, 李辉, 等. 3种食用油在油条煎炸过程中的品质变化比较[J]. 食品科学, 2013, 34(22): 160-164.
- [34] MOZAFFARIAN D. Trans fatty acids: effects on systemic inflammation and endothelial function[J]. Atherosclerosis Supplements, 2006, 7(2): 29-32.



- [35] ARO A I, KARDINAAL A F, SALMINEN I, et al. Adipose tissue isomeric trans fatty acids and risk of myocardial infarction in nine countries: the EURAMIC study[J]. The Lancet, 1995, 35: 273-278.
- [36] ASCHERIO A, HENNEKENS C H, BURING J E, et al. Trans-fatty acids intake and risk of myocardial infarction[J]. Circulation, 1994, 89(1): 94-101.
- [37] MENSINK R P, KATAN M B. Effect of dietary trans fatty acids on high-density and low-density lipoprotein cholesterol levels in healthy subjects[J]. New England Journal of Medicine, 1990, 323(7): 439-445.
- [38] MOZAFFARIAN D, KATAN M B, ASCHERIO A, et al. Trans fatty acids and cardiovascular disease[J]. New England Journal of Medicine, 2006, 354(15): 1601-1613.
- [39] MENSINK R P, ZOCK P L, KATAN M B, et al. Effect of dietary cis and trans fatty acids on serum lipoprotein [a] levels in humans[J]. Journal of Lipid Research, 1992, 33(10): 1493-1501.
- [40] ZOCK P L. Dietary fatty acids and risk factors for coronary heart disease: controlled studies in healthy volunteers[M]. Landbouwwuniversiteit te Wageningen, 1995, 346: 1245-1246.
- [41] LEMAITRE R N, KING I B, MOZAFFARIAN D, et al. Plasma phospholipid trans fatty acids, fatal ischemic heart disease, and sudden cardiac death in older adults the cardiovascular health study[J]. Circulation, 2006, 114(3): 209-215.
- [42] SALMERON J, HU F B, MANSON J A E, et al. Dietary fat intake and risk of type 2 diabetes in women[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2001, 73(6): 1019-1026.
- [43] LOUHERANTA A M, TURPEINEN A K, VIDGREN H M, et al. A high-trans fatty acid diet and insulin sensitivity in young healthy women[J]. Metabolism, 1999, 48(7): 870-875.
- [44] CHRISTIANSEN E, SCHNIDER S, PALMIG B, et al. Intake of a diet high in trans monounsaturated fatty acids or saturated fatty acids: effects on postprandial insulinemia and glycemia in obese patients with NIDDM[J]. Diabetes Care, 1997, 20(5): 881-887.
- [45] DECSI T, KOLETZKO B. Do trans fatty acids impair linoleic acid metabolism in children?[J]. Annals of Nutrition and Metabolism, 1995, 39(1): 36-41.
- [46] KOLETZKO B. Trans fatty acids may impair biosynthesis of long-chain polyunsaturated and growth in man[J]. Acta Paediatrica, 1992, 81(4): 302-306.
- [47] LEMAITRE R N, KING I B, RAGHUNATHAN T E, et al. Cell membrane trans-fatty acids and the risk of primary cardiac arrest[J]. Circulation, 2002, 105(6): 697-701.
- [48] SLATTERY M L, BENSON J, MA K N, et al. Trans-fatty acids and colon cancer[J]. Nutrition and Cancer, 2001, 39(2): 170-175.
- [49] IP C. Review of the effects of trans fatty acids, oleic acid, *n*-3 polyunsaturated fatty acids, and conjugated linoleic acid on mammary carcinogenesis in animals[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1997, 66(6): 1523S-1529S.
- [50] 沈建福, 张志英. 反式脂肪酸的安全问题及最新研究进展[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(4): 88-91.
- [51] HEND HASSAN A L G. Alteration in fatty acid profiles and formation of some harmful compounds in hamour fish fillets and frying oil medium throughout intermittent deep-fat frying process[J]. World Applied Sciences Journal, 2011, 12(4): 536-544.
- [52] DANIEL D R, THOMPSON L D, SHRIVER B J, et al. Nonhydrogenated cottonseed oil can be used as a deep fat frying medium to reduce trans-fatty acid content in french fries[J]. Journal of the American Dietetic Association, 2005, 105(12): 1927-1932.
- [53] 邵斌, 张雅玮, 彭增超, 等. 传统烧鸡加工业面临的挑战和机遇[J]. 肉类研究, 2011, 25(5): 33-36.
- [54] 彭增超, 吕慧超. 绿色制造技术: 肉类工业面临的挑战与机遇[J]. 食品科学, 2013, 34(7): 345-348.
- [55] 吕慧超, 彭增超, 刘彪. 绿色制造技术在我国肉类工业中的发展[J]. 肉类工业, 2013(6): 45-49.
- [56] 王园, 惠腾, 赵亚楠, 等. 传统熏鱼中反式脂肪酸的形成机理及控制措施[J]. 肉类研究, 2013, 27(5): 40-44.
- [57] World Health Organization. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: report of a joint WHO/FAO expert consultation[R]. World Health Organization, 2003.
- [58] 中华人民共和国卫生部, 中华人民共和国科学技术部, 中华人民共和国国家统计局. 中国居民营养与健康现状[J]. 中国心血管病研究杂志, 2004, 2(12): 919-922.
- [59] 宋志华, 王兴国, 金青哲, 等. 植物油中反式脂肪酸含量及人体摄入量初估[J]. 中国油脂, 2008, 33(12): 76-79.
- [60] 高海军, 郭静, 李勇, 等. 我国主要食用植物油中反式脂肪酸的研究[J]. 中国油脂, 2012, 37(3): 1-5.

《中国油脂》(月刊)

国内邮发代号52-129 国外发行代号 M5889

追踪学科发展动态 报道行业新成果 关注油脂发展热点 共谋油脂创新未来

主要栏目: 油脂加工/油料蛋白/油脂化学/油脂储藏/油脂营养/新油源/特种油脂/油脂化工/生物柴油/综合利用/实用技术/检测分析/标准规范/食品安全/节能减排/环境保护/纵横信息/特色专栏/产品广告等。

发行对象: 从事油脂及相关行业规划、决策、咨询、研究、开发、生产、检测、工程服务、项目管理、工厂管理、设备运行、维修等组织和个人。

各地邮局均可订阅 我社常年办理邮购及逾期补订

大16开本 每本10元 全年120元

■ 邮局订阅: 邮发代号52-129

■ 邮局汇款: 710082 西安市劳动路118号 《中国油脂》杂志社

■ 银行转账: 开户单位: 西安中粮工程研究设计院有限公司

账号: 3700021709088100275

开户行: 工行陕西省分行营业部西安西关支行

地址: 陕西省西安市劳动路118号

邮编: 710082

电话: 029-88653157/888621360

传真: 029-88625310

E-mail: zyzoil@163.com

http://www.chinaoils.cn