

论著

上海地区部分市售食品中反式脂肪酸含量与组成分析

王涛¹,邱歆磊²,汪国权²,蔡美琴¹

(1. 上海交通大学医学院,上海 200025; 2. 上海市疾病预防控制中心,上海 200336)

摘要:目的 了解上海地区部分市售食品中的反式脂肪酸(trans-fatty acids, TFAs)含量以及异构体组成,为开展 TFAs 的风险评估和食品选择提供参考。方法 于2011年1~6月在上海市超市、面包店或快餐店中抽取具有代表性的9大类共106种市售食品,包括植物油、乳及乳制品、休闲食品、方便食品、快餐食品、饮料、小吃甜饼、调味品和畜禽肉及制品,采用银离子固相萃取(Ag⁺-SPE)结合气相色谱方法检测 TFAs 含量。结果 抽检样品中的 TFAs 以反式油酸(*t* C18:1)为主,反式多不饱和脂肪酸含量较少。除黑咖啡外,其余105种食品均检测到 TFAs,其中,巧克力派的 TFAs 含量最高(1 711.58 mg/100 g)。反刍动物食品和含乳及乳制品的食品中11*t* C18:1异构体含量较高(占总 TFAs 的53.9%~100.0%)。富含氢化油的休闲食品中9*t* C18:1异构体含量较高(占总 TFAs 的14.3%~87.7%)。猪肉和牛肉经加工后 TFAs 含量有不同程度降低。结论 市售食品中普遍检测到 TFAs,食物成分和加工过程不同总 TFAs 含量及异构体组成存在较大差异,预包装休闲食品和西式甜饼店食品含有较多的 TFAs。

关键词:反式脂肪酸;气相色谱;银离子固相萃取;食品

中图分类号:R155.5; TS221 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2012)03-0000-00

Analysis of trans-fatty acids contents and composition in some commercially available foods in Shanghai

Wang Tao, Qiu Xinlei, Wang Guoquan, Cai Meiqin

(Department of Nutrition, Medical College, Shanghai Jiao tong University, Shanghai 200025, China)

Abstract: Objective To investigate trans-fatty acids (TFAs) contents and composition in some commercially available foods of Shanghai, and provide reference for risk assessment and food selection. **Methods** During January ~ June 2011, 9 categories and totally 106 kinds of representative sold foods from Shanghai supermarket, bakery and fast food restaurant were assayed by silver ions solid phase extraction-Gas chromatography (Ag⁺-SPE/GC), including vegetable oil, milk and milk products, snacks, convenience foods, handy foods, beverages, ethnic foods and cakes, condiments and poultry meat and products. **Results** Trans-oleic acids (*t* C18:1) were main kinds of TFAs isomer in samples selected, and trans-polyunsaturated fatty acids only accounts for a small part. TFAs were found in 105 kinds of all the 106 products with black coffee an exception, in which chocolate pie was the highest content of TFAs (1 711.58 mg/100 g). 11*t* C18:1 isomer was relative high within ruminant animal foods and foods containing milk and milk products (accounting for 53.9% - 100.0% of total TFAs). 9*t* C18:1 isomer was relative high in snacks containing hydrogenated oil (accounting for 14.3% - 87.7%). TFAs contents of pork and beef processed were reduced to different extents. **Conclusion** According to the test, most commercially available foods in markets contain the TFAs, among whose ingredients and processing procedures diversify the total TFAs contents and the composition of isomers greatly. Some kinds of prepackaged snacks and foods from western cake stores contain more TFAs.

Key words: Trans-fatty acids; gas chromatography; silver ions solid phase extraction; foods

研究发现,TFAs 对血脂有不良影响^[1]、可增加

冠心病发生的危险性^[2]和降低胰岛素敏感性^[3],长期摄入氢化油来源的 TFAs 将增加患 II 型糖尿病的风险^[4-5]。但也有研究显示增加动物来源的 TFAs 摄入量,患冠心病的风险表现出不同程度的降低,至少没有增加^[6]。膳食中 TFAs 的主要来源是氢化油,占 80%~85%^[7],氢化油中的 TFAs 以 9*t* C18:1 异构体为主^[8]。反刍动物来源的 TFAs 占膳食总 TFAs 的 10%~20%^[9],以 11*t* C18:1 异构体为

收稿日期:2012-01-18

基金项目:2010年上海市食品药品监督管理局:部分食品中反式脂肪酸的风险评估(项目编号:RA2010-07)

作者简介:王涛 男 硕士 研究方向为反式脂肪酸的检测和暴露量估计 E-mail: wangtao30402@163.com

通信作者:蔡美琴 女 教授 E-mail: caimeiqin9@yahoo.com.cn

主^[10]。可见,不同来源的TFAs在膳食总TFAs中所占比例不同,而且异构体组成模式也不同,更重要的是对人体健康的作用不同。

目前食品中TFAs含量的各种检测方法存在一定局限性^[11-14],因此,现有研究资料中缺少食品中TFAs各异构体的信息^[15],这对食品中TFAs安全性的评价不全面。本研究采用Ag⁺-SPE/GC法检测106种市售食品中TFAs含量及异构体组成,以求获得较为全面的TFAs资料,对TFAs的暴露评估和科学评价食品中TFAs对人体健康的风险提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试剂

TFAs甲酯混标(GLC481B-N30-U)、9*t* C16:1(U-41M-F61-V)、6*t* C18:1(U-45M-J3-T)、9*t* C18:1(U-47M-JA18-V)、11*t* C18:1(U-49M-S7-U)、*t* C18:2(U-60M-O28-U),美国NU-CHEK公司,*t* C18:3(L6031),美国sigma公司,浓度均为10 mg/ml。三氟化硼、正己烷、无水乙醚、甲醇、乙醇、石油醚、无水乙醇、三氯甲烷、乙酸乙酯和甲苯(HPLC级)。淀粉酶、氯化钠、氢氧化钠、盐酸和硝酸银(分析纯)。

1.2 仪器与材料

6890型气相色谱仪配FID检测器(美国Agilent公司)、自动进样器,Supelco的SP-2560毛细管柱(100 m×0.25 mm×0.20 μm),万分之一电子天平,六孔恒温水浴锅,MILLIPORE(密理博)超纯水系统等。混合型阳离子交换填料PCX(天津Agela公司);C18填料(美国Supleco公司)。

1.3 样品

1.3.1 样品来源

根据《中国食物成分表2002》^[16]中的食物种类和我国居民的饮食习惯检测9类:植物油(*n* = 2)、乳及乳制品(*n* = 6)、休闲食品(*n* = 15)、方便食品(*n* = 26)、快餐食品(*n* = 8)、小吃甜饼(*n* = 10)、饮料(*n* = 13)、调味品(*n* = 12)和畜禽肉及制品(*n* =

14),共106种市售食品,购自上海市大型超市、面包店或快餐店,选择消费量大、食用频率高且有代表性的知名品牌。购买保质期内且生产日期较近的双份食品(共212份),详细登记品牌、生产日期/批号、保质期、净重等信息,一份检测,另一份冷藏备查。每类食品按总TFAs含量由高到低列出,未列出异构体均为未检出。

1.3.2 样品检测

液体食品混匀,准确称取5.00~10.00 g;固体食物充分粉碎,混匀,准确称取1.00~2.00 g。乳、乳制品和含乳食品中脂肪的提取测定参照GB 5413.36—2010,其他食品中脂肪的提取测定参照GB/T 5009.6—2003中酸水解法。脂肪酸甲酯制备参照GB/T 17376—2008中氢氧化钠皂化以及三氟化硼甲醇甲酯化方法。所有样本经Ag⁺-SPE预分离,预分离方法、色谱条件、数据分析与计算参照文献^[17]。

2 结果

2.1 工作曲线和线性范围

以标准物浓度对峰面积作工作曲线(表1)。相关系数为0.998~0.999;最低检测限为0.4~1.6 mg/L。

表1 线性回归方程

Table 1 Equation of linear regression(*n* = 7)

TFA 异构体	回归方程	相关系数	线性范围 (mg/L)
9 <i>t</i> C16:1	$y = 2.419x - 0.819$	0.999	0.6~45
6 <i>t</i> C18:1	$y = 2.093x - 1.304$	0.998	0.4~30
9 <i>t</i> C18:1	$y = 2.502x - 2.862$	0.999	1.6~120
11 <i>t</i> C18:1	$y = 2.464x - 1.369$	0.999	1.2~90
9 <i>t</i> , 12 <i>t</i> C18:2	$y = 2.353x - 1.749$	0.999	0.6~45
9 <i>t</i> , 12 <i>t</i> , 15 <i>t</i> C18:3	$y = 2.417x - 1.583$	0.998	0.6~45

2.2 植物油中TFAs含量与组成分析

据表2,油茶籽油和葵花籽油中总TFAs分别为533.88 mg/100 g可食部分和247.67 mg/100 g可食部分,均<1%。

表2 植物油中的TFAs

Table 2 The TFAs in vegetable oil (mg/100 g可食部分, *n* = 2)

食品名称	9 <i>t</i> C16:1	6 <i>t</i> C18:1	9 <i>t</i> C18:1	11 <i>t</i> C18:1	<i>t</i> C18:2	<i>t</i> C18:3	总TFAs
油茶籽油	ND	ND	111.21	170.30	252.37	ND	533.88
葵花籽油	ND	ND	59.17	120.85	67.65	ND	247.67

注:ND为未检出。

2.3 乳及乳制品中TFAs含量与组成分析

据表3,乳及乳制品中11*t* C18:1占总TFAs的53.9%~74.2%,其他异构体含量较少,如9*t* C18:1仅占总TFAs的6.9%~14.6%,均未检出6*t* C18:1。

2.4 休闲食品中TFAs含量与组成分析

据表4,15种休闲食品总TFAs在40.66~1711.58 mg/100 g之间,且均含9*t* C18:1。巧克力派的总TFAs超过可食部分的1.7%。9*t* C18:1占总

表3 乳及乳制品中的 TFAs

Table 3 The TFAs in milk and milk products(mg/100 g 可食部分, $n=6$)

食品名称	9 <i>t</i> C16:1	6 <i>t</i> C18:1	9 <i>t</i> C18:1	11 <i>t</i> C18:1	<i>t</i> C18:2	<i>t</i> C18:3	总 TFAs
原味芝士	33.72	ND	47.69	397.34	97.20	30.01	605.96
全脂奶粉 A	24.29	ND	63.67	281.59	73.48	21.79	464.82
高钙奶粉	41.30	ND	29.85	323.09	30.47	10.80	435.52
全脂奶粉 B	20.91	ND	45.62	232.88	12.82	7.10	319.33
全脂纯牛奶	3.21	ND	10.42	39.48	12.72	5.38	71.22
原味酸牛奶	4.38	ND	7.87	31.21	14.45	ND	57.91

表4 休闲食品中的 TFAs

Table 4 The TFAs in snack foods(mg/100 g 可食部分, $n=15$)

食品名称	9 <i>t</i> C16:1	6 <i>t</i> C18:1	9 <i>t</i> C18:1	11 <i>t</i> C18:1	<i>t</i> C18:2	<i>t</i> C18:3	总 TFAs
巧克力派	ND	ND	1500.91	84.10	126.57	ND	1711.58
蛋黄派	ND	ND	716.32	70.36	161.72	ND	948.39
焦糖布丁	ND	ND	557.05	ND	257.00	ND	814.05
牛奶巧克力夹心糖	ND	ND	359.15	227.90	181.95	ND	768.99
花生夹心巧克力	32.90	98.77	121.35	ND	67.89	18.88	339.78
原味蛋挞	9.61	ND	63.99	176.45	44.43	ND	294.48
牛奶巧克力	ND	9.85	34.89	125.62	61.22	12.14	243.73
微波爆米花	ND	ND	136.59	ND	57.92	ND	194.51
奶香白巧克力	ND	20.45	41.63	42.35	69.34	10.63	184.40
奶香味威化	ND	10.09	34.72	45.90	59.60	12.54	162.85
薯片 A	ND	ND	20.79	ND	97.68	ND	118.47
黑巧克力	ND	ND	20.96	23.18	39.58	10.65	94.37
薯片 B	ND	8.45	17.28	ND	58.15	3.12	87.00
巧克力味威化	ND	9.31	11.75	10.04	12.96	ND	44.06
牛奶糖	ND	ND	12.80	15.90	11.96	ND	40.66

表5 方便食品中的 TFAs

Table 5 The TFAs in convenience foods(mg/100 g 可食部分, $n=26$)

食品名称	9 <i>t</i> C16:1	6 <i>t</i> C18:1	9 <i>t</i> C18:1	11 <i>t</i> C18:1	<i>t</i> C18:2	<i>t</i> C18:3	总 TFAs
菠萝面包	ND	ND	702.45	ND	364.20	6.54	1073.20
金牛角面包	ND	ND	492.87	ND	212.87	8.03	713.77
方便面调味酱	ND	ND	84.08	41.54	408.94	31.53	566.09
原味吐司	ND	ND	289.90	ND	139.63	7.89	437.43
牛油曲奇饼干	ND	21.13	37.54	11.10	287.48	ND	357.26
肉松面包	ND	ND	253.34	ND	100.93	ND	354.27
曲奇饼干	12.60	16.55	112.18	ND	115.09	14.93	271.34
牛奶夹心饼干	ND	ND	73.15	41.62	132.86	20.67	268.31
叉烧包	ND	32.10	80.41	14.33	21.74	5.94	154.52
油面筋	ND	ND	94.53	ND	38.24	4.83	137.61
蛋黄酥性饼干	ND	ND	62.69	ND	58.07	ND	120.76
油酥饼	ND	28.55	16.12	ND	57.63	10.59	112.90
油氽猪皮	ND	48.07	22.95	ND	25.18	ND	96.19
高纤消化饼干	ND	ND	14.53	ND	54.68	ND	69.22
巧克力夹心饼干	ND	ND	14.34	ND	54.87	ND	69.21
奶盐梳打饼干	ND	10.01	36.69	ND	18.93	ND	65.64
法式香奶预包装面包	6.84	9.70	14.37	ND	10.59	ND	41.50
生煎包	ND	10.48	8.89	ND	16.74	ND	36.10
素鸡	3.74	3.69	4.05	ND	22.75	ND	34.23
油豆腐	ND	ND	15.37	ND	16.82	ND	32.19
猪肉白菜水饺	ND	6.71	5.58	ND	12.13	3.19	27.62
方便面面饼/油炸	ND	ND	10.33	ND	13.31	ND	23.63
方便面面饼/非油炸	ND	3.19	2.66	ND	13.42	ND	19.27
千层饼	ND	5.12	4.56	ND	7.80	ND	17.48
方便面调味粉	ND	ND	3.83	ND	3.15	ND	6.97
无糖豆浆	ND	ND	2.81	ND	2.23	ND	5.04

注:方便面面饼和调味料中 TFAs 含量差异较大,所以分别检测。

TFAs 比例较高的食品:巧克力派(87.7%)、蛋黄派(75.5%)和焦糖布丁(68.4%)。

2.5 方便食品中 TFAs 含量与组成分析

26种方便食品均检测到9*t* C18:1。6种饼干样品中,曲奇饼干总 TFAs 含量最高。虽然中式方便食品(油面筋、叉烧包和油豆腐)中总 TFAs 含量较低,但9*t* C18:1所占比例较高(47.7%~68.7%)。

2.6 快餐食品中 TFAs 含量与组成分析

据表6,快餐食品中总 TFAs 含量在14.03~78.89 mg/100 g 之间,均低于100 mg/100 g。

2.7 小吃、甜饼中 TFAs 含量与组成分析

乳酪蛋糕和奶油蛋糕中总 TFAs 含量分别为800.82和622.31 mg/100 g 可食部分。购自超市的欧式预包装奶油蛋糕中总 TFAs 仅278.45 mg/100 g,且11*t* C18:1的含量高于9*t* C18:1。

表6 快餐食品中的 TFAs
Table 6 The TFAs in handy foods(mg/100 g 可食部分, n=8)

食品名称	9 <i>t</i> C16:1	6 <i>t</i> C18:1	9 <i>t</i> C18:1	11 <i>t</i> C18:1	<i>t</i> C18:2	<i>t</i> C18:3	总 TFAs
炸鸡米花	ND	21.37	43.52	ND	10.81	3.19	78.89
炸鸡翅	ND	15.58	32.13	ND	20.51	5.25	73.47
炸薯条	ND	ND	43.24	15.54	14.42	ND	73.20
烤鸡翅	ND	13.11	21.86	ND	12.29	ND	47.26
炸鸡腿堡	ND	9.89	21.25	ND	14.32	ND	45.46
烤鸡腿堡	ND	8.46	15.57	ND	9.82	ND	33.85
油条	ND	ND	12.36	ND	5.95	ND	18.31
炸鸡块	ND	8.18	ND	ND	5.85	ND	14.03

表7 小吃、甜饼中的 TFAs
Table 7 The TFAs in ethnic foods and cakes(mg/100 g 可食部分, n=10)

食品名称	9 <i>t</i> C16:1	6 <i>t</i> C18:1	9 <i>t</i> C18:1	11 <i>t</i> C18:1	<i>t</i> C18:2	<i>t</i> C18:3	总 TFAs
乳酪蛋糕	ND	ND	422.26	ND	378.55	ND	800.82
奶油蛋糕	ND	40.42	109.08	ND	472.80	ND	622.31
欧式预包装奶油蛋糕	ND	ND	16.00	34.25	228.20	ND	278.45
麻花	ND	ND	44.93	ND	56.35	ND	101.28
熏鱼	ND	25.33	9.14	ND	42.01	ND	76.48
火腿五仁月饼	ND	ND	13.48	ND	45.31	ND	58.79
沙琪玛	ND	ND	40.10	ND	14.35	ND	54.45
锅巴	ND	13.54	10.08	ND	25.42	ND	49.04
桃酥	ND	ND	11.68	16.15	11.52	7.67	47.03
麻球	ND	ND	14.92	ND	11.72	ND	26.64

2.8 饮料类 TFAs 含量与组成分析

黑咖啡是本次唯一未检出 TFAs 的食品。3合1咖啡A的总 TFAs 含量高于3合1咖啡B,且前者中26.4%的 TFAs 为11*t* C18:1,3合1咖啡B未检出11*t* C18:1。3种奶茶及咖啡伴侣中总 TFAs 含量较接近,均含有9*t* C18:1,且均未检测到11*t* C18:1。

2.9 调味品中 TFAs 含量与组成分析

据表9,火锅底料A的总 TFAs 含量约为火锅底料B的24.6倍,且品牌A的9*t* C18:1在总 TFAs 中占到约一半(56.2%),未检出11*t* C18:1;品牌B总 TFAs 较低(13.45 mg/100 g),且*t* C18:1异构体均为第11位。牛肉浓汤中11*t* C18:1占总 TFAs 的70.1%。

2.10 禽畜肉及其制品中 TFAs 含量与组成分析

据表10,10种猪肉制品总 TFAs 含量在14.63

~218.08 mg/100 g 之间,均未检测到11*t* C18:1。牛肉火腿和牛肉干中总 TFAs 分别为37.26和21.09 mg/100 g,其中11*t* C18:1分别占64.0%和100%。

3 讨论

食物中的 TFAs 以反式油酸(*t* C18:1)为主,*t* C18:1中又以9*t* C18:1和11*t* C18:1两种位置异构体为主,反式亚油酸(*t* C18:2)、反式亚麻酸(*t* C18:3)和*t* C16:1在食品中的含量较低^[18],相关的文献信息也较少。目前较为一致的观点是,9*t* C18:1异构体主要来自氢化油^[8],氢化油来源的 TFAs 可增加患Ⅱ型糖尿病的风险^[4-5];11*t* C18:1异构体主要来自乳及乳制品中^[10],以往研究证实反刍动物瘤胃中的细菌(主要为丁酸弧菌属)与饲料中

表8 饮料中的 TFAs

Table 8 The TFAs in beverages(mg/100 g 可食部分, $n = 13$)

食品名称	9 <i>t</i> C16:1	6 <i>t</i> C18:1	9 <i>t</i> C18:1	11 <i>t</i> C18:1	<i>t</i> C18:2	<i>t</i> C18:3	总 TFAs
3合1咖啡 A	2.71	44.89	55.97	37.10	ND	ND	140.67
原味奶茶 A	ND	ND	73.95	ND	60.04	ND	134.00
巧克力奶茶	ND	ND	66.88	ND	63.91	ND	130.80
原味奶茶 B	ND	10.29	61.60	ND	35.74	ND	107.62
咖啡伴侣	ND	9.39	74.54	ND	22.32	ND	106.25
冰激凌	ND	ND	14.25	27.09	36.59	ND	77.93
果汁乳饮料	ND	ND	6.06	32.60	21.47	ND	60.13
3合1咖啡 B	ND	12.02	17.87	ND	12.02	ND	41.91
黑芝麻糊	ND	2.65	8.39	ND	19.14	ND	30.18
豆奶粉	ND	ND	8.99	9.74	5.91	ND	24.64
黑豆奶	ND	ND	ND	9.62	8.31	ND	17.93
大豆奶	ND	ND	ND	8.53	8.10	ND	16.63
黑咖啡	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.00

表9 调味品中的 TFAs

Table 9 The TFAs in condiments(mg/100 g 可食部分, $n = 12$)

食品名称	9 <i>t</i> C16:1	6 <i>t</i> C18:1	9 <i>t</i> C18:1	11 <i>t</i> C18:1	<i>t</i> C18:2	<i>t</i> C18:3	总 TFAs
火锅底料 A	ND	39.36	186.21	ND	94.21	11.29	331.07
牛肉汤底	ND	ND	37.44	147.39	25.38	ND	210.21
牛肉豆豉	ND	ND	57.03	12.10	97.80	ND	166.93
日式块状咖喱	ND	ND	26.75	87.30	30.37	ND	144.42
沙拉酱	ND	ND	10.81	ND	96.22	ND	107.02
老母鸡汤底	ND	ND	67.61	ND	18.70	ND	86.31
猪骨汤底	ND	27.91	15.59	ND	24.56	ND	68.07
沙茶酱	ND	ND	19.35	ND	45.48	ND	64.82
千岛酱	ND	3.17	7.23	ND	51.92	ND	62.32
花生酱	ND	ND	5.20	5.95	9.69	ND	20.85
火锅底料 B	ND	ND	ND	5.15	8.30	ND	13.45
鸡精	ND	ND	5.44	ND	3.40	ND	8.84

表10 禽畜肉及制品中的 TFAs

Table 10 The TFAs in poultry, meat and products(mg/100 g 可食部分, $n = 14$)

食品名称	9 <i>t</i> C16:1	6 <i>t</i> C18:1	9 <i>t</i> C18:1	11 <i>t</i> C18:1	<i>t</i> C18:2	<i>t</i> C18:3	总 TFAs
腊肉	ND	102.60	52.03	ND	63.45	ND	218.08
熏肉	ND	76.17	53.57	ND	45.41	ND	175.15
包心贡丸	ND	ND	41.71	ND	29.43	12.49	83.62
咸肉	ND	34.24	17.81	ND	14.60	ND	66.65
火腿肠	ND	3.34	34.40	ND	16.29	ND	54.03
猪肉松	ND	ND	34.23	ND	15.42	ND	49.64
大红肠	ND	ND	31.63	ND	17.03	ND	48.65
猪肉脯	ND	ND	31.45	ND	12.08	ND	43.53
猪肉松	ND	ND	28.50	ND	11.73	ND	40.23
牛肉火腿	ND	ND	10.00	23.86	3.40	ND	37.26
五香牛肉干	ND	ND	ND	21.09	ND	ND	21.09
鸭肫	ND	ND	5.10	ND	10.62	ND	15.72
精肉培根	ND	ND	4.70	ND	10.02	ND	14.71
猪肉火腿	ND	ND	5.96	ND	8.67	ND	14.63

的不饱和脂肪酸发生酶促生物氢化反应,将亚油酸和 α -亚麻酸氢化成 $11t\ C18:1$ ^[19]。所以, $11t\ C18:1$ 是动物来源 TFAs 的特征性异构体^[9],利用该特点可初步判断食品加工过程中所用奶油是否为天然来源。研究发现 $11t\ C18:1$ 在动物^[20]和人体内^[21]可被 $\Delta 9$ -脱饱和酶转化成共轭亚油酸,后者具有抗肿瘤、抗动脉粥样硬化、提高免疫力等功能^[22],且未发现动物来源的 TFAs 可增加患冠心病的风险^[6]。因此,评价食品中 TFAs 的危险性时,除了总 TFAs,还应该考虑异构体的组成模式或 TFAs 的来源是氢化油还是反刍动物原料。

目前植物油中 TFAs 的相关研究较详尽^[23-24],本次以研究较少的两种植物油作样本。我国目前未提出油脂中 TFA 限量标准,丹麦规定油脂中 TFAs 含量应 $\leq 2\%$ ^[25],两样品总 TFAs 均 $< 1\%$,说明本次检测的两种食用油对 TFAs 含量的控制较好。

本研究发现乳及乳制品中第 11 位反式油酸($11t\ C18:1$)含量高于其他异构体,与此相反,本次检测的大部分休闲食品样品中 $11t\ C18:1$ 含量较低,甚至是未检出,而 $9t\ C18:1$ 含量较高。以往研究证实第 9 位反式油酸($9t\ C18:1$)是氢化油 TFAs 的特征性成分^[8]。氢化油可使食品具有口感独特、延长货架期、易加工成型等优点,所以,部分厂家在制作过程中会添加较多氢化油,甚至完全替代天然奶油。如微波爆米花的总 TFAs 相对其他休闲食品较低,但 $9t\ C18:1$ 占总 TFAs 的 70.2% ,未检出 $11t\ C18:1$,说明该样品加工过程中以氢化油代替天然奶油。牛奶巧克力中 $9t\ C18:1$ 仅占总 TFAs 的 14.3% ,而 $11t\ C18:1$ 达 51.5% ,说明原料采用了天然奶油。

本次检测的乳酪蛋糕、奶油蛋糕、方便食品中的 4 种面包和休闲食品中的焦糖布丁均购自街边西式蛋糕店,这 7 个样品的总 TFAs 含量较高,反式油酸均为第 9 位异构体,占总 TFAs 的 $17.5\% \sim 71.5\%$,均未检出 $11t\ C18:1$,提示这 7 个样品加工过程中以氢化油代替天然奶油。相反,购自超市的欧式预包装奶油蛋糕中总 TFAs 仅 $278.45\text{ mg}/100\text{ g}$,且 $11t\ C18:1$ 的含量高于 $9t\ C18:1$,推测可能不含氢化油,采用的是天然奶油。因此,西式蛋糕店所售产品带来的 TFAs 摄入过量风险可能会较高。3 种奶茶、咖啡伴侣、部分中式食品(油面筋、叉烧包、油豆腐、麻球、锅巴、沙琪玛和麻花)和部分调味品也存在反式油酸以 9 位异构体为主的现象。但是,如果此类食品食用频率或食用量较低,可能不会造成 TFAs 摄入过量的风险。

加工过程采用的是天然奶油还是氢化油以及用量将影响食品中 TFAs 含量和异构体组成。此外,加工方式也会对食物中 TFAs 有一定影响,如生猪肉和生牛肉的 TFAs 含量分别为 406 和 $619\text{ mg}/100\text{ g}(n=3)$ ^[26],均高于本次猪肉和牛肉制品的检测结果;马铃薯中未检出 TFAs($n=3$)^[26],加工成油炸薯条后 TFAs 含量明显升高;炸鸡翅和炸鸡腿堡的总 TFAs 含量分别高于烤鸡翅和烤鸡腿堡。可见加工所用油脂的种类、加工过程中脂肪成分浸出、转化;是否采用油炸的方式,以及油炸时间、食用油的种类(氢化油、硬化油或精炼油等)和用量等因素都可能影响食品中 TFAs 的含量及其构成。但是,油炸与非油炸方便面的面饼在 TFAs 含量上差别很小,而且均较低。应重视方便面中的调味酱,一包调味酱按一般的 19 g 来计算,约含 108 mg TFAs,主要为 $t\ C18:2$ (占 72.2%),远高于—块 90 g 油炸面饼中的 TFAs(约 21 mg)。

FAO 和 WHO 推荐 TFAs 日摄入量不应超过总能量的 1% ,若按照能量摄入 $2\ 000\text{ kcal}/\text{d}$ 来计算,TFAs 的摄入量应 $\leq 2.2\text{ g}/\text{d}$ ^[27-28]。根据本次检测结果,4 枚巧克力派($34\text{ g}/\text{枚}$)提供的 TFAs 达 2.3 g ,一块 200 g 的乳酪蛋糕提供的总 TFAs 达 1.6 g ,且氢化油来源的 $9t\ C18:1$ 在其中占较大比例。除部分休闲食品和西式甜饼,其他食品造成 TFAs 摄入过量的风险可能相对较小,如一份普通西式快餐的 TFAs 含量: 1 个炸鸡腿堡(0.085 g TFAs) + 1 中包炸薯条(0.073 g TFAs) + 1 对炸鸡翅(0.030 g TFAs),共计 0.188 g TFAs;一天内食用 17 包方便面(包括喝下所有汤料)所提供的 TFAs 才接近 2.2 g ; 120 包 3 合 1 咖啡(A)提供的总 TFAs 才能超过 2.2 g 。但是,考虑到每人每天摄入多种食物,尤其是在消费者不能控制休闲食品进食量的情况下,TFAs 的日摄入量仍需注意。

食品中 TFAs 应按每一样品单独汇报,以均值的形式汇报将掩盖部分高 TFAs 含量的食品;除了总 TFAs 指标,还应分别汇报异构体组成模式,以区别氢化油或动物来源的 TFAs,旨在尽可能全面科学地评价食品中的 TFAs。市售食品中 TFAs 的检测应实现不断扩大样品覆盖范围、持续更新、实时、动态。

丹麦是世界上第一个限制市售食品中 TFAs 含量的国家^[29],要求 TFAs 含量不得超过总脂肪的 2% ,但动物脂肪中天然存在的 TFAs 不在此限制之列^[30]。此后,美国、法国和荷兰等国也先后制定了油脂或食品中 TFAs 限量标准^[31]。我国于 2011 年 10 月发布的《预包装食品营养标签通则》(GB 2805—2011)规定,食品配料含有或生产过程

中使用了氢化和(或)部分氢化油脂时,营养成分表中应强制标示反式脂肪(酸)含量,该通则于2013年起实施,这标志着我国开始对TFAs进行切实管理,但是,我国在市售食品中TFAs含量、人群摄入量、疾病负担等方面尚不足。本研究首次按异构体组成模式来建立市售食品中TFAs的基础数据库,采用更科学的方法检测了9类106种食品,包括销量较大的预包装食品、西式快餐、普遍喜食的传统食品、青少年消费量较大的膨化食品、奶茶和蛋糕等,不但种类涵盖广泛且更具科学性和实用性,为今后开展TFAs暴露评估、指导食品选择和制定限量标准提供参考。

参考文献

- [1] MENSINK R P, ZOCK P L, KESTER A D, et al. Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta-analysis of 60 controlled trials[J]. *Am J Clin Nutr*, 2003, 77(5): 1146-1155.
- [2] OH K, HU F B, MANSON J E, et al. Dietary fat intake and risk of coronary heart disease in women; 20 years of follow-up of the nurses' health study[J]. *Am J Epidemiol*, 2005, 161(7): 672-679.
- [3] BRAY G A, LOVEJOY J C, SMITH S R, et al. The influence of different fats and fatty acids on Obesity Insulin Resistance and Inflammation[J]. *J Nutr*, 2002, 132(9): 2488-2491.
- [4] SALMERO'N J, HU F B, MANSON J E, et al. Dietary fat intake and risk of type 2 diabetes in women[J]. *Am J Clin Nutr*, 2001, 73(6): 1019-1026.
- [5] SALMERO'N J, HU F B, MANSON J E, et al. Dietary fat intake and risk of type 2 diabetes in women[J]. *Am J Clin Nutr*, 2001, 73(6): 1019-1026.
- [6] PFEUFFER M, SCHREZENMEIR J. Impact of trans fatty acids of ruminant origin compared with those from partially hydrogenated vegetable oils on CHD risk[J]. *Int Dairy J*, 2006, 16(11): 1383-1388.
- [7] SCHAKEL S F, HARNACK L, WOLD C, et al. Incorporation of trans-fatty acids into a comprehensive nutrient database[J]. *J Food Compos Anal*, 1999, 12(4): 323-331.
- [8] BHANGER M L, ANWAR F. Fatty Acid (FA) composition and contents of trans unsaturated FA in hydrogenated vegetable oils and blended fats from pakistan[J]. *Am oil Chem Soc*, 2004, 81(2): 129-134.
- [9] ELIAS S L, INNIS S M. Bakery foods provide the major sources of trans fatty acids among pregnant women with diets providing 30% energy from fat[J]. *Am J Dietetic Assoc*, 2002, 102(1): 46-51.
- [10] 王春荣, 马雪征, 张坚. 奶制品及反刍动物肉类食物中n-11位反式脂肪酸含量研究[J]. *中国食品卫生杂志*, 2007, 19(1): 28-31.
- [11] 宋志华, 单良, 王兴国. 反式脂肪酸分析方法的研究进展[J]. *粮食加工*, 2006, (11): 51-55.
- [12] LEDOUX M, LALOUX L, WOLFF R L. Analytical methods for determination of trans-C 18 fatty acid isomers in milk fat. A review[J]. *Analysis*, 2000, 28(5): 402-412.
- [13] KRAMER J K, BLACKADAR C B, ZHOU J, et al. Evaluation of two GC columns (60-m SUPELCOWAX 10 and 100-m CP sil88) for analysis of milk fat with emphasis on CLA, 18:1, 18:2 and 18:3 isomers, and short- and long-chain FA[J]. *Lipids*, 2002, 37(8): 823-835.
- [14] 金青哲, 王兴国, 曹万新, 等. 反式脂肪酸安全问题辨析[J]. *中国油脂*, 2011, 36(1): 5-9.
- [15] 傅红, 赵霖, 杨琳, 等. 中国市售食品中反式脂肪酸含量的现状研究[J]. *中国食品学报*, 2010, 10(4): 48-52.
- [16] 杨月欣, 王光亚, 潘兴昌. 中国食物成分表 2002[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2002: 2.
- [17] 王涛, 邱歆磊, 汪国权, 等. 银离子固相萃取-气相色谱法检测食品中的反式脂肪酸[J]. *环境与职业医学*, 2012, 29(2): 89-92.
- [18] 刘小如, 邓泽元, 李静. 氢化植物油中反式脂肪酸及其对妊娠哺乳期母婴的影响[J]. *中国乳品工业*, 2007, 35(12): 29-34.
- [19] PROELL J M, MOSLEY E E, POWELL G L, et al. Isomerization of stable isotopically labeled elaidic acid to cis and trans monoenes by ruminal microbes[J]. *J Lip Res*, 2002, 43(12): 2072-2076.
- [20] GRINARI J M, CORL B A, LACY S H, et al. Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by Delta(9)-desaturase[J]. *J Nutr*, 2000, 130(9): 2285-2291.
- [21] ADLOF R O, DUVAL S, EMKEN E A. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in humans[J]. *Lipids*, 2000, 35(2): 131-135.
- [22] PARIZA M W, PARK Y, COOK M E. Biologically active isomers of conjugated linoleic acid[J]. *Prog Lipid Res*, 2001, 40(4): 283-298.
- [23] 杨涛涛, 储云福, 陈凤香, 等. 上海市场五种食用油反式脂肪酸含量测定[J]. *粮油食品科技*, 2009, 17(1): 38-41.
- [24] 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): 76-80.
- [25] ASTRUP A. The trans fatty acid story in Denmark [J]. *Atherosclerosis Supplements*, 2006, 7(2): 43-46.
- [26] 邓泽元, 刘蓉, 刘东敏, 等. 中国居民膳食中原料食物的各种反式脂肪酸的调研[J]. *中国食品学报*, 2010, 10(4): 38-47.
- [27] WHO. Diet, nutrition, and the prevention of chronic disease. Report of a WHO Study Group[R]. Geneva: World Health Organ Tech Rep Ser, 2003, 916: 1-149.
- [28] WOODSIDE J V, KROMHOUT D. Fatty acids and CHD[J]. *Proc Nutr Soc*, 2005, 64(4): 554-564.
- [29] ASTRUP A. The trans fatty acid story in Denmark [J]. *Atherosclerosis Supplements*, 2006, 7(2): 43-46.
- [30] tX. Denmark's trans fat law: Executive Order No. 160 of 11 March 2003 on the content of Trans Fatty Acids in Oils and Fats etc[OL]. (2008-08-07) [2011-09-10]. <http://www.tfx.org.uk/page116.html>.
- [31] MOSS J. Labeling of Trans fatty acid content in food, regulations and limits-The FDA view [J]. *Atherosclerosis Supplements*, 2006, 7(2): 57-59.