

中国母乳多不饱和脂肪酸组成、特点与其满足 婴儿膳食营养素摄入量的比较分析

王芳敏¹,周雪贞^{2,3},叶兴旺^{2,3},刘正冬^{2,3},金青哲¹,
韦伟¹,闫志远^{2,3},王兴国¹

(1. 江南大学食品学院,江苏省食品安全与质量控制协同创新中心,国家功能食品工程技术研究中心,江苏无锡214122; 2. 内蒙古蒙牛乳业(集团)股份有限公司,呼和浩特011500; 3. 雅士利国际集团有限公司,广州510335)

摘要:脂肪是母乳的重要组成部分,母乳中的脂肪酸是母乳脂肪中变化较大的常量营养素,尤其是多不饱和脂肪酸(PUFA),在婴儿营养、免疫及神经认知功能上发挥着重要作用。旨在为更科学合理的母乳喂养提供营养策略,综述了中国母乳中 $n-6$ PUFA、 $n-3$ PUFA、亚油酸(LA)、 α -亚麻酸(ALA)、花生四烯酸(ARA)、二十二碳六烯酸(DHA)的含量以及LA/ALA比值,并根据0~6月龄婴儿PUFA的参考摄入量,分析中国母乳中PUFA的组成及特点。我国母乳成熟乳中LA含量偏高,ARA含量相对稳定,ALA和DHA含量偏低且波动范围大,LA/ALA比值在4.25~33.44之间。可通过膳食干预改善母乳中PUFA组成,提高母乳喂养婴儿生长发育所需的PUFA含量。

关键词:母乳;多不饱和脂肪酸;母亲膳食;膳食营养素;婴儿营养需求

中图分类号:TS201.4; TS252.1 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)09-0043-09

Composition and characteristics of polyunsaturated fatty acids in human milk in China and its comparative analysis of meeting the dietary nutrient intake of infants

WANG Fangmin¹, ZHOU Xuezhen^{2,3}, YE Xingwang^{2,3}, LIU Zhengdong^{2,3},
JIN Qingzhe¹, WEI Wei¹, YAN Zhiyuan^{2,3}, WANG Xingguo¹

(1. National Engineering Research Center for Functional Food, Collaborative Innovation Center of Food Safety and Quality Control in Jiangsu Province, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China; 2. Inner Mongolia Mengniu Dairy (Group) Co., Ltd., Huhhot 011500, China; 3. Yashili International Group Ltd., Guangzhou 510335, China)

Abstract: Fat is an important component of human milk. Fatty acids in human milk are macronutrients with great changes, especially polyunsaturated fatty acids (PUFA), which play an important role in infant nutrition, immunity and neurocognitive function. In order to provide nutritional strategies for more scientifically sound breast feeding, the contents of $n-6$ PUFA, $n-3$ PUFA, linoleic acid (LA), α -linolenic acid (ALA), arachidonic acid (ARA), docosahexaenoic acid (DHA) and LA/ALA ratio in

human milk in China were reviewed, and the composition and characteristics of PUFA in human milk in China were analyzed according to the reference intake of PUFA for infants from 0 to 6 months of age. The mature human milk in China contained high levels of LA, relatively stable levels of ARA, low and fluctuating levels of ALA and DHA, and the LA/ALA ratio ranged from

收稿日期:2022-06-11;修回日期:2023-06-06

基金项目:国家重点研发计划项目(2021YFD2100700);江苏省研究生科研与实践创新计划项目(KYCX21-2041)

作者简介:王芳敏(1998),女,在读硕士,研究方向为母亲膳食对母乳脂肪酸含量和分布影响的研究(E-mail) jnwangfangmin@163.com。

通信作者:王兴国,教授(E-mail) xingguow@jiangnan.edu.cn。

4.25 to 33.44. The PUFA composition of human milk can be improved by dietary intervention so as to increase the PUFA content required for the growth and development of breastfed infants.

Key words: human milk; polyunsaturated fatty acid; maternal diet; dietary nutrient; infant nutritional needs

母乳是婴儿最理想的食物,含有满足0~6月龄婴儿生长发育的各种营养素以及保护婴儿健康成长的多种生物活性物质^[1]。母乳的组成具有可变性和动态性。母乳成分的变化与多种因素有关,包括母亲的膳食习惯、哺乳阶段、基因、母婴健康状况以及环境因素等^[2]。母乳中的脂肪酸是变化最大的常量营养素之一,也是主要的供能物质,为婴儿提供了40%~50%的能量^[3],对婴儿发育具有重要意义。

母乳脂肪酸组成根据其饱和度通常分为饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA),PUFA又根据脂肪酸链羧基端的最后一个双键的位置分为 $n-6$ PUFA和 $n-3$ PUFA,且母乳中 $n-6$ PUFA的含量远高于 $n-3$ PUFA^[4]。PUFA主要包括亚油酸(18:2 $n-6$, LA)、 α -亚麻酸(18:3 $n-3$, ALA)、花生四烯酸(20:4 $n-6$, ARA)和二十二碳六烯酸(22:6 $n-3$, DHA)等。LA和ALA均无法在人体内合成,必须从膳食中补充。

ARA和DHA在婴儿期对大脑发育、信号传递,身体组织的结构和功能,免疫功能以及大脑和视网膜的发育起着关键作用^[5-6]。

根据之前的研究,我们发现不同国家、不同地区母乳的个体差异较大,尤其是中国母乳中PUFA的含量,目前针对此方面的总结不多。本文在国内外有关0~6个月龄婴儿PUFA参考摄入量的标准及膳食指南^[7-10]基础上,根据已有研究分析中国不同地区母乳PUFA的组成和分布特点,以期通过调节母亲膳食适当调整母乳脂肪酸组成,进而对鼓励和支持母乳喂养等方面提供有益参考。

1 婴儿PUFA摄入量的参考标准

母乳中PUFA组成及含量的差异导致母乳喂养的婴儿PUFA摄入量有较大的差异^[11],而母乳中PUFA的含量在不同国家和地区之间存在差异,因此为了满足0~6月龄婴儿正常的生长和发育,不同国家和地区对PUFA的参考摄入量不同,具体见表1。

表1 0~6月龄婴儿PUFA的参考摄入量

项目	LA	ALA	ARA	DHA	$n-6$ PUFA	$n-3$ PUFA	参考标准
脂肪酸/%	15.98*	1.89	0.61	0.42	-	-	中国居民膳食营养素参考摄入量(2013版) ^[7]
适宜摄入量	4.2 g/d	500 mg/d	150 mg/d	100 mg/d	-	-	
能量/%	7.30	0.87	0.26*	0.18*	-	-	
脂肪酸/%	-	-	-	-	14	1.58	美国膳食参考摄入量 ^[8]
适宜摄入量	4.4 g/d	500 mg/d	-	-	4.4 g/d	500 mg/d	
能量/%	7.7*	0.87*	-	-	8	1	
脂肪酸/%	-	-	0.5	0.32	-	-	法国食品安全局(AFSSA) ^[9]
适宜摄入量	-	-	-	-	-	-	
能量/%	2.7	0.45	-	-	-	-	
脂肪酸/%	-	-	-	-	-	-	欧洲食品安全局(EFSA) ^[10]
适宜摄入量	-	-	140 mg/d	100 mg/d	-	-	
能量/%	4	0.50	-	-	-	-	

注:《中国居民膳食营养素参考摄入量(2013版)》以平均母乳量750 mL/d,母乳能量2 846.4 kJ/L(680 kcal/L),母乳脂肪含量36.5 g/L,脂肪供能系数37.7 kJ/g(9 kcal/g),脂肪酸约为总脂肪的96%计^[7],其中LA、ALA、ARA和DHA含量的中位值是综合国内1995—2013年有关母乳脂肪酸组成的报道得出的,且仅中国数据为中位值;美国以2005年平均母乳量780 mL/d,母乳能量2 720.8 kJ/L(650 kcal/L),母乳脂肪含量40 g/L,脂肪供能系数37.1 kJ/g(8.87 kcal/g),脂肪酸约为总脂肪的100%计;*为计算值;脂肪酸指占母乳总脂肪的比例;-表示未找到相关数据

2 中国母乳PUFA的组成及特点

本文检索了截至2022年4月中文数据库及外文数据库PubMed、Web of Science、Elsevier Science

Direct的相关文献,文献检索词包括“母乳/human milk or breast milk”“脂肪酸/fatty acid”“多不饱和脂肪酸/polyunsaturated fatty acid”“母亲膳食/maternal

diet”和“膳食营养素参考摄入量/dietary reference intake”等,共检索到中国不同地区母乳脂肪酸组成研究的文献15篇,其中14篇英文、1篇中文。这些文献涉及中国不同地区、不同哺乳期母乳的PUFA

组成,如表2所示。对照表1,从受哺乳期影响程度考虑,通过分析中国母乳成熟乳的 $n-6$ PUFA、 $n-3$ PUFA、LA、ALA、ARA、DHA以及LA/ALA比值等方面考察中国母乳PUFA的组成及特点。

表2 中国不同地区母乳中LA、ALA、ARA、DHA、 $n-6$ PUFA和 $n-3$ PUFA含量以及LA/ALA比值

地区	哺乳时间	样本量	LA/%	ALA/%	LA/ALA 比值	ARA/%	DHA/%	$n-6$ PUFA/%	$n-3$ PUFA/%	参考文献
郑州	96~180 d	30	22.30	1.47	15.23	0.60	0.22	24.39	1.82	[12]
武汉	96~180 d	30	25.92	1.66	15.93	0.50	0.22	27.48	1.97	[12]
哈尔滨	96~180 d	30	23.16	1.95	11.93	0.46	0.21	24.36	2.21	[12]
呼和浩特	1~7 d	357	20.11	1.85	10.87*	0.85	0.39	-	-	[13]
	42 d		21.09	1.99	14.28	0.52	0.19	-	-	[13]
长春	1~7 d	402	23.54	1.09	21.60*	0.93	0.52	-	-	[13]
	42 d		30.82	2.12	15.96	0.58	0.28	-	-	[13]
重庆	1~7 d	419	15.66	1.10	14.24*	0.82	0.50	-	-	[13]
	42 d		18.40	1.88	10.86	0.53	0.29	-	-	[13]
山东	1~7 d	431	24.40	1.23	19.84*	0.88	0.67	-	-	[13]
	42 d		27.62	1.42	23.36	0.53	0.41	-	-	[13]
广州	1~7 d	398	17.55	0.56	31.34*	1.05	0.60	-	-	[13]
	42 d		20.82	0.79	33.44	0.61	0.41	-	-	[13]
内蒙古	0~7 d	11	18.47	2.52	7.31 ^a	0.66	0.45	21.51	3.61	[14]
	>21 d	12	19.81	4.66	4.25 ^a	0.72	0.29	22.33	6.12	[14]
江苏	0~7 d	12	20.82	1.78	11.64 ^a	0.71	0.53	23.42	2.83	[14]
	>21 d	10	23.00	2.26	10.16 ^a	0.50	0.39	24.95	3.59	[14]
广西	0~7 d	10	14.06	1.01	13.84 ^a	0.49	0.44	16.42	2.50	[14]
	>21 d	10	16.82	1.14	14.71 ^a	0.57	0.26	18.71	2.03	[14]
无锡	1~5 d	103	19.43	1.14	16.43	0.93	0.70	23.13	2.43	[15]
	6~15 d		19.82	1.18	16.69	0.86	0.61	22.54	2.15	[15]
	>15 d		20.43	1.30	15.97	0.74	0.44	22.98	2.13	[15]
上海	1~5 d	100	20.66	1.10	20.45	0.94	0.74	24.60	2.30	[16]
	11~15 d		21.16	1.26	18.76	0.76	0.64	23.64	2.19	[16]
	41~45 d		23.15	1.45	18.56	0.59	0.55	24.99	2.28	[16]
杭州	1 d	202	25.22	1.43	17.64*	0.61	0.64	31.94	2.80	[17]
	14 d		24.48	1.62	15.11*	0.71	0.57	27.18	2.64	[17]
	42 d		24.29	1.63	14.90*	0.64	0.53	28.03	2.77	[17]
北京	1 d	133	21.70	1.22	17.79*	0.97	0.57	25.98	3.32	[17]
	14 d		24.56	1.64	14.98*	0.73	0.56	27.08	3.92	[17]
	42 d		22.90	1.48	15.47*	0.80	0.44	26.00	3.41	[17]
兰州	1 d	142	18.73	2.74	6.84*	0.81	0.46	22.26	2.57	[17]
	14 d		18.42	4.69	3.93*	0.68	0.36	20.42	2.12	[17]
	42 d		18.94	4.06	4.67*	0.69	0.31	21.41	1.98	[17]
呼和浩特	1~7 d	38	20.11*	1.85*	14.75*	0.85*	0.38*	-	-	[18]
	42 d		21.09	1.99	14.28	0.52	0.19	-	-	[18]
长春	1~7 d	25	23.64*	1.09*	23.35*	0.93*	0.52*	-	-	[18]
	42 d		30.82	2.12	15.96	0.58	0.28	-	-	[18]
重庆	1~7 d	31	15.66*	1.10*	16.31*	0.82*	0.50*	-	-	[18]
	42 d		18.40	1.88	10.86	0.53	0.29	-	-	[18]
上海	1~7 d	31	24.38*	1.22*	23.03*	0.88*	0.67*	-	-	[18]
	42 d		27.62	1.42	23.36	0.53	0.41	-	-	[18]

续表 2

地区	哺乳时间	样本量	LA/%	ALA/%	LA/ALA 比值	ARA/%	DHA/%	<i>n</i> -6 PUFA/%	<i>n</i> -3 PUFA/%	参考文献
广州	1~7 d	31	17.56*	0.56*	37.56*	1.05*	0.60*	-	-	[18]
	42 d		20.82	0.79	33.44	0.61	0.41	-	-	[18]
福建	42 d	42	22.80	1.46	15.62*	0.93	0.98	24.33*	2.80*	[19]
句容	3~5 d	36	15.80	1.33	12.60	0.83	0.51	18.60	2.09	[20]
日照	3~5 d	35	18.40	0.82	25.10	0.79	0.52	21.20	1.51	[20]
徐水	3~5 d	32	19.70	0.77	28.00	0.81	0.35	22.60	1.24	[20]
	0~7 d		19.16	1.29	14.85*	0.86	1.47	22.46	3.89	[21]
台湾	22~45 d	240	22.41	1.63	13.75*	0.70	1.13	24.37	3.57	[21]
	46~65 d		23.20	1.82	12.74*	0.54	0.91	24.86	3.39	[21]
	66~297 d		23.62	1.83	12.91*	0.49	0.79	25.54	3.26	[21]
广州	10~13 d	25	15.71	0.90	17.46*	0.55	0.41	17.42	1.69	[22]
	21~25 d		16.58	0.94	17.65*	0.54	0.39	18.18	1.75	[22]
上海	10~13 d	25	19.15	0.90	21.28*	0.61	0.47	21.04	2.24	[22]
	21~25 d		19.82	0.94	21.09*	0.56	0.42	21.55	2.21	[22]
南昌	10~13 d	25	17.05	1.25	13.64*	0.68	0.39	19.03	1.98	[22]
	21~25 d		17.58	1.38	12.74*	0.63	0.35	19.48	2.09	[22]
哈尔滨	10~13 d	11	23.27	2.17	10.72*	0.76	0.53	25.50	3.67	[22]
	21~25 d		23.70	2.18	10.87*	0.73	0.51	25.81	3.15	[22]
呼和浩特	10~13 d	11	16.37	2.22	7.37*	0.61	0.40	18.44	2.96	[22]
	21~25 d		16.79	2.68	6.26*	0.54	0.29	18.69	3.31	[22]
温州	5 d	20	17.30	0.76	22.76*	0.65	0.61	19.94	1.53	[23]
常州	5 d	82	25.42	1.44	17.65*	0.59	0.38	27.79	1.90	[23]
西昌	7 d	11	8.70	0.71	12.25*	0.86	0.50	9.56*	1.59*	[24]
	8个月	10	10.49	1.34	7.83*	0.52	0.22	11.01*	1.87*	[24]
北京	7 d	10	19.05	1.22	15.61*	1.18	0.55	20.23*	2.26*	[24]
	8个月	10	26.10	1.90	13.74*	0.63	0.28	26.73*	2.42*	[24]
恩施	7 d	10	10.03	2.10	4.78*	0.45	0.20	10.48*	2.71*	[24]
	8个月	9	11.10	1.45	7.66*	0.35	0.15	11.45*	1.86*	[24]
重庆	1周	33	10.30	0.85	12.12*	0.84	0.64	12.58	1.87	[25]
	2周		9.76	0.96	10.17*	0.84	0.61	11.78	1.96	[25]
	4周		10.43	1.21	8.62*	0.79	0.54	12.33	2.19	[25]
	6周		11.34	1.73	6.55*	0.53	0.35	12.83	2.54	[25]
	1周		14.85	1.27	11.69*	0.71	0.60	17.59	2.33	[25]
香港	2周	51	15.47	1.15	13.45*	0.60	0.58	17.47	2.08	[25]
	4周		16.75	1.23	13.62*	0.56	0.53	18.58	2.05	[25]
	6周		17.10	1.37	12.48*	0.52	0.48	18.82	2.12	[25]
大连	2周~ 6个月	39	20.57	2.97	6.93*	0.89	0.88	21.46*	4.35*	[26]

注: *表示根据文献计算的母乳中各项指标的数值; a表示从调查者处获得的未发表的数据; -表示无相关数据

2.1 *n*-6 PUFA、*n*-3 PUFA 的含量

由于国内没有0~6月龄婴儿*n*-6和*n*-3 PUFA的适宜摄入量标准,因此本文以《美国膳食参考摄入量》(2005)中*n*-6和*n*-3 PUFA在母乳中的平均含量分别为14%和1.58%^[8]为参考标准分析中国母乳中*n*-6和*n*-3 PUFA的含量。图1为中国母乳成熟乳(>14 d)的*n*-6和*n*-3 PUFA含

量分布情况。由图1可知,中国不同地区母乳成熟乳中*n*-6和*n*-3 PUFA含量存在差异,其中*n*-6 PUFA含量中位值为22.66%,*n*-3 PUFA含量中位值为2.25%。与美国参考标准相比,两者的含量普遍较高。由表2可知,除了四川西昌、湖北恩施及重庆3个地区母乳成熟乳中*n*-6 PUFA含量低于14%之外,其他地区母乳成熟乳中*n*-6 PUFA含量

均高于14%,而中国母乳成熟乳中 $n-3$ PUFA含量主要集中在1.5%~3.5%之间,最大值甚至达到了

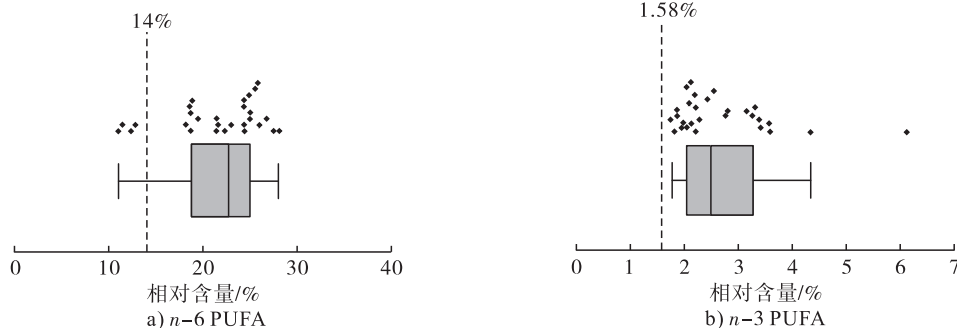


图1 中国母乳成熟乳中 $n-6$ 和 $n-3$ PUFA的含量分布

2.2 LA和ALA的含量

中国母乳成熟乳中LA和ALA含量分布见图2。由图2可看出,中国不同地区母乳成熟乳中LA和ALA含量存在差异,其中LA含量中位值为

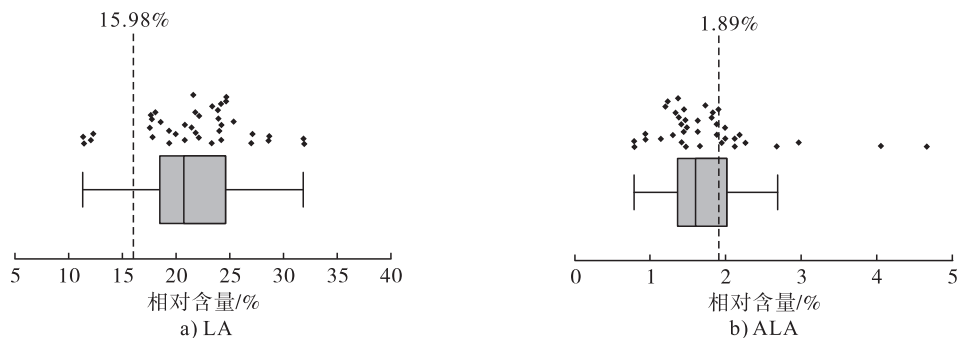


图2 中国母乳成熟乳中LA和ALA的含量分布

由表2可知,除四川西昌、湖北恩施及重庆3个地区的母乳成熟乳中LA含量低于中国推荐的0~6月龄婴儿对LA(15.98%)的膳食营养需求之外,其他地区母乳成熟乳中LA含量均高于15.98%。其中,母乳成熟乳中LA含量最高的是长春(30.82%),最低的是重庆(10.43%),同时可看出,对于哈尔滨(23.16%、23.70%)、辽宁大连(20.57%)、山东(27.62%)、上海(23.15%、27.62%、19.82%)、杭州(24.29%)及台湾(22.41%、23.20%、23.62%)等大豆加工产业区,母乳成熟乳中LA含量均高于我国0~6月龄婴儿LA参考摄入量(15.98%)。相反,绝大多数地区母乳成熟乳中ALA含量达不到婴儿对ALA(1.89%)的膳食营养需求,波动范围较大(0.79%~4.66%),且主要集中分布在1%~2%的范围内。其中,内蒙古和兰州地区的母乳成熟乳中ALA含量分别为4.66%和4.06%,远高于我国0~6月龄婴儿ALA参考摄入量(1.89%),而广州地区母乳成熟乳中ALA含量最低(0.79%)。这一现象可能与不同地区之间的膳食习惯有关。

不同国家母乳成熟乳中LA和ALA含量也存在

6.12%(内蒙古)。这说明中国母乳中 $n-6$ 和 $n-3$ PUFA含量与美国的差异较大。

20.96%,ALA含量中位值为1.63%。与我国0~6月龄婴儿LA(15.98%)和ALA(1.89%)参考摄入量(见表1)相比,LA含量普遍偏高,ALA含量整体偏低。

差异。Ailhaud等^[27]发现,1944—1990年美国母乳成熟乳中LA含量从占总脂肪酸的6%~7%稳步上升到15%,稳定在16%,而ALA含量几乎保持不变(1.0%~1.3%),而Yuhas等^[28]研究指出,美国母乳成熟乳中ALA含量为1.05%~1.22%。对比可以看出,中国母乳成熟乳中LA含量高于美国的,而ALA含量与美国母乳成熟乳相似。此外,本文研究结果中国母乳成熟乳中ALA含量(1.63%)与亚洲(0.92%~1.33%,包括中国母乳的数据)^[15,17,20,29-30]的相似,几乎是欧洲母乳成熟乳(0.62%~0.75%)^[31-32]的2倍。

2.3 ARA、DHA的含量

中国母乳成熟乳中ARA和DHA含量分布如图3所示。由图3可看出,中国母乳成熟乳中ARA含量相对稳定,中位值为0.57%,集中分布在0.61%左右,而DHA含量总体偏低,中位值为0.39%,略低于中国推荐的0~6月龄婴儿所需要的DHA膳食摄入量(0.42%),且波动范围较大。不同地区母乳成熟乳中DHA含量相差较大,这可能与母亲的膳食、基因以及环境等因素有关。中国母乳中ARA含

量整体上高于 DHA,这一结果与世界其他国家母乳中 ARA 和 DHA 含量的描述一致^[33],同时也符合中国 GB 10765—2021《食品安全国家标准 婴儿配

方食品》以及联合国粮农组织有关婴儿配方食品的标准,即如果婴儿配方食品中添加了 DHA,至少要添加相同量的 ARA。

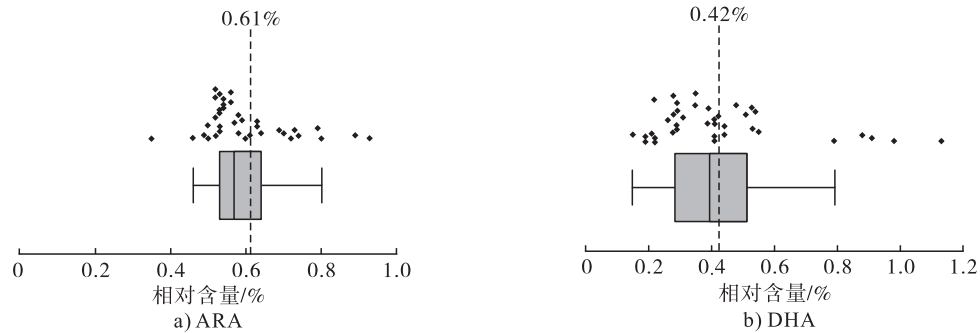


图3 中国母乳成熟乳中 ARA 和 DHA 的含量分布

中国地域辽阔,不同地区的母乳中 ARA 和 DHA 含量不同。由表 2 可知,对于 ARA,福建地区的母乳成熟乳中含量最高(0.93%),湖北恩施地区的母乳成熟乳中含量最低(0.35%),大部分地区集中在 0.5%~0.8% 之间。对于 DHA,台湾地区的母乳成熟乳中含量最高(1.13%),湖北恩施地区的母乳成熟乳中含量最低(0.15%),大部分地区集中在 0.3%~0.6% 之间。本研究中母乳成熟乳中 DHA 含量(0.39%,中位值)与前期报道的我国的数据(0.22%~0.55%)相似,但远低于日本(0.99%)和韩国(0.67%),高于美国(0.17%)^[30]。一项关于全球 2 474 名女性的 65 项研究的荟萃分析表明^[33],母乳中 ARA 和 DHA 的平均含量分别为(0.47 ± 0.13)% (范围 0.24%~1.00%)和(0.32 ± 0.22)% (范围 0.06%~1.4%),其略低于我国母乳成熟乳中 ARA(0.52%,中位值)和 DHA(0.39%,中位值)含量。

中国母乳中 ARA 和 DHA 含量受哺乳期的影响较大。由表 2 可知,初乳中 ARA 和 DHA 含量总体高于成熟乳,该结果与文献[15-16,34]的研究结果一致。母乳喂养过程中,ARA 和 DHA 从母亲转移到母乳喂养的婴儿身上。随着时间的推移,母亲体内的储存逐渐被消耗,造成婴儿体内的 ARA 和 DHA 含量降低,Otto 等^[35]研究表明,与非哺乳期妇女相比,哺乳期妇女产后 DHA 含量明显下降。

母亲膳食中 DHA 摄入量对母乳中 DHA 含量有显著影响^[33,36-38]。Fidler 等^[37]进行了一项随机临床试验,将 10 名哺乳期妇女随机分成 2 组,一组在产后 4~6 周服用富含 DHA 的油(200 mg/d, n = 5),另一组作为对照(n = 5),考察饮食补充后母乳中 DHA 含量变化,结果发现,补充前母乳中 DHA 含量在试验组和对照组之间没有差别(0.29% 和

0.28%,中位值),在补充 2 周后,试验组的母乳中 DHA 含量(0.37%)显著高于对照组(0.21%, $p < 0.003$)。此外,母亲的 DHA 摄入量和母乳中 DHA 含量之间存在剂量依赖关系^[36,39]。然而,ARA 含量与母亲膳食中 ARA 摄入量之间没有明显的关联^[33,40-41]。

2.4 LA/ALA 比值

LA 和 ALA 对相同的去饱和酶和延伸酶有竞争作用,国内外对 0~6 月龄婴儿 PUFA 参考摄入量中并无 LA/ALA 比值要求,但国内外对婴儿配方食品中 LA/ALA 比值有相关要求。如:ESPGHAN 协调国际专家小组建议婴儿配方奶粉中 LA/ALA 比值在 5~15 之间^[42];中国 GB 10765—2021《食品安全国家标准 婴儿配方食品》也规定 LA/ALA 比值为 5~15;联合国粮农组织、世界卫生组织、澳大利亚和新西兰的婴儿配方奶粉标准规定 LA/ALA 比值为 5~15^[43]。图 4 为中国母乳成熟乳中 LA/ALA 比值分布情况。

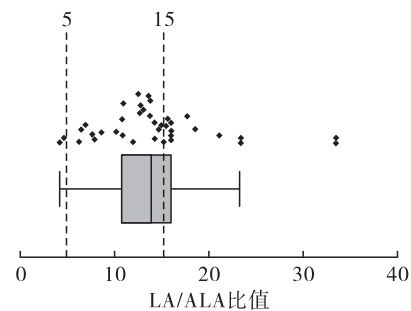


图4 中国母乳成熟乳中 LA/ALA 的比值分布

由图 4 可知,中国母乳成熟乳中 LA/ALA 比值的中间值为 13.75,在 5~15 范围内,但超过一半地区的 LA/ALA 比值不在这一范围,甚至个别地区的 LA/ALA 比值接近 35。

由表 2 可知,中国母乳成熟乳中 LA/ALA 比值随地区的不同而不同。中国母乳成熟乳中 LA/ALA

比值最大的是广州(33.44),最小的是内蒙古(4.25)。中国成熟乳母乳中 LA/ALA 比值大于 20 的地区主要集中在上海、广州等沿海大豆加工产业区以及山东等花生加工产业区。这可能与不同的地区膳食习惯不同,尤其是与日常食用油的摄入差异有关。上海主要摄入大豆油,大豆油中 LA 含量偏高,山东和广州主要摄入花生油,ALA 含量偏低,可能造成其母乳中 LA/ALA 比值偏高,而内蒙古亚麻籽油摄入量多,引起 LA/ALA 比值偏低。在世界其他地区,LA/ALA 比值整体偏高,如意大利(27.43)、斯洛文尼亚(16.76)、澳大利亚(19.07)^[44]、丹麦(17.27)^[45]和西班牙(29.27)^[31]等。

另外,从表 2 可看出,中国母乳成熟乳中 LA/ALA 比值低于初乳中的,如重庆地区产妇在产后 4、6 周时母乳中 LA/ALA 比值分别为 8.62 和 6.55,低于产后 1、2 周的(12.12、10.17),上海地区产妇在产后 11~15 d 和 41~45 d 时母乳中 LA/ALA 比值(18.76、18.56)低于产后 1~5 d 的(20.45),四川西昌产妇在产后 8 个月时母乳中 LA/ALA 比值(7.83)低于产后 7 d 的(12.25),这与 Dai 等^[46]研究发现随着哺乳阶段的延长,足月儿从初乳到成熟乳的过程中 LA/ALA 比值(18.38、15.18 和 12.98)呈下降趋势的结果一致。

3 结论

我国不同地区的母乳中 PUFA 含量存在差异,与 0~6 月龄婴儿参考摄入量相比,我国母乳中 LA 含量偏高,ARA 含量相对稳定,ALA 和 DHA 含量偏低且波动范围大,LA/ALA 比值大于 20 的地区主要集中在沿海等大豆加工以及山东等花生加工产业区。母乳成熟乳中 LA 含量最高的是长春,最低的是重庆;ALA 含量最高的是内蒙古,最低的是广州;ARA 含量最高的是福建、最低的是湖北恩施;DHA 含量最高的是台湾,最低的是湖北恩施;LA/ALA 比值最大的是广州,最小的是内蒙古。0~6 月龄婴儿应该摄入足够的 PUFA,以支持最佳的视觉和认知发育。因此,对于中国孕、产妇来说,PUFA 摄入的重要性应该得到更多重视,可通过临床干预试验进一步明确 PUFA 的最佳安全水平及其对婴儿生长发育的长期影响。

参考文献:

[1] 王兴国. 人乳脂及人乳替代脂 [M]. 北京: 科学出版社, 2018.
[2] 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.
[3] JENSEN R G. The lipids in human milk [J]. *Prog Lipid Res*, 1996, 35(1): 53 - 92.
[4] WEI W, JIN Q, WANG X. Human milk fat substitutes: past achievements and current trends [J]. *Prog Lipid Res*, 2019, 74: 69 - 86.
[5] DECSI T, KENNEDY K. Sex - specific differences in essential fatty acid metabolism [J]. *Am J Clin Nutr*, 2011, 94(6 Suppl): 1914S - 1919S.
[6] HOFFMAN D R, BIRCH E E, BIRCH D G, et al. Impact of early dietary intake and blood lipid composition of long - chain polyunsaturated fatty acids on later visual development [J]. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, 2000, 31(5): 540 - 553.
[7] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量(2013 版) [M]. 北京: 科学出版社, 2013.
[8] Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids [M]. Washington DC: The National Academies Press, 2005.
[9] Opinion of the French Food Safety Agency on the update of French population reference intakes (ANCs) for fatty acids [J/OL]. AFSSA, 2010:2006 - SA - 0359 [2022 - 06 - 11]. <https://www.anses.fr/en/system/files/nut2006sa0359en.pdf>.
[10] Scientific opinion on nutrient requirements and dietary intakes of infants and young children in the European Union [J/OL]. EFSA J, 2013, 11(10): 3408 [2022 - 06 - 11]. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3408>.
[11] INNIS S M. Polyunsaturated fatty acids in human milk: an essential role in infant development [J]. *Adv Exp Med Biol*, 2004, 554: 27 - 43.
[12] 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/OL]. *Food Res Int*, 2020, 133: 109196 [2022 - 06 - 11]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109196>.
[13] LIU Y, LIU X, WANG L. The investigation of fatty acid composition of breast milk and its relationship with dietary fatty acid intake in 5 regions of China [J/OL]. *Medicine (Baltimore)*, 2019, 98(24): e15855 [2022 - 06 - 11]. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000015855>.
[14] DENG L, ZOU Q, LIU B, et al. Fatty acid positional distribution in colostrum and mature milk of women living in Inner Mongolia, North Jiangsu and Guangxi of China [J]. *Food Funct*, 2018, 9(8): 4234 - 4245.
[15] 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.
- [16] WU K, GAO R, TIAN F, et al. Fatty acid positional distribution (sn – 2 fatty acids) and phospholipid composition in Chinese breast milk from colostrum to mature stage [J]. Br J Nutr, 2019, 121(1): 65 – 73.
- [17] JIANG J, WU K, YU Z, et al. Changes in fatty acid composition of human milk over lactation stages and relationship with dietary intake in Chinese women [J]. Food Funct, 2016, 7(7): 3154 – 3162.
- [18] 陈爱菊. 我国5个地区人乳中脂肪酸成分的分析 [J]. 临床儿科杂志, 2014, 32(1): 48 – 54.
- [19] HUANG H L, CHUANG L T, LI H H, et al. Docosahexaenoic acid in maternal and neonatal plasma phospholipids and milk lipids of Taiwanese women in Kinmen: fatty acid composition of maternal blood, neonatal blood and breast milk [J/OL]. Lipids Health Dis, 2013, 12: 27 [2022 – 06 – 11]. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-12-27>.
- [20] GAO Y, ZHANG J, WANG C, et al. The fatty acid composition of colostrum in three geographic regions of China [J]. Asia Pac J Clin Nutr, 2013, 22(2): 276 – 282.
- [21] WU T, LAU B, CHEN P, et al. Fatty acid composition of Taiwanese human milk [J]. J Chin Med Assoc, 2010, 73(11): 581 – 588.
- [22] LI J, FAN Y, ZHANG Z, et al. Evaluating the *trans* fatty acid, CLA, PUFA and erucic acid diversity in human milk from five regions in China [J]. Lipids, 2009, 44(3): 257 – 271.
- [23] PENG Y M, ZHOU T T, WANG Q, et al. Fatty acid composition of diet, cord blood and breast milk in Chinese mothers with different dietary habits [J]. Prostag Leukotr Ess, 2009, 81(5/6): 325 – 330.
- [24] DODGE M L, WANDER R C, XIA Y, et al. Glutathione peroxidase activity modulates fatty acid profiles of plasma and breast milk in Chinese women [J]. J Trace Elem Med Biol, 1999, 12(4): 221 – 230.
- [25] CHEN Z Y, KWAN K Y, TONG K K, et al. Breast milk fatty acid composition: a comparative study between Hong Kong and Chongqing Chinese [J]. Lipids, 1997, 32(10): 1061 – 1067.
- [26] RUAN C, LIU X, MAN H, et al. Milk composition in women from five different regions of China: the great diversity of milk fatty acids [J]. J Nutr, 1995, 125(12): 2993 – 2998.
- [27] AILHAUD G, MASSIERA F, WEILL P, et al. Temporal changes in dietary fats: role of *n* – 6 polyunsaturated fatty acids in excessive adipose tissue development and relationship to obesity [J]. Prog Lipid Res, 2006, 45(3): 203 – 236.
- [28] YUHAS 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.
- [29] GIUFFRIDA F, CRUZ – HERNANDEZ C, BERTSCHY E, et al. Temporal changes of human breast milk lipids of Chinese mothers [J/OL]. Nutrients, 2016, 8(11): 715 [2022 – 06 – 11]. <https://doi.org/10.3390/nu8110715>.
- [30] KIM H, KANG S, JUNG B M, et al. Breast milk fatty acid composition and fatty acid intake of lactating mothers in South Korea [J]. Br J Nutr, 2017, 117(4): 556 – 561.
- [31] LOPEZ – LOPEZ A, LOPEZ – SABATER M C, CAMPOY – FOLGOSO C, et al. Fatty acid and sn – 2 fatty acid composition in human milk from Granada (Spain) and in infant formulas [J]. Eur J Clin Nutr, 2002, 56(12): 1242 – 1254.
- [32] GROTE V, VERDUCI E, SCAGLIONI S, et al. Breast milk composition and infant nutrient intakes during the first 12 months of life [J]. Eur J Clin Nutr, 2016, 70(2): 250 – 256.
- [33] BRENNAN J T, VARAMINI B, JENSEN R G, et al. Docosahexaenoic and arachidonic acid concentrations in human breast milk worldwide [J]. Am J Clin Nutr, 2007, 85(6): 1457 – 1464.
- [34] YANG T, ZHANG L, BAO W, et al. Nutritional composition of breast milk in Chinese women: a systematic review [J]. Asia Pac J Clin Nutr, 2018, 27(3): 491 – 502.
- [35] OTTO S J, VAN HOUWELINGEN A C, BADART – SMOOK A, et al. Comparison of the peripartum and postpartum phospholipid polyunsaturated fatty acid profiles of lactating and nonlactating women [J]. Am J Clin Nutr, 2001, 73(6): 1074 – 1079.
- [36] GIBSON R A, NEUMANN M A, MAKRIDES M. Effect of increasing breast milk docosahexaenoic acid on plasma and erythrocyte phospholipid fatty acids and neural indices of exclusively breast fed infants [J]. Eur J Clin Nutr, 1997, 51(9): 578 – 584.
- [37] FIDLER N, SAUERWALD T, POHL A, et al. Docosahexaenoic acid transfer into human milk after dietary supplementation: a randomized clinical trial [J]. J Lipid Res, 2000, 41(9): 1376 – 1383.
- [38] BRENNAN J T, LAPILLONNE A. Background paper on fat and fatty acid requirements during pregnancy and lactation [J]. Ann Nutr Metab, 2009, 55(112/113): 97 – 122.
- [39] MAKRIDES M, NEUMANN M A, GIBSON R A. Effect of maternal docosahexaenoic acid (DHA) supplementation on breast milk composition [J]. Eur J Clin Nutr, 1996, 50(6): 352 – 357.

- [44] XU Y, HAN Y, LI Y, et al. Nacre - inspired construction of soft - hard double network structure to prepare strong, tough, and water - resistant soy protein adhesive [J/OL]. *J Appl Polym Sci*, 2022, 139(21): 52202 [2022 - 06 - 08]. <https://doi.org/10.1002/app.52202>.
- [45] XU Y, HAN Y, CHEN M, et al. Constructing a triple network structure to prepare strong, tough, and mildew resistant soy protein adhesive [J/OL]. *Compos Part B - Eng*, 2021, 211:108677 [2022 - 06 - 08]. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.108677>.
- [46] ZHANG J, ZHANG M, ZHANG Y, et al. Improving bond performance and reducing cross - linker dosage for soy flour adhesives inspired by spider silk [J]. *ACS Sustain Chem Eng*, 2021, 9(1): 168 - 179.
- [47] PANG H, MA C, SHEN Y, et al. Novel bionic soy protein - based adhesive with excellent prepressing adhesion, flame retardancy, and mildew resistance [J]. *ACS Appl Mater Inter*, 2021, 13(32): 38732 - 38744.
- [48] WANG Z, KANG H, LIU H, et al. Dual - network nanocross - linking strategy to improve bulk mechanical and water - resistant adhesion properties of biobased wood adhesives [J]. *ACS Sustain Chem Eng*, 2020, 8(44): 16430 - 16440.
- [49] PRADYAWONG S, QI G, SUN X S, et al. Laccase/TEMPO - modified lignin improved soy - protein - based adhesives: adhesion performance and properties [J]. *Int J Adhes Adhes*, 2019, 91: 116 - 122.
- [50] CHEN N, LIN Q J, ZHENG P, et al. A sustainable bio - based adhesive derived from defatted soy flour and epichlorohydrin [J]. *Wood Sci Technol*, 2019, 53(4): 801 - 817.
- [51] XU Y, HAN Y, SHI S Q, et al. Preparation of a moderate viscosity, high performance and adequately - stabilized soy protein - based adhesive via recombination of protein molecules [J/OL]. *J Clean Prod*, 2020, 255: 120303 [2022 - 06 - 08]. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120303>.
- [52] 陈敏智,周晓燕,陈燕. 纳米改性大豆蛋白基复合材料研究进展[J]. *林业科技开发*, 2015, 29(6): 2 - 6.
- [53] YANG Q, QIN G, TIAN L, et al. A novel environmentally friendly hot - pressed peanut meal protein adhesive [J/OL]. *J Clean Prod*, 2021, 327: 129473 [2022 - 06 - 08]. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129473>.
- [54] CHENG H N, KILGORE K, FORD C, et al. Cottonseed protein - based wood adhesive reinforced with nanocellulose [J]. *J Adhes Sci Technol*, 2019, 33(12): 1357 - 1368.
- [55] LI Y, HUANG X, XU Y, et al. A bio - inspired multifunctional soy protein - based material: from strong underwater adhesion to 3D printing [J/OL]. *Chem Eng J*, 2022, 430: 133017 [2022 - 06 - 08]. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133017>.
- [56] PANG H, YAN Q, MA C, et al. Polyphenol - metal ion redox - induced gelation system for constructing plant protein adhesives with excellent fluidity and cold - pressing adhesion [J]. *ACS Appl Mater Inter*, 2021, 13(49): 59527 - 59537.
- [57] 康海娇. 基于低维填料表面修饰的蛋白基复合材料增强机制研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2019.
- [58] RAYDAN N D V, LEROYER L, CHARRIER B, et al. Recent advances on the development of protein - based adhesives for wood composite materials: a review [J/OL]. *Molecules*, 2021, 26(24): 7617 [2022 - 06 - 08]. <https://doi.org/10.3390/molecules26247617>.

(上接第 50 页)

- [40] INNIS S M. Impact of maternal diet on human milk composition and neurological development of infants [J]. *Am J Clin Nutr*, 2014, 99(3): 734 - 741.
- [41] CHUNG M Y. Factors affecting human milk composition [J]. *Pediatr Neonatol*, 2014, 55(6): 421 - 422.
- [42] KOLETZKO B, BAKER S, CLEGHORN G, et al. Global standard for the composition of infant formula: recommendations of an ESPGHAN coordinated international expert group [J]. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, 2005, 41(5): 584 - 599.
- [43] BLANCHARD E, ZHU P, SCHUCK P. 18 - Infant formula powders [M]//Sawston, Cambridge: Woodhead Publishing, Handbook of Food Powders, 2013: 465 - 483.
- [44] FIDLER N, KOLETZKO B. The fatty acid composition of human colostrum [J]. *Eur J Nutr*, 2000, 39(1): 31 - 37.
- [45] ZOU X, HUANG J, JIN Q, et al. Lipid composition analysis of milk fats from different mammalian species: potential for use as human milk fat substitutes [J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(29): 7070 - 7080.
- [46] DAI X, YUAN T, ZHANG X, 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.