

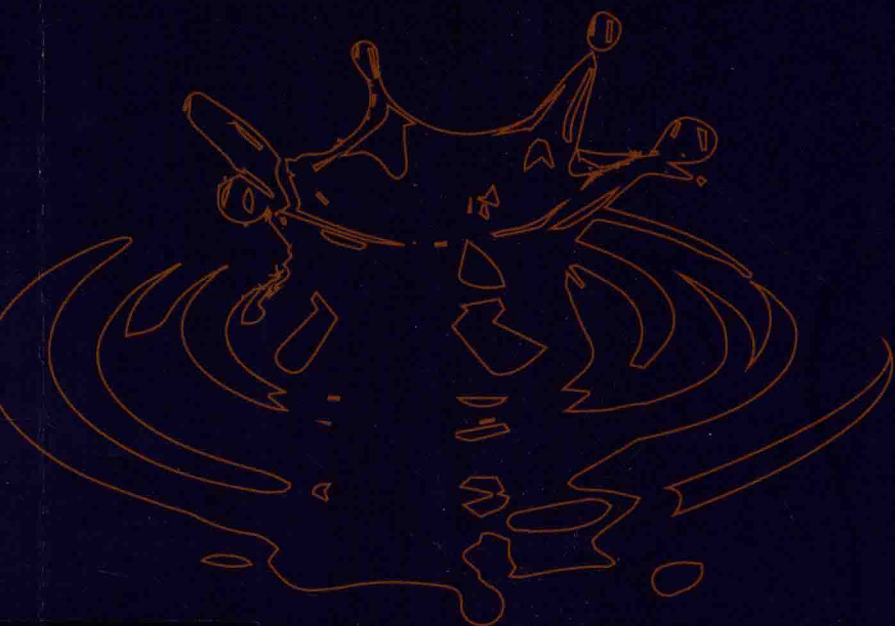


健康脂质功能与制造

人乳脂及 人乳替代脂

Human Milk Fat and
Human Milk Fat Substitutes

王兴国 著



科学出版社

健康脂质功能与制造

人乳脂及人乳替代脂

王兴国 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是国内外首本全面和系统地论述人乳脂及人乳替代脂的学术专著。本书以国内和丹麦的 400 余个母乳样分析为基础,介绍了人乳脂的营养、形态、结构和组成,不同地区、不同国家的人乳脂差异性;本书对人乳替代脂进行定义和分类,并根据 180 余个市售婴幼儿配方奶粉中脂肪与人乳脂的差异性,结合多指标综合评分法,提出了人乳替代脂的相似性定量评价指标。本书最大的亮点是首次提出了人乳替代脂的发展方向——“全价人乳替代脂”。

本书共有十四章,凝聚了江南大学王兴国教授及其带领的研究团队多年的研究成果,前后有 10 余位硕士、博士参与了该项目研究。本书适合从事食品科学、食品工程、油脂营养、油脂加工、乳品科学等相关专业的研究人员、研究生和油脂企业从事研发的人员参考阅读,从事公众营养政策制定和管理的人员及涉及上述领域的工作人员也能从本书中受益。

图书在版编目(CIP)数据

人乳脂及人乳替代脂 / 王兴国 著. —北京: 科学出版社, 2018. 1

(健康脂质功能与制造丛书)

ISBN 978-7-03-054834-4

I. ①人… II. ①王… III. ①母乳②婴幼儿—乳粉

IV. ① Q492.7 ② TS252.51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 252652 号

责任编辑: 朱 瑾 田明霞 / 责任校对: 郑金红

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 北京图阅盛世文化传媒有限公司

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 1 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2018 年 1 月第一次印刷 印张: 24 3/4

字数: 586 000

定价: 198.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

王兴国及团队简介

王兴国，工学博士，现任江南大学教授、博士生导师，江南大学油脂及植物蛋白研究中心主任、健康脂质国际联合实验室主任、中国标准化专家委员会委员。油脂领域学科带头人，在国内外重要学术刊物发表论文 300 多篇，共指导研究生获博士学位 30 余名，硕士学位 100 余名。2016 年被国际食品科技联盟和中国食品科学技术学会授予“科学精神奖”。

江南大学王兴国团队由教授、副教授、研究生和留学生共 90 余名构成，长期从事脂质领域的相关研究，主要致力于食用油营养、质量安全及危害因子控制与评价；食用油生物资源开发与生物制造技术；脂质营养与健康评价等。该团队与多家中国知名油脂企业、世界 500 强企业成立基地平台建设及联合研发中心，与丹麦、美国等国家的高校成立国际联合实验室，是全国油脂领域最具影响力的团队之一。



“健康脂质功能与制造”丛书编委会

丛书主编

王兴国

丛书副主编

金青哲、张 晖

丛书编委会

常 明、黄健花、刘睿杰、王小三、韦 伟

《人乳脂及人乳替代脂》撰写人员名单

主要著者

王兴国

金青哲 韦伟

撰写组成员（按姓氏拼音排序）

常明 江南大学食品学院，无锡

高红艳 光明乳业股份有限公司，上海

蒋文笛 江南大学食品学院，无锡

金俊 江南大学食品学院，无锡

金青哲 江南大学食品学院，无锡

刘睿杰 江南大学食品学院，无锡

苗虹 国家食品安全风险评估中心，北京

穆昭 内蒙古伊利实业集团股份有限公司，内蒙古

齐策 江南大学食品学院，无锡

孙聪 江南大学食品学院，无锡

孙进 江南大学食品学院，无锡

韦伟 江南大学食品学院，无锡

项静英 无锡市妇幼保健院，无锡

闫媛媛 江南大学食品学院，无锡

姚云平 江南大学食品学院, 无锡

张慧君 江南大学食品学院, 无锡

张 涛 江南大学食品学院, 无锡

郑立友 江南大学食品学院, 无锡

周 勤 无锡市妇幼保健院, 无锡

邹孝强 江南大学食品学院, 无锡

序

婴幼儿的营养与健康是国家经济社会发展的基础和人类文明进步的根本。母乳是婴幼儿的最佳食物，而对于因种种原因无法母乳喂养的婴幼儿来说，选择一款营养、安全、适合身体生长发育条件的配方奶粉是至关重要的，也是很多新手父母常常面临的棘手问题。

近些年来，国内乳制品安全问题导致的信任危机造成了我国婴幼儿配方奶粉市场被国外品牌产品主导。一方水土养育一方人，“橘生淮南则为橘，生于淮北则为枳”，由于人种基因、膳食结构等方面的差异，各个国家和地区母乳的组成有较大差异，因此，以国外母乳为模板的“洋奶粉”并非完全适合中国宝宝。深入探明我国母乳的组成、营养和功能特点及其对婴幼儿生长发育的作用，研究开发出适合中国婴幼儿身体条件和营养需求的奶粉配方，是帮助中国宝宝健康成长的重要保证，也是振兴国产品牌婴幼儿奶粉的必由之路。

脂肪是母乳中的重要成分，为新生儿提供了约一半的能量和生长发育必需的脂肪酸、脂溶性维生素等营养成分和多种天然活性成分，对于婴幼儿健康成长起着至关重要的作用。婴幼儿配方奶粉中所添加脂肪与人乳脂相似与否，也是衡量奶粉质量优劣的重要方面。

该书著者王兴国教授是国内知名的油脂专家，他带领着研究团队，历时近 10 年，克服我国地域辽阔、民族众多、膳食结构差异化等因素造成的人乳脂组成复杂、区别性大等诸多困难，全面系统地调查研究了不同地区母乳脂肪中的常量、微量脂质成分及其营养功能和人乳脂的物理结构与形态，获得了大量的一手数据，为今后将这些脂质成分在婴幼儿配方奶粉中进行准确的复制和模拟奠定了基础。

令人耳目一新的是，该书提出了“全价人乳替代脂”的新概念。全价人乳替代脂是一种与母乳脂肪全指标相似的婴幼儿配方奶粉用油，无论其脂质的化学组成，如脂肪酸、甘油酯、醚酯、磷脂、糖脂、神经节苷脂和各种衍生脂，还是其脂肪球结构，它都是与人乳脂高度相似的。实质上，其“全价性”就体现在“全面母乳化”，即由宏观指标母乳化、微观指标母乳化，进一步走向生长发育指标的母乳化。

该书分章详细介绍了人乳脂的营养、组成、形态和各种人乳替代脂的制造技术、人乳替代脂的食用安全性、相似性评价模型，以及相关政策法规和分析检测方法等。可以说，该书不仅是相关领域学术研究和技术人员的重要参考书，相关行业从业和管理人员也值得一看。

将“全价人乳替代脂”应用于婴幼儿配方奶粉的设计与生产，并将新理念进一步拓展到蛋白质、碳水化合物等母乳成分的研究，对于开发适合中国宝宝的婴幼儿配方奶粉，全面提升我国婴幼儿配方奶粉的产品质量具有重要的意义。

少年强则中国强。作为食品人，我认真阅读此书，亦郑重推荐。

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Chen Liang, the author of the recommendation.

2017年9月



前 言

母乳是母亲为她的孩子量身定做的、营养丰富的食物，为婴儿提供了人生最初阶段生长发育所需的全部营养。母乳中的脂肪，即人乳脂，虽然仅占母乳质量的 3% 左右，却为婴儿提供了约一半的能量和生长发育必需的脂肪酸、脂溶性维生素和其他脂类成分，是婴儿健康成长的重要营养成分。

当母亲由于种种原因无法用母乳喂养婴儿时，婴幼儿配方奶粉就成为了母乳的最佳替代品。婴幼儿配方奶粉是通过添加各种营养物质调配得到的母乳模拟品，其终极目标是实现对母乳各组成成分的高度相似。婴儿配方奶粉配方中的脂肪也称为人乳替代脂，理想的人乳替代脂需要在常量、微量脂质成分以及它们的物理结构与形态等各个方面全面、准确地复制和模拟人乳脂。

本书的内容主要取材于我指导的 10 余位硕、博士研究生在人乳脂、人乳替代脂及相关领域的研究成果。在过去的近 10 年间，我们全面系统地调查研究了我国不同地区、不同哺乳阶段人乳的常量、微量脂质成分以及它们的物理结构、形态与营养功能等，收集了国内外学者关于人乳脂的大量分析研究数据，并结合目前人乳脂与人乳替代脂的研究进展，创新地提出了“全价人乳替代脂”的概念，即与母乳脂肪全指标相似的婴幼儿配方奶粉用油，无论其脂质的化学组成还是脂肪球结构都与人乳脂高度相似。

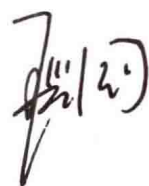
非常感谢本团队夏袁、洪颖、邹孝强、姚云平、闫媛媛、孙聪、周红茹、常桂芳、曹文明、高红艳、穆昭、黄磊、张星河、金俊、张慧君、张涛、郑立友、蒋文笛等硕、博士研究生，他们中多数已经毕业并进入各行各业，但正是他们的研究成果累积成了本书的大部分内容。也真诚感谢参加本书撰写的团队成员常明博士、孙进博士、刘睿杰博士、齐策博士、邹孝强博士等，正是大家的热情倾注才使本书得以出版。还要感谢我的老同学、也是事业的老搭档金青哲教授在著书过程中耐心细致的修订。也感谢韦伟博士，她加入团队时间不长，但认真负责，克服了孕期的不便以及初为母亲的艰辛。正是团队全体成员的共同努力才使得本书能够如期完成。

感谢我的老朋友，乳品专家、倍嘉国际贸易有限公司和法国爱达力公司的任国谱博士，正是他的鼓励才使我萌发研究母乳脂肪的念头。还要特别感谢孙宝国院士长期对我

的支持与提携，并热情为本书作序，使本书增色不少。也感谢国家食品安全风险评估中心的苗虹博士、无锡市妇幼保健医院的项静英、周勤医生等不同领域专家的著写和审阅。

在这里还要衷心感谢青岛海智源生命科技有限公司、无锡市妇幼保健医院、北京食品营养与人类健康高精尖创新中心（北京工商大学）、中粮健康营养研究院、中国疾病预防控制中心食品营养所等单位对于本书的大力支持。最后还要感谢科学出版社的编辑和审稿人的严格把关和艰辛劳动。

由于时间和水平有限，书中错误难免存在，望广大读者批评指正。

A handwritten signature in black ink, appearing to be '张立' (Zhang Li), written in a cursive style.

2017年10月于江南大学

缩略词 I

系统名称	通用名	速记名称	缩写
丁酸	—	4:0	Bu
己酸	—	6:0	Cp
辛酸	—	8:0	Cy
癸酸	—	10:0	Ca
十二烷酸	月桂酸	12:0	La
十四烷酸	肉豆蔻酸	14:0	M
十六烷酸	棕榈酸	16:0	P
顺-9-十六碳烯酸	棕榈油酸	16:1(n-7)	Po
十八烷酸	硬脂酸	18:0	S
顺-9-十八碳烯酸	油酸	18:1(n-9)	O
顺-11-十八碳烯酸	异油酸	18:1(n-7)	—
顺-9,12-十八碳二烯酸	亚油酸	18:2(n-6)	L / ALA
顺-6,9,12-十八碳三烯酸	γ -亚麻酸	18:3(n-6)	—
顺-9,12,15-十八碳三烯酸	α -亚麻酸	18:3(n-3)	Ln / LA
二十烷酸	花生酸	20:0	A
顺-5,8,11,14-二十碳四烯酸	花生四烯酸, ARA	20:4(n-6)	—
顺-5,8,11,14,17-二十碳五烯酸	EPA	20:5(n-3)	—
二十二烷酸	山嵛酸	22:0	—
顺-13-二十二碳烯酸	芥酸	22:1(n-9)	—
顺-15-二十四碳烯酸	神经酸	24:1(n-9)	—
顺-4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸	DHA	22:6(n-3)	—

缩略词 II

英文简称	英文全称	中文名称
2-MAG	<i>sn</i> -2 monoacylglycerol	<i>sn</i> -2 位甘油一酯
BCFA	branched chain fatty acid	支链脂肪酸
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung	德国风险评估委员会
CAC	Codex Alimentarius Commission	国际食品法典委员会
CFDA	China Food and Drug Administration	国家食品药品监督管理总局
DAG	diacylglycerol	甘油二酯
ECN	equivalent carbon number	甘油三酯碳当量数
EFSA	European Food Safety Authority	欧洲食品安全局
ELSD	evaporative light-scattering detector	蒸发光散射检测器
FA	fatty acid	脂肪酸
FAME	fatty acid methyl ester	脂肪酸甲酯
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations	联合国粮农组织
GC	gas chromatography	气相色谱
GMP	good manufacturing practice	良好生产操作规范
GRAS	generally recognized as safe	认可为安全食品成分
HPLC	high-performance liquid chromatography	高效液相色谱
JECFA	Joint Expert Committee on Food Additives	食品添加剂联合专家委员会
MAG	monoacylglycerol	甘油一酯
MCFA	medium-chain fatty acid	中链脂肪酸
MCT	medium-chain triglycerides	中链脂肪酸甘油三酯
MUFA	mono unsaturated fatty acid	单不饱和脂肪酸
MLCT	medium-and long-chain triglycerides	中长链脂肪酸甘油三酯
NMR	nuclear magnetic resonance	核磁共振
MS	mass spectrometric detectors	质谱检测器
LCFA	long-chain fatty acid	长链脂肪酸
LCT	long-chain triglycerides	长链脂肪酸甘油三酯

(续表)

英文简称	英文全称	中文名称
LC-PUFA	long-chain polyunsaturated fatty acid	长链多不饱和脂肪酸
RI	refractive index detectors	折射指数检测器
RP-HPLC	reversed-phase high-performance liquid chromatography	反相高效液相色谱
SCFA	short-chain fatty acid	短链脂肪酸
SFA	saturated fatty acid	饱和脂肪酸
silver-ion HPLC	silver-ion high-performance liquid chromatography	银离子高效液相色谱
PUFA	polyunsaturated fatty acid	多不饱和脂肪酸
TAG	triacylglycerol	甘油三酯
TLC	thin layer chromatography	薄层色谱
USFA	unsaturated fatty acid	不饱和脂肪酸
UV-Vis	ultraviolet-visible spectroscopy	紫外 - 可见光检测器
WHO	World Health Organization	世界卫生组织

目录

第一章 绪论 ... 001

第一节 母乳喂养的好处	001
第二节 母乳喂养的替代策略	005
第三节 人乳替代脂	007

第二章 人乳脂的营养特点和功能 ... 017

第一节 婴儿的乳脂需要量	017
第二节 婴儿对乳脂的消化和吸收	022
第三节 乳脂的生理功能	030
第四节 乳脂消化、吸收的研究模型	035

第三章 人乳脂的形态 ... 047

第一节 人乳脂肪球	047
第二节 人乳脂肪球膜	052
第三节 其他动物乳脂肪球	055
第四节 加工过程对乳脂肪球的影响	057

第四章 人乳脂的组成与分布规律 ... 061

第一节 各哺乳阶段人乳脂的组成	061
第二节 各哺乳阶段人乳脂的分布规律	070
第三节 我国不同地区各哺乳阶段人乳脂的组成和分布规律	078

第四节 不同国家人乳脂的组成和分布规律	085
第五章 乳基人乳替代脂 ... 093	
第一节 牛 乳 脂	093
第二节 羊 乳 脂	105
第三节 马 乳 脂	110
第四节 其他动物乳脂	114
第六章 动物基和微生物基人乳替代脂 ... 121	
第一节 陆生动物油脂	121
第二节 水生动物油脂	130
第三节 微生物油脂	139
第七章 植物基人乳替代脂 ... 149	
第一节 植 物 油	149
第二节 植物油改性产物（结构酯）	161
第八章 复合基人乳替代脂 ... 169	
第一节 市售婴幼儿配方奶粉用油的分类与组成概况	169
第二节 复合植物基人乳替代脂	173
第三节 复合牛乳 / 植物基人乳替代脂	188
第四节 复合羊乳 / 植物基人乳替代脂	198
第九章 市售配方奶粉用油与人乳脂的差异性分析 ... 207	
第一节 常量脂肪酸组成的差异性分析	207
第二节 微量脂肪酸组成的差异性分析	212
第三节 sn -2 位脂肪酸组成的差异性分析	216
第四节 甘油三酯组成的差异性分析	220
第十章 人乳替代脂的相似性评价 ... 225	
第一节 相似性评价体系	225

第二节 市售婴幼儿配方奶粉用油的相似性系数评价	233
第三节 高相似度人乳替代脂的制备与评价	249

第十一章 人乳替代脂的加工技术 ... 257

第一节 乳脂的制取与精炼	258
第二节 动物油脂的制取与精炼	261
第三节 植物油脂的制取与精炼	268
第四节 微生物油脂的制取与精炼	276
第五节 人乳替代脂的改性	277
第六节 人乳替代脂的微胶囊化	284

第十二章 人乳替代脂的食品安全化学 ... 289

第一节 人乳替代脂中潜在化学危害因子的分类	289
第二节 内源性危害因子	290
第三节 加工过程中产生的危害因子	292
第四节 外源性危害因子	313

第十三章 婴幼儿配方食品用油相关法规与标准 ... 329

第一节 婴幼儿配方食品国内外标准概况	329
第二节 婴幼儿配方食品用油的相关标准与规定	334
第三节 特殊医学用途婴儿配方食品通则	336
第四节 婴幼儿配方食品可以使用的特殊功能油脂	337
第五节 婴幼儿配方食品生产中与油脂相关的标准	341
第六节 新食品原料管理相关法规	346
第七节 婴幼儿配方乳粉产品和特殊医学用途配方食品注册管理办法	349

第十四章 人乳脂与人乳替代脂的分析 ... 355

第一节 人乳脂的搜集、准备和保存	355
第二节 脂肪酸的测定	361
第三节 甘油三酯的测定	367