

我国居民反刍动物反式脂肪酸摄入量的调查

牛 仙, 邓泽元, 李 静

(南昌大学 食品科学与技术国家重点实验室, 南昌 330047)

摘要:反刍动物反式脂肪酸(R-TFA)对人体健康的影响与摄入量显著相关,超过一定摄入量对人体健康有害,在适当的摄入量范围内则对人体有益。利用1982、1992、2002年我国居民营养与健康状况调查,2010—2012年我国居民营养与健康状况监测,2012—2013年9个省、自治区统计年鉴与2012—2018年3个省统计年鉴中获得反刍动物食物消费量数据,并结合反刍动物制品的TFA含量进行数据分析,获得我国居民R-TFA摄入水平。结果发现:1982—2012年30年间我国居民R-TFA摄入量逐年上涨,其中2010—2012年我国居民平均R-TFA摄入量为0.076 g/d,且城镇高于农村;2012—2013年我国居民R-TFA的摄入量在0.055~0.191 g/d,显著低于丹麦居民R-TFA摄入量(0.8~3.4 g/d),新疆居民R-TFA摄入水平最高,为0.191 g/d;2012—2018年辽宁、陕西与河南3省居民R-TFA的摄入量总体变化不大。该研究不仅揭示我国居民R-TFA的摄入水平远低于西方国家,同时发现我国居民对其摄入量近年来总体变化不大,而R-TFA的摄入量与我国居民健康的关系有待进一步研究。

关键词:反刍动物反式脂肪酸(R-TFA);膳食调查;摄入水平

中图分类号:TS251.5;TS201.6 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2021)05-0103-06

Investigation on the intake of ruminant *trans* fatty acids in China

NIU Xian, DENG Zeyuan, LI Jing

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

Abstract: The effect of ruminant *trans* fatty acids (R-TFA) on human health is dose-dependent, which is harmful to human health if it exceeds a certain intake, and beneficial to human body if it is in a proper intake range. Therefore, the data of ruminant consumption was obtained by using the national nutrition and health survey in 1982, 1992, 2002, the statistical yearbook of nine provinces in 2012—2013 and the statistical yearbook of three provinces in 2012—2018. Then, the data of TFA content in ruminant product was analyzed, and the intake level of R-TFA in China was obtained. The results showed that the R-TFA intake of Chinese residents increased year by year from 1982 to 2012. In 2010—2012, the average R-TFA intake of Chinese residents was 0.076 g/d, and the average R-TFA intake in urban areas was higher than that in rural areas. From 2012 to 2013, the intake of R-TFA in China ranged from 0.055 g/d to 0.191 g/d, which was significantly lower than that in Denmark (0.8—3.4 g/d), and the highest level of R-TFA intake was in Xinjiang with 0.191 g/d. In addition, the intake of R-TFA in Liaoning, Shaanxi and Henan provinces had no significantly change from 2012 to

2018. This study not only revealed that the intake level of R-TFA in Chinese residents was far lower than that in western countries, but also found that the intake of R-TFA in China did not change much in recent years, and the relationship between the intake level of R-TFA and the health impact of Chinese residents needed to be further studied.

Key words: ruminant *trans* fatty acids (R-TFA); dietary survey; intake level

收稿日期:2020-08-06;修回日期:2021-02-02

基金项目:国家自然科学基金(316600447,31401485);南昌大学食品科学与技术国家重点实验室自由探索课题(SKLF-ZZB-201923)

作者简介:牛 仙(1996),女,硕士研究生,研究方向为营养与食品卫生(E-mail)751221850@qq.com。

通信作者:李 静,教授,博士生导师(E-mail)lijing66@ncu.edu.cn。

反刍动物反式脂肪酸(R-TFA)是由反刍动物(如牛、羊、骆驼等)瘤胃中酸弧菌属菌群与饲料中多不饱和脂肪酸(主要是亚油酸和 α -亚麻酸)发生酶促生物氢化反应产生的。近年来,膳食中的R-TFA与人体健康的关系备受关注,R-TFA对血管健康的影响仍然有争议,一部分研究认为R-TFA会对血管健康产生负面影响,因此要求在食品标签上标注R-TFA含量;另一部分研究发现,R-TFA与心血管疾病之间没有显著相关性^[1],甚至一些研究还表明R-TFA能够降低血脂,预防癌症的发生^[2-4]。这些研究结果之所以出现争议,与研究使用的R-TFA剂量有关。R-TFA剂量过高会对人体健康产生危害,但在一定浓度范围内则对健康有潜在的有益作用。

为了掌握国民每日摄入R-TFA的水平,多国相继开展全国性调查评估。基于在丹麦1995年进行的横截面膳食调查数据,得到3 098人的饮食记录(7 d)估计每日各类膳食摄入量,并收集市售36种反刍动物肉及乳制品,测定其反式脂肪酸组成,通过乳制品和反刍动物肉类产品的反式脂肪酸含量与食物摄入量的数据相结合而得出丹麦国民R-TFA摄入量为0.8~3.4 g/d^[5]。法国、瑞典、意大利、新西兰以及希腊国民R-TFA摄入量分别为1.7、1.3、1.2、1.1 g/d和0.8 g/d^[1]。然而,目前我国居民R-TFA摄入量的调查数据处于空白状态,我国居民R-TFA摄入水平对健康的影响未见报道。

我国于1982、1992、2002年和2010—2012年分别开展了全国性营养调查。因此,本文依据全国3次膳食营养调查以及1次全国营养与健康监测的结果,并结合河北、辽宁、江苏、安徽、河南、陕西、青海、新疆与内蒙古9个省、自治区统计年鉴的数据,统计

我国居民R-TFA摄入水平,为R-TFA对人体健康影响的研究提供数据依据。

1 数据来源与统计分析方法

1.1 数据来源

采用中华人民共和国卫生部、中华人民共和国科技部、中华人民共和国国家统计局联合发文的1982、1992、2002年的我国居民营养与健康报告调查的3次结果,2010—2012年我国居民营养与健康状况监测报告与2012年河北、辽宁、江苏、安徽、河南、陕西、青海各省统计年鉴,2013年新疆、内蒙古自治区的统计年鉴,2012—2018年辽宁、陕西、河南3省统计年鉴的食物摄入调查报告与统计信息等。

1.2 统计分析方法

1.2.1 我国居民每日膳食中含R-TFA肉类与乳制品的确定

我国地域辽阔,人口众多,膳食调查种类的分类无法做到十分细致,因此收集含R-TFA肉类分为牛肉与羊肉两大类,而含R-TFA乳制品分为奶粉、酸奶与鲜奶三类。

1.2.1.1 我国居民反刍动物制品摄食种类及消费量

课题组前期已汇总1982、1992、2002年我国城乡居民每日膳食中含有R-TFA肉类与乳制品的消费量^[6]。2010—2012年我国城乡居民每日膳食中含R-TFA肉类与乳制品的消费量基于我国居民营养与健康状况监测结果^[7],结合当年食物消费资料^[8],进行统计汇总得出。1982、1992、2002、2010—2012年我国居民每日反刍动物制品中具体摄食种类及消费量见表1。

表1 1982、1992、2002、2010—2012年我国居民反刍动物制品摄食种类及消费量

g/d

种类	1982年	1992年	2002年			2010—2012年		
			平均	城镇	农村	平均	城镇	农村
牛肉	0.72	3.59	5.60	7.35	4.92	13.40	-	-
羊肉	0.44	2.12	2.81	3.69	2.47	8.18	-	-
鲜奶	4.75	5.81	18.94	47.39	8.07	19.3	30.8	8.2
奶粉	3.22	8.25	5.15	12.88	2.19	2.5	3.2	1.8
酸奶	0.13	0.83	2.31	5.53	0.94	2.4	3.6	1.3

1.2.1.2 2012—2013年我国9个省、自治区居民反刍动物制品摄食种类及消费量

对2012年我国河北省、辽宁省、江苏省、安徽省、河南省、陕西省、青海省与2013年新疆与内蒙古

自治区含R-TFA肉类与乳制品的消费量进行收集统计汇总,得到2012—2013年我国9个省、自治区居民反刍动物制品中摄食种类及消费量,结果见表2。

表2 2012—2013年我国9个省、自治区居民反刍动物制品摄食种类及消费量

g/d

种类	河北 (2012年)	辽宁 (2012年)	江苏 (2012年)	安徽 (2012年)	河南 (2012年)	陕西 (2012年)	青海 (2012年)	新疆 (2013年)	内蒙古 (2013年)
牛肉	2.36	9.97	5.70	6.77	4.52	3.10	16.55	14.14	12.25
羊肉	2.33	4.38	2.16	3.48	4.11	2.14	12.05	24.74	21.37
鲜奶	45.48	42.77	47.84	24.38	31.70	51.12	54.79	52.96	58.93
奶粉	0.93	1.07	1.59	3.32	0.90	1.48	0.49	0.63	7.92
酸奶	11.26	9.95	8.03	28.44	11.51	13.12	13.86	7.56	1.18

注:表中数据来源于各地标注年份的统计年鉴。下同

1.2.1.3 2012—2018年我国陕西、辽宁与河南3省居民反刍动物制品摄食种类及消费量

对2012—2018年我国陕西、辽宁与河南3省含

R-TFA肉类与乳制品的消费量进行收集统计汇总,得到2012—2018年我国陕西、辽宁与河南3省居民反刍动物制品摄食种类及消费量,结果见表3。

表3 2012—2018年我国陕西、辽宁与河南3省居民反刍动物制品摄食种类及消费量

g/d

省份	种类	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年
辽宁	牛肉	9.97	9.10	8.00	8.30	9.75	9.86	9.59
	羊肉	4.38	3.86	3.64	4.88	6.30	5.21	4.38
	鲜奶	42.77	45.89	42.41	38.41	37.40	36.99	35.07
	奶粉	1.07	1.29	0.85	0.96	1.34	1.10	1.64
	酸奶	9.95	8.96	9.75	9.67	11.97	13.15	14.52
陕西	牛肉	3.10	2.74	3.29	2.74	2.74	3.01	3.01
	羊肉	2.14	3.01	3.01	4.11	4.66	4.11	4.11
	鲜奶	51.12	34.52	35.62	36.44	36.44	39.45	39.45
	奶粉	1.48	1.64	1.37	1.37	1.64	1.92	1.92
	酸奶	13.12	8.22	8.49	8.49	9.59	11.78	11.78
河南	牛肉	4.52	5.67	4.52	5.15	5.18	5.04	5.23
	羊肉	4.11	3.51	3.07	4.16	5.15	4.99	4.52
	鲜奶	31.70	38.93	29.84	37.23	27.75	28.27	29.78
	奶粉	0.90	0.85	1.10	1.15	1.40	1.48	2.41
	酸奶	11.51	11.40	10.77	14.00	12.74	13.29	14.74

1.2.2 反刍动物制品中脂肪含量(见表4)

表4 反刍动物制品中脂肪含量

g/100 g

牛肉	羊肉	鲜奶	奶粉	酸奶
2.3	14.1	3.8	5.9	3.3

注:牛肉、羊肉的脂肪含量见文献[9],乳制品的脂肪含量来源于实验原料所提供的营养标签。

1.2.3 反刍动物制品脂肪中反式脂肪酸含量的确定

课题组前期对反刍动物制品中*t*C16:1、*t*C18:1、*t*C18:2的含量进行了测定^[10],结果见表5。

表5 反刍动物制品脂肪中*t*C16:1、*t*C18:1和*t*C18:2的含量

mg/g

脂肪酸	牛肉	羊肉	鲜奶	奶粉
6 <i>t</i> C16:1	0.53 ± 0.07	0.49 ± 0.11	0.42 ± 0.08	0.49 ± 0.15
8 <i>t</i> C16:1	0.52 ± 0.03	0.42 ± 0.25	0.33 ± 0.01	0.26 ± 0.17
9 <i>t</i> C16:1	3.07 ± 0.11	4.03 ± 0.42	2.01 ± 0.12	1.45 ± 0.35
10 <i>t</i> C16:1	0.26 ± 0.04	0.23 ± 0.00	0.19 ± 0.08	0.10 ± 0.02
11 <i>t</i> C16:1	0.40 ± 0.10	0.25 ± 0.20	0.31 ± 0.05	0.14 ± 0.01
12 <i>t</i> C16:1	1.44 ± 0.25	2.32 ± 0.54	1.22 ± 0.03	0.81 ± 0.08
13 <i>t</i> C16:1	0.13 ± 0.04	0.14 ± 0.04	0.18 ± 0.07	0.08 ± 0.03
Σ <i>t</i> C16:1	6.08 ± 0.36	7.96 ± 1.04	4.50 ± 0.45	3.07 ± 0.67
4 <i>t</i> C18:1	0.10 ± 0.00	0.15 ± 0.04	0.13 ± 0.01	0.06 ± 0.01

续表 5

脂肪酸	牛肉	羊肉	鲜奶	奶粉	mg/g
5 <i>t</i> C18:1	0.11 ± 0.01	0.12 ± 0.03	0.09 ± 0.00	0.06 ± 0.01	
6 <i>t</i> ~ 8 <i>t</i> C18:1	1.62 ± 0.20	1.44 ± 0.35	0.32 ± 0.02	0.24 ± 0.02	
9 <i>t</i> C18:1	1.77 ± 0.22	2.09 ± 0.51	0.36 ± 0.02	0.39 ± 0.04	
10 <i>t</i> C18:1	9.12 ± 1.14	3.22 ± 0.79	1.89 ± 0.09	0.64 ± 0.06	
11 <i>t</i> C18:1	8.79 ± 1.10	11.65 ± 2.85	2.68 ± 0.13	7.61 ± 0.72	
12 <i>t</i> C18:1	1.73 ± 0.22	1.73 ± 0.42	1.61 ± 0.08	0.84 ± 0.08	
13 <i>t</i> /14 <i>t</i> C18:1	2.93 ± 0.37	3.06 ± 0.75	3.54 ± 0.17	2.41 ± 0.23	
15 <i>t</i> C18:1	1.03 ± 0.13	1.07 ± 0.26	1.33 ± 0.06	0.86 ± 0.08	
16 <i>t</i> C18:1	1.05 ± 0.13	1.34 ± 0.33	1.51 ± 0.07	1.12 ± 0.11	
Σ <i>t</i> C18:1	28.25 ± 3.54	25.87 ± 6.33	13.47 ± 0.65	14.22 ± 1.35	
9 <i>t</i> 12 <i>t</i> C18:2	1.39 ± 0.21	1.18 ± 0.30	1.56 ± 0.27	0.91 ± 0.07	
9 <i>c</i> 13 <i>t</i> /8 <i>c</i> 12 <i>t</i> C18:2	0.21 ± 0.02	0.87 ± 0.61	0.54 ± 0.17	0.23 ± 0.03	
8 <i>c</i> 12 <i>t</i> C18:2	ND	ND	ND	ND	
11 环己基碳烯酸甲酯(17 环)	0.63 ± 0.11	0.55 ± 0.00	0.78 ± 0.13	2.03 ± 0.23	
9 <i>c</i> 12 <i>t</i> C18:2	0.59 ± 0.15	0.60 ± 0.15	0.51 ± 0.06	1.61 ± 0.23	
9 <i>t</i> 12 <i>c</i> C18:2	1.09 ± 0.34	0.76 ± 0.20	0.77 ± 0.27	1.28 ± 0.37	
Σ <i>t</i> C18:2	3.97 ± 0.48	3.91 ± 0.51	4.38 ± 0.38	6.06 ± 0.56	

注:ND 表示未检出。

1.2.4 R-TFA 摄入量的计算

食物中 TFA 的平均含量按式(1)计算:

$$C_i = c_i (\Sigma t16:1 + \Sigma t18:1 + \Sigma t18:2) \times B_i / 100 \quad (1)$$

式中: C_i 为第 i 种食物中 TFA 的平均含量, mg/g; c_i 为第 i 种食物的脂肪中 TFA 总量, mg/g; B_i 为第 i 种食物中脂肪含量, g/100 g。

TFA 摄入量按式(2)计算:

$$D_i = \sum_{i=1}^n (F_i \times C_i / 1000) \quad (2)$$

式中: D_i 为某个体每日的 TFA 摄入量, g/d; F_i 为某个体第 i 种食物的消费量, g/d; C_i 为第 i 种食物中 TFA 的平均含量, mg/g。

2 结果与分析

2.1 我国居民膳食 R-TFA 摄入水平

根据反刍动物制品中脂肪含量(表 4)、脂肪中反式脂肪酸含量(表 5)以及公式(1)可计算出反刍动物制品中的 TFA 含量,结果见表 6。

由表 6 可知,我国居民摄入 R-TFA 的主要反刍动物制品中羊肉的 TFA 含量最高,为 5.32 mg/g,

其次是奶粉,为 1.38 mg/g,酸奶的 TFA 含量最低,为 0.19 mg/g。根据表 1、表 6 以及公式(2)可计算得出我国城乡居民来自 5 种反刍动物制品的 TFA 摄入量及 R-TFA 总摄入量,结果见表 7。

表 6 反刍动物制品中 TFA 含量 mg/g

牛肉	羊肉	鲜奶	奶粉	酸奶
0.88	5.32	0.85	1.38	0.19

注:酸奶中 R-TFA 含量见文献[11]。

由表 7 可知:1982、1992、2002 年以及 2010—2012 年我国居民 R-TFA 摄入水平逐步升高。2010—2012 年我国居民的 R-TFA 摄入量与 2002 年的相比增加了 72.73%,2002 年与 1992 年相比,增加了 41.94%;2002 年与 2010—2012 年的城镇居民 R-TFA 摄入量均高于农村居民的摄入量,造成该结果的原因是 2002 年城镇居民摄入更多的来自奶粉与鲜奶的 TFA(见表 1),2010—2012 年则主要因为鲜奶摄入量的差异,城镇摄入鲜奶的 TFA 是农村的 3 倍多(见表 1)。

表 7 1982、1992、2002 年以及 2010—2012 年我国居民的 R-TFA 摄入量

项目	1982 年	1992 年	2002 年			2010—2012 年		
			平均	城镇	农村	平均	城镇	农村
牛肉	0.001	0.003	0.005	0.006	0.004	0.012	-	-
羊肉	0.002	0.011	0.015	0.020	0.013	0.044	-	-
鲜奶	0.004	0.005	0.016	0.040	0.007	0.016	0.026	0.007
奶粉	0.004	0.011	0.007	0.018	0.003	0.003	0.004	0.002
酸奶	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000
总摄入量	0.011	0.031	0.044	0.085	0.028	0.076	-	-

2.2 不同省份、自治区居民 R-TFA 摄入量

根据表 2、表 6 以及公式(2)可计算得出我国不

同省份、自治区居民来自 5 种反刍动物制品的 TFA 摄入量以及 R-TFA 总摄入量,见表 8。

表 8 不同省份、自治区居民的 R-TFA 摄入量

g/d

项目	河北 (2012年)	辽宁 (2012年)	江苏 (2012年)	安徽 (2012年)	河南 (2012年)	陕西 (2012年)	青海 (2012年)	新疆 (2013年)	内蒙古 (2013年)
牛肉	0.002	0.009	0.005	0.006	0.004	0.003	0.015	0.012	0.011
羊肉	0.012	0.023	0.011	0.019	0.022	0.011	0.064	0.132	0.114
鲜奶	0.039	0.036	0.041	0.021	0.027	0.043	0.047	0.045	0.050
奶粉	0.001	0.001	0.002	0.005	0.001	0.002	0.001	0.001	0.011
酸奶	0.002	0.002	0.002	0.005	0.002	0.002	0.003	0.001	0.000
总摄入量	0.057	0.072	0.061	0.055	0.056	0.062	0.129	0.191	0.186

由表 8 可知,2012、2013 年,从我国东南方到西北方各省、自治区居民 R-TFA 摄入量显著增加。其中新疆与内蒙古的 R-TFA 摄入量较高,分别为 0.191 g/d 与 0.186 g/d,新疆与内蒙古地广草好,畜牧业发展良好,因而较我国东南方的省份,居民对牛

羊肉摄入较多。

根据表 3、表 6 以及公式(2)可计算得出我国辽宁、陕西、河南 3 省居民来自 5 种反刍动物制品的 TFA 摄入量以及 R-TFA 总摄入量,结果见表 9。

表 9 2012—2018 年我国辽宁、陕西、河南 3 省居民的 R-TFA 摄入量

g/d

省份	项目	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年
辽宁	牛肉	0.009	0.008	0.007	0.007	0.009	0.009	0.008
	羊肉	0.023	0.021	0.019	0.026	0.034	0.028	0.023
	鲜奶	0.036	0.039	0.036	0.033	0.032	0.031	0.030
	奶粉	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
	酸奶	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003
	总摄入量	0.072	0.071	0.065	0.069	0.078	0.072	0.067
陕西	牛肉	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003
	羊肉	0.011	0.016	0.016	0.022	0.025	0.022	0.022
	鲜奶	0.043	0.029	0.030	0.031	0.031	0.034	0.034
	奶粉	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003
	酸奶	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	总摄入量	0.062	0.052	0.053	0.059	0.062	0.063	0.063
河南	牛肉	0.004	0.005	0.004	0.005	0.005	0.004	0.005
	羊肉	0.022	0.019	0.016	0.022	0.027	0.027	0.024
	鲜奶	0.027	0.033	0.025	0.032	0.024	0.024	0.025
	奶粉	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003
	酸奶	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003	0.003
	总摄入量	0.056	0.060	0.049	0.063	0.060	0.060	0.060

由表 9 可知,2012—2018 年,辽宁省、陕西省与河南省居民 R-TFA 摄入量总体变化不大。

2.3 讨论

综上所述,我国居民摄入 R-TFA 主要食物来源是羊肉、牛肉、鲜奶、奶粉。我国居民 R-TFA 的摄入量远远低于外国,以丹麦为例,丹麦居民 R-TFA 摄入量为 0.8~3.4 g/d。大量实验探究 R-TFA 摄入量与人体健康的效应关系。一项双盲、随机交叉对照研究中,38 名健康男性分别食用 4 种实验性 R-TFA 膳食,每种膳食为期 4 周。结果表明,高剂量 R-TFA 可能会对胆固醇稳态产生不利影响,但

适度摄入 R-TFA 对血脂和其他心血管疾病风险因素影响不大^[1]。R-TFA 对人体有益的或者中性的影响可能与其异构体相关,R-TFA 有 *t*C16:1、*t*C18:1 和 *t*C18:2 等多种异构体,主要是 11*t*C18:1 以及 9*t*C16:1。11*t*C18:1 是反刍动物中含量最高的一种反式脂肪酸^[12],其可以预防癌症的发生^[4],在人体内 11*t*C18:1 可生物转化为 9*c*,11*t*-CLA,转化率为 11%~30%^[13],9*c*,11*t*-CLA 具有抗炎、抗癌、抗氧化和抗动脉粥样硬化作用,还具有抑制脂肪积累、促进生长以及刺激免疫等功效^[14]。此外,9*t*C16:1 能够提高胰岛素的敏感性,对糖尿病的促发有一定抑

制作用,还能舒缓血管压力^[15-17],反刍动物除自身含有 9*t*C16:1 外,还有部分是通过 11*t*C18:1 氧化生成^[18]。课题组前期研究了不同来源反式脂肪酸对人脐静脉内皮细胞功能的影响,结果显示 R-TFA 和工业来源反式脂肪酸均能引发细胞凋亡,特别是在 100 μmol/L 时,细胞活力开始显著下降,减少了 NO 分泌,同时促发 ICAM1、VCAM-1 和 IL-6 等炎症因子表达显著升高,且工业来源反式脂肪酸作用效果比 R-TFA 更明显^[19]。

3 结束语

R-TFA 的摄入量与人体健康可能存在剂量效应关系,适量 R-TFA 有益,过量则有害。本次调查研究发现:1982—2012 年 30 年间我国居民 R-TFA 摄入量逐年上涨,2010—2012 年全国居民平均 R-TFA 摄入量为 0.076 g/d,且城镇高于农村。2012—2018 年辽宁、陕西与河南 3 省居民 R-TFA 摄入量总体变化不大。另外,我国居民 R-TFA 的摄入水平远低于西方国家。

参考文献:

- [1] GEBAUER S K, CHARDIGNY J M, JAKOBSEN M U, et al. Effects of ruminant *trans* fatty acids on cardiovascular disease and cancer: a comprehensive review of epidemiological, clinical, and mechanistic studies [J]. *Adv Nutr*, 2011, 2(4): 332-354.
- [2] VENKATESWARAN V, KLOTZ L H. Diet and prostate cancer: mechanisms of action and implications for chemoprevention[J]. *Nat Rev Urol*, 2010(7): 442-453.
- [3] MILLER P E, LESKO S M, MUSCAT J E, et al. Dietary patterns and colorectal adenoma and cancer risk: a review of the epidemiological evidence[J]. *Nutr Cancer*, 2010, 62: 413-424.
- [4] OH J J, LEE J S, LIM J N, et al. *Trans* vaccenic acid (*trans*-11 18:1), a precursor of *cis*-9, *trans*-11-conjugated linoleic acid, exerts a direct anti-carcinogenic function in T47D breast carcinoma cells [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2014, 23(2): 641-646.
- [5] JAKOBSEN M U, BYSTED A, ANDERSEN N L, et al. Intake of ruminant *trans* fatty acids in the Danish population aged 1-80 years [J]. *Eur J Clin Nutr*, 2006, 60(3): 312-318.
- [6] 周潇奇. 我国居民二十年间膳食脂肪酸的变化及不同脂肪酸构成比对动脉粥样硬化老龄大鼠脂肪代谢的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2008.
- [7] 马冠生, 赵丽云. 中国居民营养与健康状况监测报告(2010—2013)[C]//中国营养学研究发展报告研讨会论文集. 北京: 中国营养学会, 2014.
- [8] 程广燕, 刘珊珊, 杨祯妮, 等. 中国肉类消费特征及 2020 年预测分析[J]. *中国农村经济*, 2015(2): 76-82.
- [9] 花锦, 赵悠悠, 高媛惠, 等. 基于近红外技术快速测定不同鲜肉中脂肪含量[J]. *光谱学与光谱分析*, 2017, 37(11): 3424-3429.
- [10] 张姐, 范亚苇, 于化泓, 等. Ag⁺-SPE/GC 测定食物中 *trans*C16:1, *trans*C18:1, *trans*C18:2 和共轭亚油酸的含量[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(9): 286-295.
- [11] 中国居民反式脂肪酸膳食摄入水平及其风险评估报告摘要[J]. *食品安全导刊*, 2013(8): 22-24.
- [12] MOTARD-BÉLANGER A, CHAREST A, GRENIER, et al. Study of the effect of *trans* fatty acids from ruminants on blood lipids and other risk factors for cardiovascular disease[J]. *Am J Clin Nutr*, 2008, 87(3): 593-599.
- [13] VAHMANI P, MEADUS W J, TURNER T D, et al. Individual *trans*18:1 isomers are metabolised differently and have distinct effects on lipogenesis in 3T3-L1 adipocytes[J]. *Lipids*, 2015, 50(2): 195-204.
- [14] JAUDSZUS A, KRAMER R, PFEUFFER M, et al. *Trans* palmitoleic acid arises endogenously from dietary vaccenic acid[J]. *Am J Clin Nutr*, 2014, 99(3): 431-435.
- [15] MOZAFFARIAN D, DE OLIVEIRA OTTO M C, LEMAITRE R N, et al. *Trans*-palmitoleic acid, other dairy fat biomarkers, and incident diabetes: the multi-ethnic study of atherosclerosis (MESA) [J]. *Am J Clin Nutr*, 2013, 97(4): 854-861.
- [16] 文晓东. 反油酸和反异油酸对人脐静脉内皮细胞损伤差异的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2016.
- [17] 胡盛本. 反刍动物反式脂肪酸对内皮细胞磷脂的影响及其机理[D]. 南昌: 南昌大学, 2018.
- [18] GUILLOCHEAU E, GARCIA C, DROUIN G, et al. Retroconversion of dietary *trans*-vaccenic (*trans*-C18:1 *n*-7) acid to *trans*-palmitoleic acid (*trans*-C16:1 *n*-7): proof of concept and quantification in both cultured rat hepatocytes and pregnant rats [J]. *J Nutr Biochem*, 2019, 63: 19-26.
- [19] LI J, HU S B, HE Y M, et al. 9*c*11*t*CLA modulates 11*t*18:1 and 9*t*18:1 induced inflammations differently in human umbilical vein endothelial cells[J/OL]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 1535 [2020-08-06]. <https://doi.org/10.1038/S41598-018-19729-9>.