

# 人乳替代脂鲳鱼油和巴沙鱼油的脂肪酸、甘油三酯组成及含量分析

王小三, 刘柯纓, 陈 焯, 高雅慧, 黄健花, 常 明

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

**摘要:**为寻找与中国人乳脂脂质组成高相似的天然人乳替代脂, 分析比较了3种鱼油(金鲳鱼油、银鲳鱼油和巴沙鱼油)的总脂肪酸、sn-2位脂肪酸、甘油三酯组成和含量。结果表明:金鲳鱼油中棕榈酸、油酸和亚油酸含量分别为24.93%、25.61%和26.52%, 其中sn-2位棕榈酸的含量为39.71%, 占总棕榈酸比例为53.10%;在3种鱼油中, 金鲳鱼油总脂肪酸组成最接近中国人乳脂;甘油三酯组成分析结果证实, 金鲳鱼油中富含1-油酸-2-棕榈酸-3-亚油酸甘油三酯(OPL, 24.36%), 其含量显著高于其他两种鱼油, 且其1,3-二油酸-2-棕榈酸甘油三酯(OPO)的含量(16.79%)接近报道的中国人乳脂的平均含量(15.84%)。因此, 金鲳鱼油是理想的中国婴儿配方奶粉专用油脂基料油, 在人乳替代脂中具有良好的发展前景。

**关键词:** 鲳鱼油; 巴沙鱼油; 人乳替代脂; OPL; OPO; sn-2位棕榈酸

**中图分类号:** TS201.4; TS254.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-7969(2023)11-0090-06

## Fatty acid and triglyceride composition and content of human milk fat substitute pomfret oil and barramundi oil

WANG Xiaosan, LIU Keying, CHEN Ye, GAO Yahui,  
HUANG Jianhua, CHANG Ming

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

**Abstract:** To find natural human milk fat substitute with high similarity to the lipid composition of Chinese human milk fat, the composition and content of total fatty acid, sn-2 fatty acid, and triglyceride of three types of fish oil (gold pomfret oil, silver pomfret oil, and barramundi oil) were analyzed and compared. The results showed that in gold pomfret oil, the contents of palmitic acid, oleic acid and linoleic acid were 24.93%, 25.61% and 26.52%, respectively. The content of sn-2 palmitic acid was 39.71%, accounting for 53.10% of the total palmitic acid. Among the three fish oils, gold pomfret oil exhibited the closest total fatty acid composition to Chinese human milk fat. The results of triglyceride composition analysis confirmed that golden pomfret fish oil was rich in 1-oleoyl-2-palmitoyl-3-linoleoylglycerol (OPL, 24.36%), which was significantly higher than the other two fish oils, and its 1,3-dioleoyl-2-palmitoylglycerol (OPO) content (16.79%) was close to the average content of reported Chinese human milk fat (15.84%). Therefore, golden pomfret fish oil is an ideal lipid base oil for Chinese infant formula, which has a good development prospect in human milk fat substitute.

**Key words:** pomfret oil; barramundi oil; human milk fat substitute; OPL; OPO; sn-2 palmitic acid

收稿日期: 2022-07-14; 修回日期: 2023-07-10

作者简介: 王小三(1983), 男, 副教授, 博士, 研究方向为油脂改性与修饰(E-mail) wxstongxue@163.com。

通信作者: 常 明, 教授, 博士生导师(E-mail) chang@jiangnan.edu.cn。

母乳营养丰富, 易于吸收, 有利于婴儿的生长发育, 是婴儿的理想食物<sup>[1-2]</sup>。母乳中含有3%~5%的脂肪, 即人乳脂, 主要由甘油三酯(约98%)组成。母乳不仅为婴儿提供约50%所需的能量, 还可为婴

儿提供生长发育必需的脂肪酸、脂溶性维生素等营养成分,对婴儿的健康成长具有重要作用<sup>[3-4]</sup>。

当婴儿不能母乳喂养时,配方奶粉是其最佳的替代品,配方奶粉中的油脂称为奶粉专用油脂或者人乳替代脂。孙聪<sup>[5]</sup>研究发现,市售人乳替代脂与人乳脂在组成上有巨大差异,平均相似度不足40%,这是由于人乳替代脂主要使用菜籽油、葵花籽油、大豆油和椰子油等植物油脂,其中缺乏人乳脂中富含的1,3-二油酸-2-棕榈酸甘油三酯(OPO)和1-油酸-2-棕榈酸-3-亚油酸甘油三酯(OPL)<sup>[6-7]</sup>。为了获得高相似性的人乳替代脂,许多学者以天然棕榈硬脂为原料,以sn-1,3位特异性脂肪酶为催化剂,在溶剂或者无溶剂体系中酶法酸解制备OPO和OPL等结构脂<sup>[8-10]</sup>,但此种制备方法存在生产成本低、副反应多、酸值升高等问题<sup>[11]</sup>,相比之下,从天然油脂中获得富含OPO和OPL的甘油三酯是一种更经济可行的方法。目前已经发现巴沙鱼油和猪油中富含OPO<sup>[12]</sup>,但这两种油脂的OPL含量较低,此外,由于部分地区的宗教信仰问题,猪油在婴幼儿配方奶粉中的应用受到限制,因此有必要进一步寻找同时富含OPL和OPO的天然油脂,提供一种天然、高品质的人乳替代脂。

研究发现,若油脂中的油酸、棕榈酸和亚油酸的总含量接近80%,且棕榈酸含量在20%~30%之间,可以认为该油脂大概率含OPO和OPL<sup>[13]</sup>。鲳鱼是一种广泛分布于中国东南沿海的热带和亚热带鱼类,其鱼油中的棕榈酸、油酸和亚油酸的总含量超过70%,且棕榈酸的含量在20%~30%之间,可能是一种潜在的OPO和OPL天然来源,具有较大的研究潜力。为发掘鲳鱼油中OPO和OPL自然资源,本研究对比分析了巴沙鱼油、金鲳鱼油和银鲳鱼油的总脂肪酸组成和含量,随后进一步分析其sn-2位脂肪酸、甘油三酯组成和含量等,确定鲳鱼油中的OPO和OPL含量,以期对鲳鱼油的应用拓展以及人乳替代脂的开发提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

巴沙鱼、金鲳鱼和银鲳鱼,购于无锡市滨湖区永辉超市;猪胰脂酶(比酶活300 U/mg)、OPO、OPL、甘油二酯和混合脂肪酸甲酯等标准品,西格玛(上海)试剂有限公司;薄层色谱板(20 cm×20 cm),乳山市太阳干燥剂有限公司,使用前在105℃的烘箱中过夜活化;异丙醇、正己烷和乙腈,均为色谱纯,上

海阿拉丁生化科技股份有限公司;其他试剂,上海国药集团化学试剂有限公司。

RT 10型磁力搅拌器,艾卡仪器设备有限公司;冷冻干燥机,杭州福瑞捷科技有限公司;HH-601超级恒温水浴锅,翔天实验仪器厂;R-501型水浴旋转蒸发仪,申顺生物科技有限公司;SHZ-3型真空泵,沪西分析仪器厂;MixPlus型旋涡振荡器,其林贝尔仪器制造有限公司;Agilent 7820A气相色谱仪,美国Agilent公司;Waters 1525高效液相色谱仪(配示差检测器),上海Waters公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 鱼油的提取

将市售巴沙鱼和鲳鱼在-55℃条件下进行冷冻干燥,随后将冷冻干燥的鱼进行粉碎,制得巴沙鱼肉和鲳鱼肉样品。称取100 g鱼肉样品,加入400 mL甲醇,充分混合后,加入800 mL氯仿,混合溶液在水浴中超声40 min后抽滤,再用100 mL甲醇-氯仿混合液(体积比1:2)洗涤鱼肉残渣,再次抽滤后合并澄清液制得鱼油提取液。向鱼油提取液中添加4 mL质量分数为0.88%的氯化钠溶液,将混合溶液离心(4 600 r/min, 15 min),分层后取下层有机相,40℃下旋蒸除去有机溶剂得到鲳鱼油和巴沙鱼油,称质量并在-30℃冰箱中保存。以鱼油质量与鱼肉样品质量比值计算鱼中总脂肪含量。

#### 1.2.2 鱼油基本理化指标的测定

酸值、碘值、过氧化值和不皂化物的测定参照文献<sup>[14]</sup>的方法进行。

#### 1.2.3 鱼油总脂肪酸组成的测定

参考徐文迪<sup>[15]</sup>的方法并略有修改。

甲酯化:取1滴鱼油样品(约25 mg)加入0.5 mL 2 mol/L的氢氧化钾-甲醇溶液反应30 min,随后加入1 mL体积分数为14%的三氟化硼-甲醇溶液,70℃水浴5 min,加入2 mL正己烷充分振荡反应,待水相和有机相分层后取有机相,并用无水硫酸钠去除微量水分,有机相经膜过滤,进气相色谱仪分析。

气相色谱分析条件:Trace TR-FAME毛细管色谱柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm);氢火焰离子化检测器,检测器温度250℃;载气为氮气,流速1.0 mL/min;分流比20:1;程序升温为初始柱温80℃,保持5 min,随后以5℃/min的升温速率升至180℃,保持15 min,最后以2℃/min的升温速率升至220℃,保持12 min。以混合脂肪酸甲酯标准品的保

留时间进行定性,根据峰面积归一化法进行定量。

#### 1.2.4 鱼油 sn-2 位脂肪酸组成分析

将 50 mg 鱼油样品溶于 2 mL 的正己烷中,随后依次加入 7 mL 浓度为 1 mol/L 的 Tris-HCl 缓冲溶液、1.75 mL 质量分数为 0.05% 的胆酸盐溶液、0.8 mL 2.2% 的氯化钙溶液后,充分振荡混合,再加入 50 mg 猪胰脂酶,在 37.5 °C 下酶解 8 min,反应结束后加入 2 mL 乙醚萃取并离心后,吸取含有脂质的有机层,氮吹浓缩后得酶解液,用毛细管吸取一定量的酶解液点至薄层色谱板上,以正己烷-无水乙醚-冰醋酸(体积比 50:50:1)为展开剂,完全展开后用 2,7-二氯荧光素显色,刮下 2-单甘酯(2-MAG)条带,用无水乙醚萃取其中的 2-MAG 后,氮吹去除有机溶剂,得到 2-MAG 样品。按 1.2.3 的方法对 2-MAG 样品进行脂肪酸组成分析。

#### 1.2.5 鱼油甘油三酯组成分析

参考 Gao 等<sup>[16]</sup>的方法采用反相高效液相色谱(RP-HPLC)分析测定鱼油中的甘油三酯组成。取一定量鱼油样品溶于正己烷中,配制成质量浓度为 20 mg/mL 溶液,经膜过滤后进行 RP-HPLC 分析。RP-HPLC 分析条件: Lichrospher C18 色谱柱(250 mm × 4.6 mm × 5 μm),蒸发光检测器(ELSD)

温度 60 °C,增益 1,进样量 10 μL,流动相为乙腈和异丙醇,采用梯度洗脱的方式,洗脱程序见表 1,洗脱流速 1 mL/min。

以 OPO 和 OPL 标准品的保留时间对相应的色谱峰进行定性,采用峰面积归一化法进行定量。

表 1 RP-HPLC 流动相洗脱程序

时间/min	乙腈/%	异丙醇/%
0	60	40
40	60	40
45	55	45
85	55	45
90	60	40

#### 1.2.6 数据处理和统计分析

每组实验均重复两次,实验数据以“平均值 ± 标准偏差”的形式表示。通过 Origin 9.0 软件进行单因素方差分析,采用 Tukey 检验分析组间差异。

## 2 结果与讨论

### 2.1 鲳鱼油和巴沙鱼油的理化性质

经测定,金鲳鱼中总脂肪含量最高,高达 43.7% (基于干基的含量),其次为银鲳鱼(37.9%)和巴沙鱼(33.4%),3 种鱼中总脂肪含量都较高,是良好的脂肪来源。3 种鱼油的理化指标如表 2 所示。

表 2 鲳鱼油和巴沙鱼油理化指标

项目	金鲳鱼油	银鲳鱼油	巴沙鱼油	SC/T 3502—2016 一级粗鱼油
酸值(KOH)/(mg/g)	7.23 ± 0.86 <sup>a</sup>	6.47 ± 0.39 <sup>a</sup>	4.58 ± 0.57 <sup>b</sup>	≤8.0
过氧化值/(mmol/kg)	6.73 ± 1.05 <sup>a</sup>	3.46 ± 0.61 <sup>b</sup>	5.24 ± 0.33 <sup>a</sup>	≤6.0
碘值(I)/(g/100 g)	125.4 ± 2.2 <sup>a</sup>	105.7 ± 1.2 <sup>c</sup>	116.8 ± 2.1 <sup>b</sup>	≥120
不皂化物/%	0.54 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.66 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.58 ± 0.06 <sup>a</sup>	

注:同行中的不同小写字母表示有显著差异( $p < 0.05$ )。下同

由表 2 可看出,金鲳鱼油酸值(KOH)、过氧化值和碘值均较高,分别达到了 7.23 mg/g、6.73 mmol/kg 和 125.4 g/100 g,但其酸值和银鲳鱼油的无显著差异( $p > 0.05$ ),过氧化值和巴沙鱼油的无显著差异( $p > 0.05$ ),金鲳鱼油具有较高的碘值,说明其含有较多的不饱和脂肪酸,不饱和度相对较高。3 种鱼油的不皂化物含量无显著差异。银鲳鱼油和巴沙鱼的理化指标均符合 SC/T 3502—2016《鱼油》中的一级粗鱼油标准,而金鲳鱼油除过氧化值外,其他理化指标也符合一级粗鱼油标准。

### 2.2 鲳鱼油和巴沙鱼油的脂肪酸组成

分析了 3 种鱼油的总脂肪酸组成和 sn-2 位脂肪酸组成,结果如表 3 所示。

由表 3 可知,3 种鱼油的总脂肪酸组成中,金鲳

鱼油中主要的脂肪酸分别为亚油酸(26.52%)、油酸(25.61%)和棕榈酸(24.93%),三者含量较接近,总量为 77.06%。银鲳鱼油中主要的脂肪酸为棕榈酸(26.42%)、油酸(24.18%)和二十二碳六烯酸(DHA,9.39%),油酸、亚油酸和棕榈酸的总含量为 54.30%,低于金鲳鱼油的,这主要是由于银鲳鱼油中的亚油酸含量较低,仅为 3.70%,说明该鱼油富含 OPL 的可能性低,但银鲳鱼油中 DHA 在 3 种鱼油中的含量最高。巴沙鱼油中主要的脂肪酸为油酸(42.25%)、棕榈酸(32.72%)和亚油酸(10.52%),三者含量达到 85.49%,其中油酸和棕榈酸的含量都明显高于其他两种鱼油,亚油酸的含量低于金鲳鱼油,但高于银鲳鱼油。一般来说,中国人乳脂的总脂肪酸组成中,棕榈酸含量为 16% ~

28%,油酸含量为26%~36%,亚油酸含量为18%~33%<sup>[17]</sup>,对照中国人乳脂脂肪酸组成可以发现,巴沙鱼油的棕榈酸含量(32.72%)和油酸含量(42.25%)显著高于中国人乳脂的,亚油酸含量(10.52%)明显低于中国人乳脂的,银鲱鱼油的亚油酸含量也明显低于中国人乳脂的,棕榈酸和油酸含量接近中国人乳脂的,而金鲱鱼油这3种脂肪酸含量最接近中国人乳脂的。

由表3可知,金鲱鱼油sn-2位脂肪酸主要为棕榈酸(39.71%)、亚油酸(22.56%)和油酸

(14.57%),结合总脂肪酸组成和sn-2位脂肪酸组成可知,金鲱鱼油必然富含OPO和OPL。银鲱鱼油中sn-2位棕榈酸含量也很高,达到41.24%,同时sn-2位还富含其他饱和脂肪酸,sn-2位饱和脂肪酸含量高达63.20%,明显高于金鲱鱼油,与其他两种鱼油不同的是,银鲱鱼油的sn-2位含有较高含量的肉豆蔻酸,其含量在3种鱼油中最高。巴沙鱼油的sn-2位脂肪酸种类少于其他两种鱼油,脂肪酸组成相对简单,其sn-2位有52.09%的棕榈酸,在3种鱼油中含量最高,其次是油酸(26.27%)和亚油酸(10.60%)。

表3 3种鱼油的脂肪酸组成和含量

脂肪酸	金鲱鱼油		银鲱鱼油		巴沙鱼油		%
	总脂肪酸	sn-2位脂肪酸	总脂肪酸	sn-2位脂肪酸	总脂肪酸	sn-2位脂肪酸	
月桂酸(C12:0)	0.03±0.00	0.07±0.00	0.07±0.01	ND	ND	ND	
肉豆蔻酸(C14:0)	1.87±0.09	2.62±0.12	7.49±0.45	11.67±1.15	3.80±0.05	3.24±0.53	
银杏酸(C15:0)	0.18±0.02	0.33±0.01	1.62±0.03	2.83±0.76	0.15±0.00	ND	
棕榈酸(C16:0)	24.93±1.27	39.71±2.85	26.42±1.28	41.24±2.18	32.72±2.38	52.09±2.86	
棕榈油酸(C16:1)	2.15±0.27	2.39±0.36	6.74±0.08	5.45±0.69	ND	ND	
十七烷酸(C17:0)	0.67±0.08	0.35±0.03	2.57±0.84	3.20±0.42	0.18±0.01	ND	
硬脂酸(C18:0)	5.82±0.46	2.48±0.60	6.37±0.15	4.26±0.74	9.57±0.76	5.81±0.78	
油酸(C18:1n-9)	25.61±1.80	14.57±0.87	24.18±0.77	9.39±0.83	42.25±1.84	26.27±1.37	
亚油酸(C18:2n-6)	26.52±1.95	22.56±1.69	3.70±0.56	2.52±0.41	10.52±0.91	10.60±0.80	
亚麻酸(C18:3n-3)	3.08±0.41	3.14±0.36	2.73±0.49	0.27±0.02	0.29±0.01	1.23±0.06	
花生四烯酸(C20:4n-6)	1.73±0.09	0.65±0.78	1.55±0.23	ND	ND	ND	
EPA(C20:5n-3)	0.64±0.05	0.81±0.42	3.92±0.68	2.64±0.37	ND	ND	
DPA(C22:5n-3)	1.02±0.07	1.96±0.27	2.82±0.16	2.55±0.75	ND	ND	
DHA(C22:6n-3)	5.15±0.63	7.88±0.84	9.39±0.84	13.28±1.26	ND	ND	
SFA	33.50±0.93	45.56±2.11	44.54±0.93	63.20±1.97	46.42±1.53	61.14±2.77	
MUFA	27.76±1.75	16.96±0.78	30.92±0.61	14.84±0.75	42.25±1.84	26.27±1.37	
PUFA	38.14±1.62	37.00±1.07	24.11±0.37	21.26±0.84	10.81±0.90	11.83±0.76	

注:ND代表未检出。下同

根据表3的结果,进一步分析3种鱼油中sn-2位饱和脂肪酸占比,特别是sn-2位棕榈酸在总棕榈酸的比例,结果如表4所示。由表4可知,3种鱼油sn-2位棕榈酸占比很接近,在52.03%~

53.10%,说明3种鱼油中棕榈酸都是主要分布在sn-2位,少数棕榈酸分布在sn-1,3位,另外,sn-2位饱和脂肪酸占比不足50%,说明除了棕榈酸外,其他饱和脂肪酸在sn-2位的占比相对较低。

表4 3种鱼油中sn-2位脂肪酸的占比

项目	金鲱鱼油	银鲱鱼油	巴沙鱼油	GB 30604—2015
sn-2位棕榈酸	53.10	52.03	53.07	≥52.00
sn-2位饱和脂肪酸	45.33	47.30	43.91	

注:sn-2位棕榈酸占比=sn-2位棕榈酸含量/(3×总棕榈酸含量)×100%;sn-2位饱和脂肪酸占比=sn-2位饱和脂肪酸含量/(3×总饱和脂肪酸含量)×100%<sup>[18]</sup>

中国人乳脂中sn-2位棕榈酸占比在70%以上<sup>[5]</sup>,分布在sn-1,3位的棕榈酸含量很低,这有利于婴幼儿对该结构脂质的消化吸收,具有防止婴幼儿便秘、钙缺失等功能<sup>[19]</sup>。对照表3、表4可知,尽管3种鱼油中棕榈酸主要分布在sn-2位,符合

GB 30604—2015《食品安全国家标准 食品营养强化剂 1,3-二油酸-2-棕榈酸甘油三酯》中对sn-2位棕榈酸占比的要求,但仍与中国人乳脂中sn-2位棕榈酸占比存在差距。对于大多数天然油脂,棕榈酸主要分布在甘油三酯的sn-1,3位,与人乳脂的结构

完全不同<sup>[20]</sup>,不适合作为人乳替代脂的主要基料油。

### 2.3 鲳鱼油和巴沙鱼油的甘油三酯组成

为了进一步验证金鲳鱼油在人乳替代脂中应用

的潜力,采用 RP-HPLC 分析了 3 种鱼油中 OPO、OPL、1-油酸-2-棕榈酸-3-饱和脂肪酸甘油三酯(OPS)和 1-亚油酸-2-棕榈酸-3-亚油酸甘油三酯(LPL)的含量,结果如表 5 所示。

表 5 3 种鱼油中甘油三酯的组成

项目	金鲳鱼油	银鲳鱼油	巴沙鱼油	%
OPO	16.79 ± 1.72 <sup>b</sup>	13.16 ± 1.22 <sup>b</sup>	30.37 ± 2.14 <sup>a</sup>	
OPL	24.36 ± 2.18 <sup>a</sup>	2.61 ± 0.49 <sup>c</sup>	15.20 ± 0.75 <sup>b</sup>	
LPL	12.61 ± 0.45 <sup>a</sup>	ND	0.85 ± 0.06 <sup>b</sup>	
OPS	2.10 ± 0.36 <sup>c</sup>	4.53 ± 0.51 <sup>b</sup>	6.84 ± 0.63 <sup>a</sup>	

由表 5 可知,金鲳鱼油中 OPO 和 OPL 的总含量达到 40% 以上,其中 OPL 的含量(24.36%)明显高于其他两种鱼油。巴沙鱼油中 OPO 的含量最高,是其他两种鱼油的两倍左右。银鲳鱼油中 OPO 和 OPL 的含量都较低,特别是含有亚油酸的甘油三酯的含量,这与银鲳鱼油中亚油酸的含量很低有关。

本课题组前期采用 RP-HPLC 分析了中国人乳脂的甘油三酯组成<sup>[5]</sup>,结果发现,中国人乳脂中 OPL 平均含量为 25.44%,OPO 平均含量为 15.84%,LPL 平均含量为 5.01%,其中 OPL 的含量显著高于 OPO 的含量,这与国外人乳脂甘油三酯组成不同,国外人乳脂中 OPO 的含量显著高于 OPL 的含量,这可能与不同国家人群的膳食结构有关<sup>[15]</sup>。对照中国人乳脂甘油三酯的组成发现:银鲳鱼油中 OPO、OPL 和 LPL 的含量都太低,未达到中国人乳脂中甘油三酯的平均含量;而巴沙鱼油中 OPO 含量显著高于中国人乳脂的,OPL、LPL 含量与中国人乳脂有一定差距;与其他两种鱼油相比,金鲳鱼油中 OPO、OPL 和 LPL 含量都与中国人乳脂甘油三酯组成更为接近,是制备中国婴儿配方奶粉理想基料油,但是动物油脂一般都有较高含量的胆固醇,一般来说,人乳脂中含有 0.4% 左右的胆固醇及其酯<sup>[21]</sup>,后期需要根据人乳脂中胆固醇的含量,调整金鲳鱼油中胆固醇的含量,以期更好地应用在人乳替代脂中。

### 3 结论

比较分析了金鲳鱼油、银鲳鱼油及巴沙鱼油中总脂肪酸、sn-2 位脂肪酸、甘油三酯的组成和含量,评估其与中国人乳脂的相似性。结果发现:金鲳鱼油中主要脂肪酸为亚油酸、油酸和棕榈酸;银鲳鱼油中主要的脂肪酸是棕榈酸、油酸和 DHA,亚油酸含量仅为 3.70%,明显低于中国人乳脂的;巴沙鱼油中富含油酸、棕榈酸和亚油酸,其棕榈酸和油酸含量明显高于中国人乳脂的。3 种鱼油中棕榈酸都主

要分布在 sn-2 位,而其他饱和脂肪酸在 sn-2 位含量相对较低。金鲳鱼油中 OPO 和 OPL 总含量达 40% 以上,OPL 含量为 24.36%,OPO、OPL、LPL 含量均与中国人乳脂甘油三酯组成接近;巴沙鱼油中 OPO 含量为 30.37%,远高于中国人乳脂中 OPO 含量,但 OPL 含量较低;而银鲳鱼油中 OPO、OPL 含量均较低,与中国人乳脂甘油三酯组成差距较大。因此,3 种鱼油中金鲳鱼油脂质组成与中国人乳脂脂质组成最为接近,在中国婴儿配方奶粉市场中具有广泛的发展前景。

### 参考文献:

- [1] FIELD C J. The immunological components of human milk and their effect on immune development in infants[J]. J Nutr, 2005, 135:1-4.
- [2] JENSEN R G. Lipids in human milk[J]. Lipids, 1999, 34:1243-1271.
- [3] WANG X, ZOU W, SUN X. Chemoenzymatic synthesis of 1,3-dioleoyl-2-palmitoylglycerol[J]. Biotechnol Lett, 2015, 37:691-696.
- [4] ABRAHAMSE E, MINEKUS M, AKEN G A, et al. Development of the digestive system - experimental challenges and approaches of infant lipid digestion[J]. Food Dig, 2012, 3:63-77.
- [5] 孙聪. 人乳替代脂的组成、相似性评价及制备研究[D]. 江苏 无锡:江南大学, 2018.
- [6] SUN C, WEI W, SU H, et al. Evaluation of sn-2 fatty acid composition in commercial infant formulas on the Chinese market: a comparative study based on fat source and stage[J]. Food Chem, 2018, 242:29-36.
- [7] SUN C, WEI W, ZOU X, et al. Evaluation of triacylglycerol composition in commercial infant formulas on the Chinese market: a comparative study based on fat source and stage[J]. Food Chem, 2018, 252:154-162.
- [8] WANG X, HUANG Z, HUA L, et al. Preparation of human milk fat substitutes similar to human milk fat by enzymatic acidolysis and physical blending[J/OL]. LWT - Food Sci Technol, 2021, 140:110818 [2022-07-14]. <https://>

- doi.org/10.1016/j.wt.2020.110818.
- [9] PANDE G, SABIR J S M, BAESHEN N, et al. Enzymatic synthesis of extra virgin olive oil based infant formula fat analogues containing ARA and DHA: one - stage and two - stage syntheses [J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61:10590 - 10598.
- [10] NAGACHINTA S, AKOCH C C. Production and characterization of DHA and GLA - enriched structured lipid from palm olein for infant formula use [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2013, 90:1141 - 1149.
- [11] CHENG X, ZHAO X, YANG Z, et al. Chemical characterization of *Trachinotus ovatus* oil for its potential application as human milk fat substitute [J/OL]. *Food Biosci*, 2021, 42:101175 [2022 - 07 - 14]. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101175>.
- [12] ZOU X, JIN Q, GUO Z, et al. Preparation of 1, 3 - dioleoyl - 2 - palmitoylglycerol - rich structured lipids from basa catfish oil: combination of fractionation and enzymatic acidolysis [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2016, 118:708 - 715.
- [13] 程昕祎. 高相似性母乳替代脂的制备及评价 [D]. 江苏 无锡:江南大学, 2021.
- [14] 陆继源. 酶法酯交换合成中长碳链结构甘油三酯 [D]. 江苏 无锡:江南大学, 2017.
- [15] 徐文迪. 富含中长碳链甘油三酯的人乳替代脂的酶法制备 [D]. 江苏 无锡:江南大学, 2019.
- [16] GAO L, CHENG X, YU X, et al. Lipase - mediated production of 1 - oleoyl - 2 - palmitoyl - 3 - linoleoylglycerol by a two - step method [J/OL]. *Food Biosci*, 2020, 36:100678 [2022 - 07 - 14]. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100678>.
- [17] 常桂芳,王兴国. 我国母乳脂肪和婴儿配方奶粉油脂研究现状 [J]. *中国油脂*, 2010, 35(4):6 - 11.
- [18] 黄磊, 邹孝强, 郑莉, 等. 淡水鱼油性物质测定及其在人乳替代脂市场的应用研究 [J]. *中国油脂*, 2018, 43(1):131 - 135.
- [19] WANG X, ZOU S, MIU Z, et al. Enzymatic preparation of structured triacylglycerols with arachidonic and palmitic acids at the sn - 2 position for infant formula use [J]. *Food Chem*, 2019, 283:331 - 337.
- [20] 张星河. UPC<sup>2</sup> - Q - TOF - MS 检测甘油三酯技术的建立及在人乳脂研究中的应用 [D]. 江苏 无锡:江南大学, 2018.
- [21] 黄卓能,程昕祎,赵昕辰,等. 母乳脂化学组成的研究进展 [J]. *中国油脂*, 2021, 46(5):63 - 70.
- 
- (上接第 79 页)
- [66] CHAPPELL J E, CLANDININ M T, MCVEY M A, et al. Free fatty acid content of human milk: physiologic significance and artifactual determinants [J]. *Lipids*, 1985, 20(4):216 - 221.
- [67] ATEHLI D, WANG J, YU J, et al. Effects of mono - and diglycerides of fatty acids on the milk fat globule membrane after heat treatment [J]. *Int J Dairy Technol*, 2020, 73(4):667 - 673.
- [68] WEI W, JIN Q, WANG X. Human milk fat substitutes: past achievements and current trends [J]. *Prog Lipid Res*, 2019, 74:69 - 86.
- [69] CHURCHWARD C P, ALANY R G, SNYDER L. Alternative antimicrobials: the properties of fatty acids and monoglycerides [J]. *Crit Rev Microbiol*, 2018, 44(5):561 - 570.
- [70] ALDRIDGE M. Review of the antiviral activity and pharmacology of monoglycerides and implications for treatment of COVID - 19 [J/OL]. (2020 - 04 - 11) [2022 - 07 - 10]. <https://doi.org/10.31219/osf.io/qdsef>.
- [71] YOUNES M, AQUILINA G, CASTLE L, et al. Opinion on the re - evaluation of mono - and diglycerides of fatty acids (E 471) as food additive in foods for infants below 16 weeks of age and follow - up of their re - evaluation as food additives for uses in foods for all population groups [J/OL]. *EFSA J*, 2021, 19(11):6885 [2022 - 07 - 10]. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6885>.
- [72] MATTES R D. Accumulating evidence supports a taste component for free fatty acids in humans [J]. *Physiol Behav*, 2011, 104(4):624 - 631.
- [73] SPITZER J, KLOS K, BUETTNER A. Monitoring aroma changes during human milk storage at + 4 degrees by sensory and quantification experiments [J]. *Clin Nutr*, 2013, 32(6):1036 - 1042.