

我国部分地区不同哺乳期母乳中脂肪酸含量的分析

王 蕾¹, 李菊芳², 米丽娟², 逢金柱², 叶兴旺^{2,3}, 刘正冬^{2,3*}, 闫志远^{2,3},
金青哲¹, 韦 伟^{1*}, 王兴国¹

(¹江南大学食品学院 食品安全与营养协同创新中心 江苏无锡 214122

²内蒙古蒙牛乳业(集团)股份有限公司 北京 101107

³雅士利国际集团有限公司 广州 510335)

摘要 分析我国 6 个城市 3 个哺乳期的母乳中脂肪酸的组成和含量,探究哺乳期和地理位置对母乳脂肪酸含量的影响。从包头($n=41$)、北京($n=40$)、济南($n=20$)、昆明($n=33$)、深圳($n=21$)和西宁($n=49$)6 个城市共收集 204 例母乳,其中初乳 28 例,1 月龄乳 67 例,4 月龄乳 109 例。以 C11:0 为内标,采用气相色谱分析母乳中脂肪酸的含量,结果显示:成熟乳中脂肪含量显著高于初乳($P<0.05$),济南地区母乳中脂肪含量最高(~ 5 g/100 mL),昆明和深圳地区最低(<3.0 g/100 mL)。哺乳期间 C16:0 的含量较稳定,约为 192 mg/g 脂肪;初乳富含长链不饱和脂肪酸,初乳中 C18:2 n-6c 和 C18:3 n-3 的含量显著低于成熟乳($P<0.05$)。不同地区的母乳中脂肪酸含量有一定的差异,其中亚油酸/亚麻酸的比值差异很大。进一步比较了本文的数据与其他国家母乳脂肪酸含量的差异。本研究为母乳脂肪酸的定量分析及母乳脂肪酸浓度的影响因素提供理论参考。

关键词 母乳脂肪; 脂肪酸; 绝对含量; 哺乳期; 地区

文章编号 1009-7848(2023)11-0332-10 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2023.11.031

母乳为婴儿的生长发育提供所需营养物质。脂肪约占母乳的 3%~5%,是母乳中主要的供能成分,为婴儿生长提供约 50%的能量、必需脂肪酸以及脂溶性维生素等^[1]。近年来,人们对母乳的脂肪酸组成做了广泛的研究,结果发现饱和脂肪酸(Saturated fatty acid, SFA)约占母乳中总脂肪酸的 37%~56%,单不饱和脂肪酸(Monounsaturated fatty acid, MUFA)约占 25%~43%,多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated fatty acid, PUFA)约占 10%~20%^[2]。母乳中脂肪酸的含量受地理位置、饮食习惯、经济发展水平、哺乳期和母亲基因等因素的影响^[3-6]。有研究表明,母乳中二十二碳六烯酸(Docosahexaenoic acid, DHA, C22:6 n-3)的含量与鱼类的摄入量显著相关^[7,8]。最新的一项研究表明,母乳中亚油酸(Linoleic acid, LA, C18:2 n-6c)含量与大豆和豆制品的消费量呈正相关关系,而与海产品的消费量呈负相关关系^[9]。

目前的研究几乎都是通过归一化方法将脂肪酸含量以 g/100 g 的形式表示^[10-12]。将脂肪酸数据归一化虽有许多优点,但这种方法忽略了由脂肪提取不完全而造成的偏差,不能说明母乳中脂肪酸的绝对含量。Cruz-Hernandez 等^[13]报道了一种以十一烷酸甲酯(C11:0)为内标物的方法,通过计算不同脂肪酸的相应因子,建立了一种可以测定母乳中脂肪酸绝对含量的方法。本团队在此基础上^[14],优化母乳脂肪酸甲酯化的前处理方法,以定量分析母乳中碳链长度从 4 到 24 的脂肪酸含量。

本文将采用绝对含量的形式表征母乳中脂肪酸含量,并探究哺乳期间母乳中脂肪酸含量的变化规律以及地理位置对其的影响。本研究结果将为婴儿配方奶粉的研发和评估婴儿的脂肪酸摄入量提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

母乳样本从中国 6 个城市采集,分别来自包头(40 例)、北京(41 例)、济南(20 例)、昆明(33 例)、深圳(21 例)和西宁(49 例),由内蒙古蒙牛乳业(集团)股份有限公司提供。母乳样本采集方案经过北京首都儿科研究所伦理委员会批准

收稿日期: 2022-11-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(31701558);呼和浩特市重大科技专项(2020-高-重-1)

第一作者: 王蕾,女,硕士

通信作者: 刘正冬 E-mail: zhengdong.liu@yashili.cn

韦 伟 E-mail: weiw@jiangnan.edu.cn

(SHERLL2013007)。脂肪酸甲酯混合标准品(C4~C24, 18919-1AMP) 和十一烷酸甲酯标准品($\geq 98.0\%$), 美国 Sigma-Aldrich 有限公司; 色谱级甲醇和正己烷, 上海百灵威科技有限公司; 分析纯氨水、无水乙醇、无水乙醚、石油醚、氢氧化钾、无水硫酸钠, 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

7820 气相色谱仪, 美国安捷伦科技有限公司; TGL-16B 高速离心机, 上海安亭科学仪器厂; SE812 氮吹仪, 上海安谱实验科技股份有限公司; AR2140 电子天平, 上海梅特勒-托利多仪器有限公司; HH-W600 数显恒温水浴锅, 金坛市荣华仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 母乳脂肪的提取 采用经典的罗兹-哥特里法提取母乳中的脂肪^[15]。取 5 mL 母乳样品, 加入 1 mL 氨水, 充分混合后放入 $(65\pm 5)^\circ\text{C}$ 电热恒温振荡水浴锅中振荡 20 min。取出冷却至室温, 依次加入 5 mL 无水乙醇、10 mL 无水乙醚和 10 mL 石油醚, 将混合物充分振荡混匀并静置 2 h, 待上清液明显与水相分离, 收集上清液。将所用溶剂减半, 重复上述操作, 进行第 2 次提取, 得到的上清液与第 1 次提取液合并, 用氮气将溶剂吹干至恒重, 得到母乳脂肪, 称重后计算乳脂含量, 结果以 g/100 mL 母乳形式表示。

1.3.2 脂肪酸甲酯制备 采用氢氧化钾-甲醇法制备脂肪酸甲酯^[14]。称取一定量上述母乳脂肪于离心管中, 加入 200 μL 质量浓度为 5 mg/mL 的 C11:0 脂肪酸甲酯内标溶液, 然后加入 800 μL 正己烷, 再加入 500 μL 浓度为 2 mol/L 的氢氧化钾-甲醇溶液, 混合振荡 2 min 使脂肪酸充分甲酯化。加入适量无水硫酸钠, 振荡脱水。以 10 000 r/min 离心 3 min, 吸取上清液, 过膜后采用气相色谱进行分析。

1.3.3 脂肪酸的定性分析 气相色谱检测条件^[16]: 色谱柱为 DB-Fast FAME 毛细管柱 (30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm , Agilent, CA, USA); 采用氢火焰离子化检测器, 进样器温度 260 $^\circ\text{C}$ 。升温程序: 初始温度为 80 $^\circ\text{C}$, 保持 0.5 min; 以 40 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速度升温至 165 $^\circ\text{C}$ 并保持 1 min; 再以 2 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速度升温至 220 $^\circ\text{C}$, 保持 1 min。载气为氮气, 流速 25 mL/

min; 分流比为 100:1; 进样体积为 1 μL 。根据 37 种脂肪酸甲酯混合标准品的保留时间对母乳中脂肪酸进行定性。

1.3.4 脂肪酸的定量分析 根据前期研究结果^[14]对母乳中脂肪酸进行定量。首先, 根据式(1)计算混合标准品中每个脂肪酸甲酯的响应因子 R_i 。

$$R_i = \frac{m_i' \times A_0'}{m_0' \times A_i'} \quad (1)$$

式中, m_i' ——混合标准液中每种脂肪酸甲酯的相对百分质量, %; A_0' ——混合标准品的色谱图中 C11:0 的峰面积; m_0' ——混合标准品 C11:0 的相对百分质量, %; A_i' ——混合标准品的色谱图中每种脂肪酸甲酯的峰面积。

根据式(2)对母乳中脂肪酸进行定量, 结果以 mg/g 脂肪形式表示:

$$\text{FA}_i \text{ (mg/g 脂肪)} = \frac{m_0 \times R_i \times A_i \times S_i}{A_0 \times m} \times 1000 \quad (2)$$

式中, FA_i ——母乳中每种脂肪酸的含量, mg/g; m_0 ——加入的内标 C11:0 的质量, mg; R_i ——每种脂肪酸的响应因子; A_i ——样品的色谱图中每种脂肪酸甲酯的峰面积; S_i ——将脂肪酸甲酯转换为脂肪酸的换算系数; A_0 ——样品的色谱图中内标 C11:0 的峰面积; m ——进行甲酯化时称取的母乳脂肪的质量, mg。

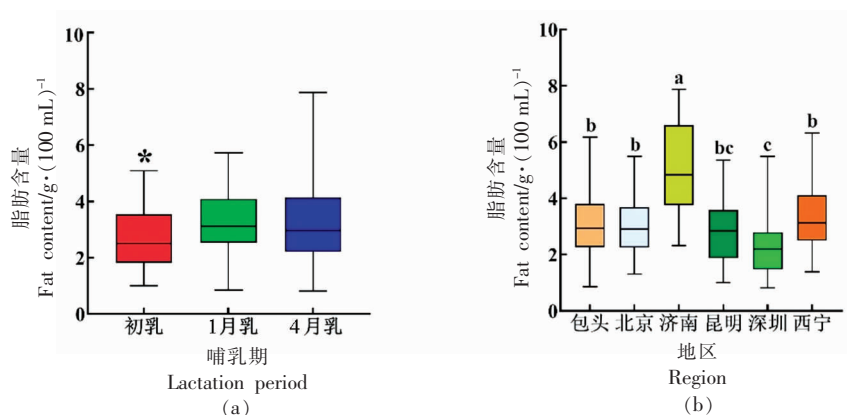
1.4 统计学分析

采用 IBM SPSS Statistics 25 进行数据分析, 用方差分析法(ANOVA)中的 Duncan 检验分析各组数据间的显著性差异, $P < 0.05$ 时认为具有统计学差异。采用 GraphPad prism 软件作图。

2 结果与分析

2.1 母乳脂肪含量

本研究所用的 204 例母乳来自全国 6 个城市的不同哺乳期乳母, 根据哺乳时间, 将母乳划分为初乳产后 0~7 d, 共 28 例; 产后 1 月龄乳共 67 例和产后 4 月龄乳共 109 例; 根据母乳采集地点, 将母乳来源区域划分为包头(40 例)、北京(41 例)、济南(20 例)、昆明(33 例)、深圳(21 例)和西宁(49 例)6 个地区。对不同哺乳期和地理位置的母乳中脂肪含量进行分析, 结果如图 1 所示。



注:图 a 中 * 表示该组与其它组具有显著性差异($P<0.05$),图 b 中不同字母表示不同城市间具有显著性差异($P<0.05$)。

图 1 不同哺乳期(a)和不同地区(b)母乳中脂肪含量

Fig.1 Fat content (g/100 mL) of human milk in different lactation periods (a) and different regions (b)

随着哺乳期的延长,母乳中的脂肪含量会表现出较大变化^[7]。从图 1a 可以看出,从初乳到成熟乳,脂肪含量呈显著增加趋势($P<0.05$),由初乳的 (2.67 ± 1.09) g/100 mL 增加到 1 月龄乳的 (3.25 ± 1.08) g/100 mL,进而又增加到 4 月龄乳的 (3.31 ± 1.54) g/100 mL,然而 1 月龄乳和 4 月龄乳的脂肪含量无显著差异($P>0.05$)。这与 Qi 等^[10]和 Thakkar 等^[11]的研究结果一致,即母乳中的脂肪含量在初乳中最低,在成熟乳中含量最高。

母乳中的脂肪含量还会受到地理位置的影响。从图 1b 可以看出,济南地区母乳中脂肪含量最高,为 (5.07 ± 1.60) g/100 mL;其次是西宁、包头和北京,约为 3.2 g/100 mL;昆明和深圳地区母乳中脂肪含量最低,均 <3.0 g/100 mL。Chen 等^[18]发现哈尔滨地区成熟乳中脂肪含量 $[(3.29\pm 1.17)$ g/100 mL] 低于郑州 $[(3.90\pm 1.41)$ g/100 mL] 和武汉 $[(3.89\pm 1.66)$ g/100 mL] 母乳的脂肪含量。Wan 等^[19]报道的华北地区 52 位乳母的成熟乳脂肪含量为 (4.02 ± 1.43) g/100 mL,推测不同地区母乳中脂肪含量的差异可能与母亲的个体差异和母亲的膳食习惯有关。

2.2 不同哺乳期母乳的脂肪酸含量

使用气相色谱对母乳中脂肪酸组成进行分析,共鉴定 33 种脂肪酸,包括出 14 种 SFA、8 种 MUFA 和 11 种 PUFA,并根据内标物 C11:0 的添加量,计算了母乳中脂肪酸的含量(mg/g 脂肪),不同哺乳期母乳中脂肪酸的含量如表 1 所示。

在 3 个哺乳期中,总 SFA 在初乳中的含量最低,为 324.30 mg/g 脂肪,在 1 月龄乳和 4 月龄乳中含量相似,为 341.14 mg/g 脂肪和 339.94 mg/g 脂肪,然而 3 个哺乳期中 SFA 的含量无显著性差异($P>0.05$)。棕榈酸(C16:0)是含量最丰富的 SFA,在整个哺乳期中含量比较稳定,约为 192 mg/g 脂肪。何光华等^[20]发现沪浙地区产后 0~12 个月母乳中 C16:0 的含量稳定在 20%,与本文的研究结果相似。此外,随着哺乳期延长,硬脂酸(C18:0)含量显著增加($P<0.05$),由初乳中 49.18 mg/g 脂肪增加到 1 月龄乳的 57.02 mg/g 脂肪进而又增加到 61.81 mg/g 脂肪。3 种中链脂肪酸(C8:0、C10:0 和 C12:0)均在 1 月龄乳中表现出最高含量,在初乳中含量最低。这可能是由于随着哺乳期延长,婴儿对能量的需求增加,而中链脂肪酸在体内水解后,直接经门静脉运输至肝脏,能够快速为婴儿提供能量^[21]。此外,母乳中的中链脂肪酸来自于乳腺细胞的从头合成,而哺乳早期乳腺的代谢尚未成熟,因此初乳中的中链脂肪酸含量较低^[22]。

随着哺乳期延长,母乳中总 MUFA 含量显著下降($P<0.05$),由初乳中的 361.02 mg/g 脂肪减少到 1 月龄乳的 331.41 mg/g 脂肪又减少到 4 月龄乳的 321.05 mg/g 脂肪,这与 Giuffrida 等^[23]报道的 MUFA 在不同哺乳期之间的变化趋势一致。油酸(C18:1 n-9c)是母乳中含量最多的脂肪酸^[2],在本研究中,C18:1 n-9c 在初乳中含量显著高于 1 月龄乳和 4 月龄乳($P<0.05$),初乳中含量为 327.68

表 1 不同哺乳期母乳的脂肪酸含量(mg/g 脂肪)

Table 1 Fatty acids concentration in human milk during lactation (mg/g Fat)

脂肪酸	初乳(n=28)	1 月龄乳(n=67)	4 月龄乳(n=109)
C4:0	0.19 ± 0.14	0.16 ± 0.13	0.24 ± 0.39
C6:0	0.17 ± 0.09 ^a	0.15 ± 0.10 ^{ab}	0.13 ± 0.08 ^b
C8:0	0.40 ± 0.37 ^b	0.67 ± 0.41 ^a	0.46 ± 0.30 ^b
C10:0	4.84 ± 3.74 ^c	9.32 ± 2.58 ^a	7.36 ± 1.94 ^b
C12:0	28.11 ± 18.21 ^b	37.27 ± 12.28 ^a	32.53 ± 9.7 ^{ab}
C13:0	0.20 ± 0.08 ^a	0.18 ± 0.05 ^b	0.17 ± 0.05 ^b
C14:0	40.09 ± 17.65	36.66 ± 11.70	36.14 ± 12.75
C15:0	1.24 ± 0.42	1.35 ± 0.48	1.26 ± 0.49
C16:0	192.28 ± 20.00	192.01 ± 30.64	191.81 ± 25.51
C17:0	2.17 ± 0.40	2.32 ± 0.65	2.36 ± 0.95
C18:0	49.18 ± 9.26 ^b	57.02 ± 14.02 ^a	61.81 ± 15.19 ^a
C20:0	1.62 ± 0.45 ^b	1.78 ± 0.47 ^b	2.32 ± 0.87 ^a
C22:0	0.65 ± 0.21 ^b	0.67 ± 0.28 ^b	1.10 ± 0.86 ^a
C24:0	3.15 ± 1.24 ^a	1.57 ± 0.38 ^b	1.82 ± 0.58 ^b
C14:1 n-5	0.42 ± 0.23 ^b	0.53 ± 0.26 ^a	0.38 ± 0.19 ^b
C15:1 n-7	0.19 ± 0.11	0.27 ± 0.18	0.25 ± 0.23
C16:1 n-7	15.36 ± 4.49 ^a	15.97 ± 4.91 ^a	12.94 ± 3.62 ^b
C17:1 n-7	1.28 ± 0.20	1.35 ± 0.29	1.21 ± 0.53
C18:1 n-9c	327.68 ± 33.34 ^a	302.16 ± 34.10 ^b	297.42 ± 32.34 ^b
C20:1 n-9	9.32 ± 2.51 ^a	6.56 ± 5.42 ^b	5.86 ± 4.61 ^b
C22:1 n-9	3.50 ± 2.31	3.53 ± 6.96	2.31 ± 6.10
C24:1 n-9	3.26 ± 1.62 ^a	1.02 ± 1.04 ^b	0.68 ± 0.76 ^b
C18:2 n-6t	0.34 ± 0.19	0.46 ± 0.26	0.41 ± 0.37
C18:2 n-6c	134.22 ± 18.01 ^c	160.52 ± 31.82 ^b	174.08 ± 39.71 ^a
C18:3 n-6	0.55 ± 0.23 ^b	1.05 ± 0.46 ^a	1.05 ± 0.38 ^a
C20:2 n-6	9.73 ± 3.21 ^a	4.34 ± 0.85 ^b	3.87 ± 0.65 ^b
C20:3 n-6	6.81 ± 1.55 ^a	4.65 ± 1.43 ^b	3.41 ± 0.96 ^c
C20:4 n-6	6.21 ± 1.24 ^a	4.49 ± 1.10 ^b	3.64 ± 0.92 ^c
C22:2 n-6	1.91 ± 0.68 ^a	0.60 ± 0.19 ^b	0.44 ± 0.14 ^c
C18:3 n-3	9.74 ± 5.01 ^b	13.97 ± 7.52 ^a	15.08 ± 11.72 ^a
C20:3 n-3	1.31 ± 0.43 ^a	0.66 ± 0.21 ^b	0.62 ± 0.34 ^b
C20:5 n-3	0.28 ± 0.13 ^b	0.32 ± 0.18 ^{ab}	0.39 ± 0.29 ^a
C22:6 n-3	3.82 ± 1.49 ^a	2.51 ± 1.00 ^b	2.64 ± 1.46 ^b
ΣSFA	324.30 ± 39.29	341.14 ± 41.30	339.94 ± 40.13
ΣMUFA	361.02 ± 35.29 ^a	331.41 ± 38.71 ^b	321.05 ± 36.23 ^b
Σn-6 PUFA	159.77 ± 20.38 ^b	176.11 ± 32.63 ^a	186.9 ± 40.66 ^a
Σn-3 PUFA	15.15 ± 5.09	17.46 ± 7.60	18.73 ± 11.84
LA/ALA	17.16 ± 7.14	14.42 ± 6.75	17.07 ± 11.19
ARA/DHA	1.76 ± 0.46 ^{ab}	1.93 ± 0.53 ^a	1.65 ± 0.64 ^b

注:SFA. 饱和脂肪酸;MUFA. 单不饱和脂肪酸;PUFA. 多不饱和脂肪酸;LA. C18:2 n-6c; ALA. C18:3 n-3; ARA. C20:4 n-6; DHA. C22:6 n-3;不同小写字母表示不同哺乳期间具有显著性差异($P<0.05$)。

mg/g 脂肪,而在 1 月龄乳和 4 月龄乳中仅为约 300 mg/g 脂肪。母乳中另一含量丰富的 MUFA,棕榈油酸(C16:1 n-7)在 4 月龄乳中的含量显著低于初乳和 1 月龄乳($P<0.05$)。

由表 1 还可以看到,初乳中总 n-6 PUFA 的含量为 159.77 mg/g 脂肪,显著低于 1 月龄乳和 4 月龄乳中总 n-6 PUFA 的含量($P<0.05$)。亚油酸(LA, C18:2 n-6c)是含量最丰富的 n-6 PUFA,

其含量随着哺乳期延长表现出显著增加的趋势,从初乳的 134.22 mg/g 脂肪增加到 1 月龄乳的 160.52 mg/g 脂肪 ($P<0.05$) 进而又增加到 174.08 mg/g 脂肪 ($P<0.05$)。这与本实验室前期检测的无锡地区不同哺乳期母乳中 C18:2 n-6c 的增长趋势一致^[4]。母乳中花生四烯酸(Arachidonic acid, ARA, C20:4 n-6)含量在哺乳期间表现出显著降低的趋势 ($P<0.05$)。与哺乳期间总 n-6 PUFA 含量变化趋势一致,母乳中总 n-3 PUFA 含量虽随着哺乳期延长也表现出增加的趋势,但变化不显著。亚麻酸(α -Linolenic acid, ALA, C18:3 n-3)作为含量最丰富的 n-3 PUFA,在整个哺乳期表现出显著增加的趋势 ($P<0.05$),初乳中 C18:3 n-3 含量仅为 9.74 mg/g 脂肪,而在 4 月龄乳中可以达到 15.08 mg/g 脂肪。母乳中的 DHA (C22:6 n-3)在初乳中的含量(3.82 mg/g 脂肪)显著高于 1 月龄乳(2.51 mg/g 脂肪)和 4 月龄乳中的含量(2.64

mg/g 脂肪)。LA/ALA 的比值在 1 月龄乳中最低,约为 14,而 3 个月哺乳期 LA/ALA 的比值无显著性差异,这与前期的研究结果一致^[10,24]。ARA/DHA 的比值在 1 月龄乳中最高,约为 1.93,且显著高于 4 月龄乳 ($P<0.05$)。

2.3 不同地区母乳中脂肪酸含量

不同地区母乳中脂肪酸的含量如表 2 所示。济南和北京母乳中总 SFA 含量较高,均约为 350 mg/g 脂肪;而深圳和西宁两地母乳中总 SFA 含量较低,均 <330 mg/g 脂肪;包头和昆明两地母乳中总 SFA 含量接近,约为 343 mg/g 脂肪。包头地区的母乳含有最高的 C8:0、C10:0 和 C12:0 含量,分别为 0.89、9.61 mg/g 脂肪和 36.41 mg/g 脂肪。北京、济南和昆明 3 地母乳中 C16:0 的含量显著高于包头、深圳和西宁地区 ($P<0.05$)。包头、济南和昆明地区母乳中 C18:0 含量(>60 mg/g 脂肪)高于其它 3 座城市 (<55 mg/g)。

表 2 不同地区母乳中脂肪酸含量(mg/g 脂肪)

Table 2 Fatty acids concentration in human milk from different cities (mg/g Fat)

脂肪酸	包头 (n=40)	北京 (n=41)	济南 (n=20)	昆明 (n=33)	深圳 (n=21)	西宁 (n=49)
C4:0	0.18 ± 0.14 ^b	0.11 ± 0.04 ^b	0.08 ± 0.02 ^b	0.29 ± 0.14 ^b	2.95 ± 6.23 ^a	0.12 ± 0.09 ^b
C6:0	0.15 ± 0.09 ^b	0.13 ± 0.05 ^b	0.06 ± 0.02 ^c	0.21 ± 0.09 ^a	0.12 ± 0.13 ^b	0.14 ± 0.11 ^b
C8:0	0.89 ± 0.46 ^a	0.52 ± 0.31 ^b	0.31 ± 0.10 ^c	0.28 ± 0.13 ^c	0.38 ± 0.40 ^{bc}	0.53 ± 0.32 ^b
C10:0	9.61 ± 2.17 ^a	8.09 ± 2.77 ^b	6.18 ± 1.37 ^{cd}	5.32 ± 2.78 ^d	7.16 ± 2.37 ^{bc}	8.11 ± 2.87 ^b
C12:0	36.41 ± 8.38 ^a	35.32 ± 13.97 ^a	28.42 ± 9.97 ^b	27.55 ± 13.06 ^b	31.94 ± 11.39 ^{ab}	36.31 ± 12.45 ^a
C13:0	0.18 ± 0.04	0.17 ± 0.05	0.18 ± 0.08	0.16 ± 0.05	0.17 ± 0.07	0.19 ± 0.07
C14:0	37.33 ± 8.99	37.32 ± 14.45	35.28 ± 16.00	35.20 ± 12.82	36.00 ± 14.69	38.46 ± 12.57
C15:0	1.49 ± 0.49 ^a	1.23 ± 0.40 ^b	1.23 ± 0.48 ^b	1.22 ± 0.38 ^b	1.10 ± 0.46 ^b	1.34 ± 0.56 ^{ab}
C16:0	187.19 ± 20.74 ^b	205.22 ± 22.53 ^a	208.81 ± 26.32 ^a	200.73 ± 21.88 ^a	184.16 ± 34.32 ^b	176.75 ± 28.45 ^b
C17:0	2.60 ± 1.08 ^a	2.19 ± 0.44 ^{ab}	2.23 ± 0.48 ^{ab}	2.34 ± 0.44 ^{ab}	1.92 ± 0.51 ^b	2.40 ± 1.05 ^a
C18:0	61.42 ± 15.87 ^{ab}	55.09 ± 9.24 ^{bc}	63.62 ± 11.65 ^a	65.90 ± 16.11 ^a	54.71 ± 11.28 ^{bc}	53.61 ± 16.18 ^c
C20:0	1.71 ± 0.35 ^b	1.80 ± 0.59 ^b	2.72 ± 1.04 ^a	1.99 ± 0.42 ^b	2.81 ± 1.11 ^a	1.97 ± 0.63 ^b
C22:0	0.72 ± 0.27 ^b	0.79 ± 0.51 ^b	1.44 ± 1.00 ^a	0.67 ± 0.22 ^b	1.70 ± 1.09 ^a	0.71 ± 0.29 ^b
C24:0	1.70 ± 0.38 ^b	1.68 ± 0.60 ^b	2.15 ± 0.66 ^a	2.25 ± 1.48 ^a	2.17 ± 0.71 ^a	1.90 ± 0.59 ^{ab}
C14:1 n-5	0.60 ± 0.23 ^a	0.45 ± 0.20 ^b	0.37 ± 0.21 ^b	0.35 ± 0.18 ^b	0.34 ± 0.21 ^b	0.42 ± 0.23 ^b
C15:1 n-7	0.38 ± 0.25 ^a	0.21 ± 0.13 ^b	0.19 ± 0.14 ^b	0.22 ± 0.12 ^b	0.17 ± 0.11 ^b	0.27 ± 0.24 ^b
C16:1 n-7	15.96 ± 3.45 ^a	15.44 ± 4.02 ^a	14.00 ± 4.11 ^{abc}	14.54 ± 4.50 ^{ab}	12.07 ± 4.75 ^c	12.88 ± 5.06 ^{bc}
C17:1 n-7	1.54 ± 0.56 ^a	1.20 ± 0.22 ^{bc}	1.03 ± 0.30 ^{cd}	1.23 ± 0.16 ^{bc}	0.93 ± 0.41 ^d	1.35 ± 0.51 ^{ab}
C18:1 n-9c	286.15 ± 22.07 ^{cd}	288.38 ± 25.39 ^{cd}	301.23 ± 33.92 ^c	333.63 ± 34.54 ^a	284.13 ± 51.04 ^d	317.10 ± 33.99 ^b
C20:1 n-9	4.88 ± 1.75 ^c	4.44 ± 1.51 ^c	5.39 ± 1.38 ^{bc}	7.47 ± 2.45 ^b	4.55 ± 1.05 ^c	10.47 ± 7.88 ^a
C22:1 n-9	1.61 ± 1.53 ^b	0.97 ± 0.59 ^b	0.86 ± 0.25 ^b	2.42 ± 1.74 ^b	0.71 ± 0.63 ^b	7.52 ± 10.90 ^a
C24:1 n-9	0.67 ± 0.45 ^c	0.63 ± 0.62 ^c	0.45 ± 0.15 ^c	1.66 ± 1.38 ^b	0.36 ± 0.18 ^c	2.26 ± 1.80 ^a

(续表 2)

脂肪酸	包头 (n=40)	北京 (n=41)	济南 (n=20)	昆明 (n=33)	深圳 (n=21)	西宁 (n=49)
C18:2 n-6t	0.62 ± 0.39 ^a	0.36 ± 0.17 ^{bc}	0.31 ± 0.16 ^{bc}	0.36 ± 0.17 ^{bc}	0.25 ± 0.19 ^c	0.46 ± 0.41 ^b
C18:2 n-6c	178.41 ± 30.50 ^b	170.72 ± 30.49 ^{bc}	160.08 ± 25.40 ^{cd}	133.05 ± 26.09 ^c	206.35 ± 44.81 ^a	150.42 ± 34.44 ^d
C18:3 n-6	1.29 ± 0.44 ^a	0.73 ± 0.32 ^d	1.04 ± 0.38 ^{bc}	0.74 ± 0.31 ^d	1.19 ± 0.45 ^{ab}	0.99 ± 0.38 ^c
C20:2 n-6	4.31 ± 0.84 ^{bc}	5.35 ± 2.73 ^b	3.75 ± 0.53 ^c	6.55 ± 3.71 ^a	4.00 ± 0.88 ^c	4.49 ± 2.05 ^{bc}
C20:3 n-6	4.41 ± 1.26 ^{ab}	4.89 ± 1.79 ^a	3.26 ± 0.98 ^c	4.73 ± 2.33 ^a	3.81 ± 1.14 ^{bc}	4.00 ± 1.51 ^{abc}
C20:4 n-6	4.60 ± 0.88 ^a	4.46 ± 1.58 ^a	3.53 ± 0.88 ^b	4.40 ± 1.90 ^a	4.16 ± 1.32 ^{ab}	4.12 ± 1.17 ^{ab}
C22:2 n-6	0.53 ± 0.18 ^c	0.83 ± 0.63 ^b	0.43 ± 0.11 ^c	1.10 ± 0.88 ^a	0.43 ± 0.18 ^c	0.69 ± 0.50 ^{bc}
C20:3 n-3	0.70 ± 0.37 ^b	0.60 ± 0.24 ^{bc}	0.51 ± 0.19 ^c	0.94 ± 0.38 ^a	0.42 ± 0.20 ^c	0.95 ± 0.46 ^a
C20:5 n-3	0.39 ± 0.22 ^a	0.26 ± 0.14 ^b	0.45 ± 0.28 ^a	0.20 ± 0.10 ^b	0.49 ± 0.36 ^a	0.39 ± 0.18 ^a
C18:3 n-3	17.25 ± 15.21 ^a	9.55 ± 4.01 ^b	9.96 ± 5.92 ^b	10.01 ± 3.99 ^b	10.03 ± 4.17 ^b	20.89 ± 8.71 ^a
C22:6 n-3	2.50 ± 1.08 ^b	2.74 ± 1.12 ^b	3.84 ± 1.94 ^a	2.84 ± 1.68 ^b	3.59 ± 1.85 ^a	2.29 ± 0.93 ^b
ΣSFA	341.59 ± 31.24 ^{ab}	349.64 ± 37.66 ^a	352.71 ± 40.67 ^a	344.10 ± 43.55 ^{ab}	327.28 ± 60.11 ^b	322.53 ± 42.21 ^b
ΣMUFA	311.79 ± 23.71 ^{bc}	311.72 ± 28.07 ^{bc}	323.53 ± 34.09 ^b	361.52 ± 37.41 ^a	303.27 ± 55.11 ^c	352.27 ± 39.89 ^a
Σn-6 PUFA	194.17 ± 31.21 ^b	187.34 ± 28.19 ^{bc}	172.40 ± 26.41 ^{cd}	150.93 ± 28.84 ^c	220.20 ± 46.29 ^a	165.17 ± 33.81 ^{de}
Σn-3 PUFA	20.85 ± 15.48 ^a	13.14 ± 3.80 ^b	14.76 ± 6.41 ^b	14.00 ± 3.93 ^b	14.52 ± 4.67 ^b	24.52 ± 8.68 ^a
LA/ALA	15.64 ± 9.38 ^b	20.12 ± 6.55 ^a	22.33 ± 13.67 ^a	15.00 ± 5.19 ^b	23.96 ± 9.46 ^a	8.41 ± 4.03 ^c
ARA/DHA	2.04 ± 0.55 ^a	1.73 ± 0.50 ^{bc}	1.09 ± 0.41 ^d	1.69 ± 0.53 ^{bc}	1.45 ± 0.65 ^c	1.95 ± 0.55 ^{ab}

注: SFA. 饱和脂肪酸; MUFA. 单不饱和脂肪酸; PUFA. 多不饱和脂肪酸; LA. C18:2 n-6c; ALA. C18:3 n-3; ARA. C20:4 n-6; DHA. C22:6 n-3; 不同小写字母表示不同地区具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

不同地区母乳中总 MUFA 含量表现出较大差异。其中,昆明和西宁两地母乳中总 MUFA 含量显著高于其它城市 ($P < 0.05$)。6 地区母乳中含量最丰富的脂肪酸均是 C18:1 n-9c,而不同地区母乳中 C18:1 n-9c 含量表现出较大差异。昆明地区母乳含有最多的 C18:1 n-9c (333.63 mg/g 脂肪),其次为西宁 (317.10 mg/g 脂肪),然后是济南 (301.23 mg/g 脂肪),包头、北京和深圳 3 地母乳中 C18:1 n-9c 含量较为接近,约为 286 mg/g 脂肪。已有文献报道,高油酸饮食会导致母乳中的 C18:1 n-9c 含量升高^[25],因此各地区母乳中 C18:1 n-9c 含量的差异反映出各地区乳母摄入膳食脂肪类型的差异。此外,包头和北京两地母乳中 C16:1 n-7 的含量显著高于深圳和西宁两地 ($P < 0.05$);济南和昆明两地母乳中 C16:1 n-7 的含量比较接近,分别为 14.00 mg/g 脂肪和 14.54 mg/g 脂肪。

地理位置对母乳中 PUFA 含量的影响也比较明显,其中以 C18:2 n-6c 最为显著。母乳中 C18:2 n-6c 含量最高的城市是深圳,为 206.35 mg/g 脂肪;其次是包头和北京,分别为 178.41 mg/g 脂肪和 170.72 mg/g 脂肪;而昆明地区母乳中 C18:2

n-6c 含量最低,仅为 133.05 mg/g 脂肪。包头和西宁两地地区母乳中 C18:3 n-3 含量显著高于其余 4 个城市 ($P < 0.05$);济南和深圳两地母乳中 DHA 含量显著高于包头、北京、昆明、西宁地区 ($P < 0.05$)。这与 Urwin 等^[26]发现的沿海和沿湖城市母乳中 DHA 含量高于内陆地区的结果相一致。

对于婴幼儿来说,维持 LA 和 ALA 以及 ARA 和 DHA 之间的摄入平衡对认知、视力和免疫等功能的发育非常重要^[27]。如表 2 所示,不同城市母乳中 LA/ALA 比值的差异比较明显 ($P < 0.05$)。深圳、北京、济南、包头 3 地母乳中 LA/ALA 比值较高且超出了国内外的推荐值【(5:1)~(15:1)】^[28],其次为昆明,最低的城市为西宁。母乳中 ARA/DHA 的比值则表现出 LA/ALA 比值相反的趋势,即西宁和包头两地母乳中 ARA/DHA 的比值显著高于深圳和济南两地 ($P < 0.05$)。Liu 等^[12]对比分析了山东、长春、重庆、广州和呼和浩特 5 个地区母乳中脂肪酸组成的差异,发现 5 座城市母乳中 LA/ALA 比值范围为 10~34,其中山东和广州两地母乳中拥有较高的 LA/ALA 比值,长春、重庆和呼和浩特母乳中拥有较高的 ARA/DHA 的比值,与本文的研究

结果相似。母乳中脂肪酸的组成在很大程度上受到饮食习惯的影响^[29],对于那些拥有较高 LA/ALA 和 ARA/DHA 比值的城市,可能需要提高母亲膳食总 n-3 系列脂肪酸的摄入量。

2.4 不同国家成熟乳中脂肪酸含量比较

目前对于母乳中脂肪酸绝对含量的报道比较少,本文总结了目前研究中关于母乳脂肪酸绝对含量的数据,并对不同国家的数据进行分析比较,结果如表 3 所示。

表 3 8 个国家成熟乳中脂肪酸含量(mg/100 mL)

Table 3 Fatty acids concentration in mature human milk from eight countries (mg/100 mL)

脂肪酸	中国(本研究)	韩国 ^[30]	巴基斯坦 ^[30]	越南 ^[30]	新加坡 ^[13]	哥伦比亚 ^[31]	墨西哥 ^[32]	智利 ^[33]
C4:0	1.35	nd	nd	nd	nd	nd	1.15	nd
C6:0	0.41	0.00	0.00	0.00	nd	2.44	0.12	1.03
C8:0	1.82	0.47	0.44	0.02	nd	4.66	0.57	4.12
C10:0	26.65	16.00	18.41	6.28	56.90	47.47	6.86	29.87
C11:0	nd	0.15	0.25	0.09	nd	nd	0.18	nd
C12:0	111.90	105.09	146.13	73.15	224.32	245.55	92.23	131.84
C13:0	0.55	0.74	2.09	0.51	nd	1.58	0.55	1.03
C14:0	117.97	142.31	218.93	104.04	198.18	290.76	137.28	155.50
C15:0	4.26	5.46	7.58	3.18	nd	14.60	nd	8.24
C16:0	632.48	835.04	940.37	892.18	840.11	1 093.17	574.60	586.07
C17:0	7.62	7.73	7.67	4.80	nd	14.42	9.50	11.33
C18:0	194.20	182.51	131.78	138.70	193.07	319.41	160.30	200.85
C20:0	6.93	69.24	9.51	5.16	6.84	11.01	5.51	10.30
C21:0	nd	0.92	0.85	0.79	nd	nd	2.60	nd
C22:0	3.07	2.14	2.30	2.15	nd	2.83	1.70	4.12
C23:0	nd	0.97	0.98	0.87	nd	2.52	0.26	nd
C24:0	5.68	1.93	2.60	2.23	2.99	2.26	1.60	1.03
C14:1 n-5	1.48	1.76	2.23	2.59	nd	8.23	nd	6.18
C15:1 n-7	0.85	4.25	6.95	1.99	nd	nd	nd	nd
C16:1 n-7	47.16	59.94	48.59	70.92	90.49	100.29	55.30	76.22
C17:1 n-7	4.16	6.06	4.73	4.20	nd	nd	6.50	nd
C18:1 n-9t	nd	0.59	43.36	3.14	16.17	nd	nd	nd
C18:1 n-9c	993.68	840.04	644.20	802.59	1 233.76	1 469.36	870.50	825.00
C20:1 n-9	20.41	8.39	10.24	10.26	18.76	15.00	nd	18.54
C22:1 n-9	9.39	2.09	3.07	2.40	3.91	nd	2.20	nd
C24:1 n-9	2.66	2.06	2.80	1.97	3.13	2.59	2.70	6.18
C18:2 n-6t	1.40	4.96	1.90	5.13	nd	nd	7.60	nd
C18:2 n-6c	547.91	509.46	247.99	447.10	566.07	677.37	478.60	546.00
C18:3 n-6	3.50	3.18	1.77	2.56	nd	nd	2.79	nd
C20:2 n-6	13.18	6.58	7.10	9.95	13.73	14.02	13.13	7.20
C20:3 n-6	12.85	8.16	9.75	9.54	15.39	17.54	12.60	4.10
C20:4 n-6	12.91	10.88	11.33	13.91	18.21	23.47	13.90	12.30
C22:2 n-6	1.61	1.38	1.64	1.80	nd	1.88	1.60	nd
C18:3 n-3	47.74	55.95	11.70	32.52	40.04	45.92	39.80	48.40
C20:3 n-3	2.07	3.16	1.53	1.90	nd	2.79	1.20	nd
C20:5 n-3	1.18	3.54	1.07	1.87	6.32	23.17	1.40	2.10
C22:6 n-3	8.53	13.60	4.48	11.66	22.52	99.08	5.60	3.10
SFA	1 114.91	1 370.70	1 489.89	1 234.15	1 522.41	2 052.68	995.01	1 145.33

(续表 3)

脂肪酸	中国(本研究)	韩国 ^[30]	巴基斯坦 ^[30]	越南 ^[30]	新加坡 ^[13]	哥伦比亚 ^[31]	墨西哥 ^[32]	智利 ^[33]
MUFA	1 079.79	925.18	766.17	900.06	1 366.22	1 595.47	937.20	932.12
n-6 PUFA	593.36	544.60	281.48	489.99	613.40	734.28	530.22	569.60
n-3 PUFA	59.53	76.25	18.78	47.95	68.88	170.96	48.00	53.60
n-6/n-3	9.97	7.14	14.99	10.22	8.91	4.30	11.05	10.63
LA/ALA	11.48	9.11	21.20	13.75	14.14	14.75	12.03	11.28

注:SFA. 饱和脂肪酸;MUFA. 单不饱和脂肪酸;PUFA. 多不饱和脂肪酸;LA. C18:2 n-6c; ALA. C18:3 n-3; nd. 未检出。

由表 3 可知,新加坡和哥伦比亚两国母乳中几乎所有脂肪酸含量均高于其它国家,可能是母乳样本的个体差异。此外,不同国家母乳中脂肪酸组成和含量差异较大,这可能与检测方法以及各国哺乳期妇女的饮食结构有关。除新加坡和哥伦比亚之外,中国母乳中 C18:1 n-9c 和 C18:2 n-6c 含量高于其它国家。Yuhás 等^[8]分析了世界范围内 9 个国家母乳中脂肪酸含量,发现中国和加拿大母乳中 C18:1 n-9c 含量最高;智利和墨西哥母乳中 C18:2 n-6c 含量最高,其次是中国。母乳中脂肪酸组成与各个国家摄入的食用油种类有关,例如,南美洲是玉米的原产地,因此当地居民可能以富含 C18:2 n-6c 的玉米油作为主要的食用油来源。在中国,油菜和大豆是主要的油料作物,因此中国母乳中较高含量的 C18:1 n-9c 和 C18:2 n-6c 可能来源于油菜籽油和大豆油。此外,由表 3 还可以发现中国母乳中 C20:1 n-9 和 C22:1 n-9 的含量高于其它国家,这也反映出中国哺乳期妇女较高的油菜籽油摄入量。

3 结论

本文采用气相色谱法测定了 204 例母乳中脂肪酸的含量,研究了哺乳期和地理位置对母乳中脂肪酸含量的影响。结果表明,随着哺乳期延长,母乳脂肪含量显著增加,饱和脂肪酸含量在整个哺乳阶段较为稳定,不饱和脂肪酸的含量随着哺乳期变化而变化。特别地,与成熟乳相比,初乳含有更高含量的长链多不饱和脂肪酸如 ARA 和 DHA。不同城市间母乳脂肪酸的含量表现出较大差异,这可能反映出乳母膳食结构的差异,因此需要更进一步的研究来探究膳食与母乳脂肪酸组成之间的关系。结合母乳脂肪含量数据,对比了 8 个国家母乳中脂肪酸的含量,发现中国母乳中 C18:1

n-9c、C20:1 n-9 和 C22:1 n-9 含量高于其它国家。

参 考 文 献

- [1] INNIS S M. Dietary triacylglycerol structure and its role in infant nutrition[J]. *Adv Nutr*, 2011, 2(3): 275-283.
- [2] WEI W, JIN Q Z, WANG X G. Human milk fat substitutes: Past achievements and current trends[J]. *Prog Lipid Res*, 2019, 74: 69-86.
- [3] INNIS S M. Maternal nutrition, genetics, and human milk lipids[J]. *Current Nutrition Reports*, 2013, 2(3): 151-158.
- [4] SUN H, REN Q Q, ZHAO X J, et al. Regional similarities and differences in mature human milk fatty acids in Chinese population: A systematic review[J]. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*, 2020, 162: 102184.
- [5] KHOR G L, TAN S S, STOUTJESDIJK E, et al. Temporal changes in breast milk fatty acids contents: A case study of malay breastfeeding women[J]. *Nutrients*, 2020, 13(1): 101.
- [6] YANG T K, XU X B, HE C, et al. Lipase-catalyzed modification of lard to produce human milk fat substitutes [J]. *Food Chemistry*, 2003, 80(4): 473-481.
- [7] WONG V W, NG Y F, CHAN S M, et al. Positive relationship between consumption of specific fish type and n-3 PUFA in milk of Hong Kong lactating mothers[J]. *Br J Nutr*, 2019, 121(12): 1431-1440.
- [8] YUHÁS R, PRAMUK K, LIEN E L. Human milk fatty acid composition from nine countries varies most in DHA[J]. *Lipids*, 2006, 41(9): 851-858.
- [9] WU W, BALTER A, VODSKY V, et al. Chinese breast milk fat composition and its associated dietary factors: A pilot study on lactating mothers in Bei-

- jing[J]. *Front Nutr*, 2021, 8: 606950.
- [10] QI C, SUN J, XIA Y, et al. Fatty acid profile and the sn-2 position distribution in triacylglycerols of breast milk during different lactation stages[J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66(12): 3118-3126.
- [11] THAKKAR S K, DE CASTRO C A, BEAUPORT L, et al. Temporal progression of fatty acids in preterm and term human milk of mothers from Switzerland[J]. *Nutrients*, 2019, 11(1): 112.
- [12] LIU Y, LIU X R, WANG L N. The investigation of fatty acid composition of breast milk and its relationship with dietary fatty acid intake in 5 regions of China[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2019, 98(24): e15855.
- [13] CRUZ-HERNANDEZ C, GOEURIOT S, GIUFFRIDA F, et al. Direct quantification of fatty acids in human milk by gas chromatography[J]. *J Chromatogr A*, 2013, 1284: 174-179.
- [14] DAI X Y, YUAN T L, ZHANG X H, et al. Short-chain fatty acid (SCFA) and medium-chain fatty acid (MCFA) concentrations in human milk consumed by infants born at different gestational ages and the variations in concentration during lactation stages[J]. *Food Funct*, 2020, 11(2): 1869-1880.
- [15] CROCKER W P, JENKINS D I, PROVAN A L, et al. A comparison of the gerber and Röse Gottlieb methods for the determination of fat in milk[J]. *Journal of Dairy Research*, 1955, 22(3): 336-339.
- [16] YUAN T Y, WEI W, ZHANG X H, et al. Medium- and long-chain triacylglycerols composition in preterm and full-term human milk across different lactation stages[J]. *Lwt*, 2021, 142: 110907.
- [17] GEORGE A D, GAY M C L, TRENGOVE R D, et al. Human milk lipidomics: Current techniques and methodologies [J]. *Nutrients*, 2018, 10(9): 1169.
- [18] CHEN Y J, ZHOU X H, HAN B, et al. Composition analysis of fatty acids and stereo-distribution of triglycerides in human milk from three regions of China[J]. *Food Res Int*, 2020, 133: 109196.
- [19] WAN Z X, WANG X L, XU L, et al. Lipid content and fatty acids composition of mature human milk in rural North China[J]. *Br J Nutr*, 2010, 103(6): 913-916.
- [20] 何光华, 李归浦, 周兵, 等. 沪浙地区不同泌乳期母乳脂肪酸组成及分布研究[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(4): 249-257.
- HE G H, LI G P, ZHOU B, et al. Fatty acid composition and distribution in different lactation periods of breast milk from Shanghai and Zhejiang [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(4): 249-257.
- [21] CUNNANE S C, TRUSHINA E, MORLAND C, et al. Brain energy rescue: An emerging therapeutic concept for neurodegenerative disorders of ageing[J]. *Nat Rev Drug Discov*, 2020, 19(9): 609-633.
- [22] NEVILLE M C, PICCIANO M F. Regulation of milk lipid secretion and composition[J]. *Annual Review of Nutrition*, 1997, 17(1): 159-183.
- [23] GIUFFRIDA F, CRUZ-HERNANDEZ C, BERTSCHHY E, et al. Temporal changes of human breast milk lipids of Chinese mothers[J]. *Nutrients*, 2016, 8(11): 715.
- [24] MOLTO-PUIGMARTI C, CASTELLOTE A I, CARBONELL-ESTRANY X, et al. Differences in fat content and fatty acid proportions among colostrum, transitional, and mature milk from women delivering very preterm, preterm, and term infants [J]. *Clin Nutr*, 2011, 30(1): 116-123.
- [25] MILIKU K, DUAN Q L, MORAES T J, et al. Human milk fatty acid composition is associated with dietary, genetic, sociodemographic, and environmental factors in the CHILD cohort study[J]. *Am J Clin Nutr*, 2019, 110(6): 1370-1383.
- [26] URWIN H J, ZHANG J, GAO Y, et al. Immune factors and fatty acid composition in human milk from river/lake, coastal and inland regions of China [J]. *Br J Nutr*, 2013, 109(11): 1949-1961.
- [27] DEMMELMAIR H, KOLETZKO B. Lipids in human milk [J]. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*, 2018, 32(1): 57-68.
- [28] BLANCHARD E, ZHU P, SCHUCK P. Infant formula powders [M]. Cambridge: *Handbook of Food Powders*, 2013: 465-483.
- [29] BRAVI F, WIENS F, DECARLI A, et al. Impact of maternal nutrition on breast-milk composition: A systematic review[J]. *Am J Clin Nutr*, 2016, 104(3): 646-662.
- [30] NGUYEN M T T, KIM J, SEO N, et al. Comprehensive analysis of fatty acids in human milk of four Asian countries[J]. *J Dairy Sci*, 2021, 104(6):

- 6496–6507.
- [31] LLORENTE–ROMERO Z P, LÓPEZ–MARÍN B E, DEOSSA–RESTREPO G C, et al. Estudio transversal para determinar la relación entre el estado nutricional antropométrico de un grupo de mujeres lactantes de Medellín y el perfil de ácidos grasos de su leche materna madura[J]. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 2020, 24(4): 797.
- LLORENTE–ROMERO Z P, LÓPEZ–MARÍN B E, DEOSSA–RESTREPO G C, et al. Cross–sectional study to determine the relationship between anthropometric nutritional status of a group of lactating women of Medellín and the fatty acids profile of their mature breast milk [J]. *Rev Esp Nutr Hum Diet*, 2020, 24(1): 797.
- [32] BARRITA J, FLORES G, ROMO F, et al. Fatty acids in colostrum and mature milk of mexican women[J]. *Revista Mexicana de Pediatría*, 2012, 79(1): 5–11.
- [33] LILIA D S M. Aporte de ácidos grasos trans, ácido linoleico conjugado y ácido docosahexaenoico, en la grasa de leche materna de nodrizas chilenas[J]. *Revista Chilena de Nutrición*, 2010, 37(1): 9–17.
- LILIA D S M. Trans fatty acids, conjugated linoleic acid and docosahexaenoic acid, in the fat of breast milk of lactating Chilean mothers[J]. *Rev Chil Nutr*, 2010, 37(1): 9–17.

Analysis of Fatty Acids Content in Human Milk during Different Lactational Periods in Some Regions in China

Wang Lei¹, Li Jufang², Mi Lijuan², Pang Jinzhu², Ye Xingwang^{2,3*}, Liu Zhengdong^{2,3*}, Yan Zhiyuan^{2,3}, Jin Qingzhe¹, Wei Wei^{1*}, Wang Xingguo¹

(¹Collaborative Innovation Center of Food Safety and Nutrition, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu

²Inner Mongolia Mengniu Dairy (Group) Co. Ltd., Beijing 101107

³Yashili International Group Co. Ltd., Guangzhou 510335)

Abstract In this study, the fatty acid composition and content in human milk of different cities and lactational periods were analyzed. A total of 204 human milk samples were collected from Baotou ($n=41$), Beijing ($n=40$), Jinan ($n=20$), Kunming ($n=33$), Shenzhen ($n=21$) and Xining ($n=49$), including colostrum ($n=28$), one month postpartum ($n=67$), and four month postpartum ($n=109$). The content of fatty acids in human milk was analyzed by gas chromatography using C11:0 as the internal standard. This study investigated the effects of lactational period and geographical location on fatty acids content of human milk in China. The results showed that the fat content in mature human milk was significantly higher than that in colostrum ($P<0.05$), the fat content in Jinan human milk was the highest (~ 5 g/100 mL), and the lowest were Kunming and Shenzhen (<3.0 g/100 mL). The content of C16:0 during lactation was relatively stable at around 192 mg/g fat. The colostrum was rich in long–chain unsaturated fatty acids, and the content of C18:2 $n-6$ c and C18:3 $n-3$ in colostrum was significantly lower than that in mature human milk ($P<0.05$). There were certain differences in the fatty acid content of human milk in different regions, and the ratio of linoleic acid/linolenic acid varies greatly. Further comparisons were made between the data in this paper and the fatty acid content of human milk in other countries. This study provided theoretical support for the quantitative analysis of human milk fatty acids as well as the influencing factors of human milk fatty acids concentration.

Keywords human milk fat; fatty acid; absolute content; lactation period; geographic location