

蛋黄油脂质组分的提取分离与脂肪酸组成分析

田笑¹, 仝其根²

(1. 北京农学院 食品科学与工程学院, 北京 102206; 2. 蛋品安全生产与加工北京市工程研究中心, 北京 100094)

摘要:为将蛋黄油分为不同性质的脂质组分, 并建立一种从蛋黄粉中提取分离蛋黄油的方法, 利用溶剂萃取法从蛋黄粉中提取蛋黄油, 以出油率、碘值和皂化值为指标筛选蛋黄油提取萃取剂、去磷脂蛋黄油提取萃取剂以及去磷脂蛋黄油分离萃取剂; 对除磷脂外的3种蛋黄油组分进行脂肪酸组成分析。结果表明: 以无水乙醇作为一次提取萃取剂从蛋黄粉中得到醇提蛋黄油与醇提蛋黄粉, 用石油醚对醇提蛋黄粉进行二次提取得到石油醚蛋黄油, 采用丙酮以料液比1:12分离醇提蛋黄油中磷脂并得到去磷脂醇提蛋黄油, 以乙腈-乙醇(体积比1:1)分离去磷脂醇提蛋黄油得到上层蛋黄油与下层蛋黄油; 蛋黄粉中的脂质被分为4个组分, 其中上层蛋黄油占18.43%, 下层蛋黄油占40.62%, 石油醚蛋黄油占9.78%, 磷脂占31.16%; 3种液态蛋黄油中, 上层蛋黄油不饱和度最高, 多不饱和脂肪酸占比最大(20.52%), 还含有较多 $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸等具有保健功效的脂肪酸。该方法可分离出蛋黄油中高多不饱和脂肪酸和较高保健功效脂肪酸占比的液态脂质。

关键词: 蛋黄油; 脂质; 溶剂萃取法; 分离; 脂肪酸组成

中图分类号: TS201.1; TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2023)06-0130-06

Extraction, separation and fatty acid composition analysis of yolk oil lipid components

TIAN Xiao¹, TONG Qigen²

(1. College of Food Science and Engineering, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China;

2. Beijing Engineering Center for Egg Safety Production and Processing, Beijing 100094, China)

Abstract: To divide yolk oil into lipid components with different properties, and to establish a method for extracting and separating yolk oil from yolk powder, the yolk oil was extracted from yolk powder by solvent extraction method. With oil yield, iodine value and saponification value as indexes, the yolk oil extraction extractant, non-phospholipid yolk oil extraction extractant and non-phospholipid yolk oil separating extractant were selected. In addition, fatty acid compositions of three yolk oil components except phospholipid were analyzed. The results showed that the alcohol-extracted yolk oil and the alcohol-extracted yolk powder were obtained from yolk powder with anhydrous ethanol as a primary extraction extractant. The alcohol-extracted yolk powder was extracted with petroleum ether to obtain petroleum ether yolk oil. The alcohol-extracted yolk oil was separated with acetone to obtain non-phospholipid alcohol-extracted yolk oil under the conditions of material to liquid ratio 1:12. Non-phospholipid alcohol-extracted yolk oil was extracted with acetonitrile ethanol mixed solution in equal proportion and stratified to obtain upper and lower yolk oil. Lipids in yolk powder could be divided into four

components, the upper yolk oil accounted for 18.43%, the lower yolk oil accounted for 40.62%, petroleum ether yolk oil accounted for 9.78%, and phospholipid accounted for 31.16%. Among the three liquid yolk oils, the upper yolk oil had the highest degree of unsaturation and the largest

收稿日期: 2022-03-30; 修回日期: 2023-02-02

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2018YFD0400305)

作者简介: 田笑(1998), 男, 硕士研究生, 研究方向为畜产品加工(E-mail) soxsoxsox@126.com。

通信作者: 仝其根, 教授(E-mail) tongqigen@163.com。

proportion of polyunsaturated fatty acids (20.52%), and it also contained more $\omega-3$ polyunsaturated fatty acids and many other fatty acids with health benefits. The liquid with high contents of polyunsaturated fatty acid and fatty acid with health benefits can be obtained from yolk oil with this method.

Key words: yolk oil; lipid; solvent extraction method; separation; fatty acid composition

蛋黄油是部分禽类动物的卵黄中脂溶性提取物的总称,也称为蛋黄脂质,多使用蛋黄粉进行加工提取。蛋黄油成分占比为磷脂类 32.8%、甘油三酯 62.3%、固醇类 4.9%^[1]。蛋黄油中磷脂主要由磷脂酰胆碱(卵磷脂)和磷脂酰乙醇胺(脑磷脂)构成,两者分别占蛋黄油总磷脂的 73% 和 15%,其他磷脂占 12%^[2]。蛋黄油中甘油三酯的脂肪酸组成为油酸 42.86%、亚油酸 22.95%、棕榈酸 19.91%、硬脂酸 7.89%、棕榈油酸 2.25% 及亚麻酸 0.94%^[3]。蛋黄油中固醇类几乎均为胆甾醇(胆固醇),此外含有少量麦角甾醇、链甾醇、胆甾烯醇与其他甾醇^[2]。蛋黄油含有丰富的卵磷脂和不饱和脂肪酸,营养价值高,可以应用于医药保健行业。

现阶段研究中,常使用有机溶剂萃取法从蛋黄粉中提取蛋黄油,有得率高、操作简单等优点^[4],对蛋黄油组分分离的研究多为提取其中磷脂^[5]与胆固醇^[6],或对不同蛋黄油的脂肪酸组成进行分析^[7-9]。近年蛋黄油被研究用于治愈啮齿动物的胃溃疡^[10-11],但由于其给药量太大无法应用于临床,若分离筛选出蛋黄油中的有效组分,例如分离其中的磷脂或者具有不同性质与脂肪酸组成的脂质,就可能降低给药量。目前未见蛋黄油不同脂质组分的分离方法与其性质差异性研究。因此,本文利用不同有机溶剂对蛋黄粉中脂质溶解度的不同,将蛋黄油提取分离为不同组分,并测定分析其碘值、皂化值和脂肪酸组成,以期推动蛋黄油的药理与功能性研究及临床应用。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

蛋黄粉,亳州海川蛋制品有限公司。

无水乙醇、石油醚(30~60℃)、乙腈、丙酮,分析纯,天津致远化学试剂有限公司;冰乙酸,分析纯,天津光复科技有限发展公司;碘化钾、韦氏试剂、环己烷、正己烷、乙酸乙酯、硫代硫酸钠标准滴定液均为分析纯,氢氧化钾(电子级),上海麦克林科技有限公司;0.5 mol/L 盐酸标准滴定液,厦门海标科技有限公司;酚酞溶液,碱性蓝 6B 溶液。

1.1.2 仪器与设备

RE-52AA 旋转蒸发器,上海亚荣生物仪器厂;

恒温烘箱,上海博迅实业有限公司;循环水真空泵;电子分析天平;恒温磁力搅拌器;-86℃冰箱;DL-1 万用电炉,北京中兴伟业仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 蛋黄油的提取

取一定量的蛋黄粉以料液比 1:5 加入萃取剂(无水乙醇、乙腈、环己烷、正己烷、乙酸乙酯与石油醚)搅拌均匀进行一次提取。具体参数为磁力搅拌器温度设定为 50℃(石油醚提取时为常温),转速设定为 1 000 r/min,待温度数显稳定后封口提取 1.5 h,然后用砂芯漏斗抽滤 3 次。滤渣再以同条件递减 0.5 h 提取两次,并以同样方式抽滤。合并滤液,旋蒸得蛋黄油。真空干燥箱 35℃ 下分别干燥滤渣与蛋黄油至恒重,将滤渣装袋置于阴凉处备用。同时,通过油脂质量与提取前干物质质量的比值计算出油率。

对一次提取后的滤渣用其他萃取剂再进行二次提取,得到二次提取蛋黄油,提取方法与一次提取中一致。

1.2.2 去磷脂蛋黄油的提取

取 20 g 1.2.1 中一次提取得到的蛋黄油,按一定料液比加入丙酮并充分搅拌,45℃ 下封口静置 1 h 后抽滤,重复上述操作 3 次以上得到滤液与丙酮不溶物。滤液在 55℃ 下旋蒸得去磷脂蛋黄油,35℃ 下真空干燥至恒重。丙酮不溶物为磷脂,30℃ 下真空干燥至恒重并装袋低温保存。

1.2.3 去磷脂蛋黄油的分离

取 20 g 1.2.2 中得到的去磷脂蛋黄油,分别以料液比 1:10 加入不同体积比的乙腈-乙醇混合萃取剂,磁力搅拌器 50℃ 下搅拌均匀后转移到分液漏斗中,30℃ 下静置 12 h。分离出上层溶剂层,在 65℃ 下减压旋蒸得上层蛋黄油,35℃ 下真空干燥至恒重;下层为脂质即下层蛋黄油,50℃ 下真空干燥至恒重。

1.2.4 碘值和皂化值的测定

参照 GB/T 5532—2008 测定碘值;参照 GB/T 5534—2008 测定皂化值。

1.2.5 脂肪酸组成测定

将样品低温保存,送至北京谱尼测试集团科技有

限公司参照 GB 5009.168—2016 测定脂肪酸组成。

1.2.6 数据处理

使用 SPSS 统计软件进行数据分析,组间比较采用单因素结果分析, $p < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 蛋黄油萃取剂的筛选

2.1.1 一次提取萃取剂的筛选(见表 1)

表 1 蛋黄油一次提取结果

萃取剂	出油率/%	碘值(I)/ (g/100 g)	皂化值(KOH)/ (mg/g)
无水乙醇	59	80.5 ± 0.5 ^{bc}	187.82 ± 0.41 ^c
乙腈	3	138.3 ± 0.8 ^d	159.44 ± 0.47 ^a
环己烷	52	81.2 ± 0.3 ^{bc}	188.08 ± 0.55 ^{cd}
正己烷	48	80.7 ± 0.3 ^b	186.85 ± 0.29 ^b
乙酸乙酯	47	81.8 ± 0.8 ^c	188.79 ± 0.24 ^d
石油醚	25	77.3 ± 0.6 ^a	193.47 ± 0.42 ^e

注:同列肩标字母不同表示有显著性差异($p < 0.05$)

不同萃取剂对蛋黄油的提取存在一定差异。视觉感官上无水乙醇、环己烷、正己烷和乙酸乙酯提取的蛋黄油呈红褐色,乙腈提取的蛋黄油为棕红色,而石油醚提取的蛋黄油为琥珀色。由表 1 可以看出,出油率最高的为无水乙醇提取(接近 60%),出油率较低的为乙腈(3%)与石油醚(25%)提取,其他组出油率为 50% 左右。碘值最高的蛋黄油为乙腈提取的,其显著高于其他组($p < 0.05$),但该蛋黄油皂化值显著低于其他组($p < 0.05$)。碘值最低的蛋黄油为石油醚提取的,其显著低于其他组($p < 0.05$),且该蛋黄油皂化值显著高于其他组($p < 0.05$)。

无水乙醇对蛋黄油的提取率最高,可较大程度提取蛋黄粉中的脂质,且蛋黄油的碘值和皂化值均不突出,颜色饱和度也较为中和;乙腈提取的蛋黄油碘值高、皂化值低,且感官上有别于其他蛋黄油,呈棕红色,但出油率极低;石油醚可以提取高皂化值低碘值的蛋黄油,其颜色最浅,但出油率较低。因此,确定无水乙醇为蛋黄油一次提取的萃取剂。

2.1.2 二次提取萃取剂的筛选

确定一次提取萃取剂为无水乙醇后,用其他萃取剂对干燥后的醇提蛋黄粉进行二次提取,测定出油率、碘值和皂化值,结果如表 2 所示。

由表 2 可看出,石油醚对醇提蛋黄粉进行二次提取出油率达到 15%,显著高于其他组,且蛋黄油呈明黄色,冷藏后呈白色,碘值较低(均低于一次提取蛋黄油的碘值),皂化值较高(均高于一次提取蛋黄油的皂化值)。环己烷、正己烷、乙酸乙酯与乙腈对醇提蛋黄粉进行二次提取的出油率很低,推断在

该萃取剂中高溶解度的脂质已被无水乙醇提取,不适用蛋黄油的二次提取。因此,确定石油醚为蛋黄油二次提取萃取剂。

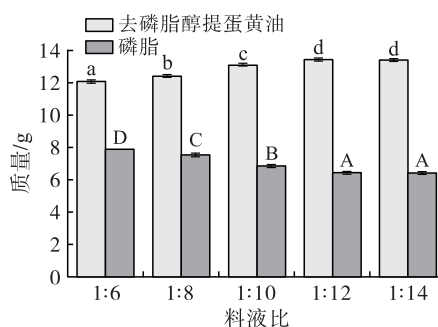
表 2 蛋黄油二次提取结果

萃取剂	出油率/%	碘值(I)/ (g/100 g)	皂化值(KOH)/ (mg/g)
乙腈	0.5	-	-
环己烷	1	-	-
正己烷	0.8	-	-
乙酸乙酯	1	-	-
石油醚	15	76.8 ± 0.6	193.74 ± 0.39

注: - 表示未检测

2.2 去磷脂醇提蛋黄油的提取

在醇提蛋黄油质量 20 g,料液比分别为 1:6、1:8、1:10、1:12、1:14 条件下,采用丙酮对磷脂进行沉淀,料液比对去磷脂醇提蛋黄油与磷脂质量的影响如图 1 所示。



注:同一指标不同字母表示有显著性差异($p < 0.05$)。下同

图 1 料液比对去磷脂醇提蛋黄油与磷脂质量的影响

由图 1 可知,随丙酮用量不断增加,去磷脂醇提蛋黄油质量不断增加并在料液比为 1:12 后趋于稳定,磷脂中残余的中性脂质逐渐完全溶于丙酮,此时磷脂提取量为醇提蛋黄油的 32.3%,较接近理论数值^[1]。因此,确定采用丙酮以料液比 1:12 分离醇提蛋黄油中磷脂。

2.3 去磷脂醇提蛋黄油的分离

由 2.1 结果可知,乙腈可以提取出蛋黄粉中较少占比的高碘值脂质,且此类脂质大多溶于乙醇。乙腈与乙醇沸点相似,且两者可互溶。因此,使用不同体积比的乙腈-乙醇将去磷脂醇提蛋黄油分为上下两层,上层为萃取层,下层为未溶解的油层。

在去磷脂醇提蛋黄油质量 20 g,乙腈与乙醇体积比分别为 4:1、3:1、2:1、3:2、1:1 条件下,对去磷脂醇提蛋黄油进行萃取分层,乙醇与乙腈体积比对上层油与下层油质量、碘值和皂化值的影响分别如图 2、图 3 与图 4 所示。

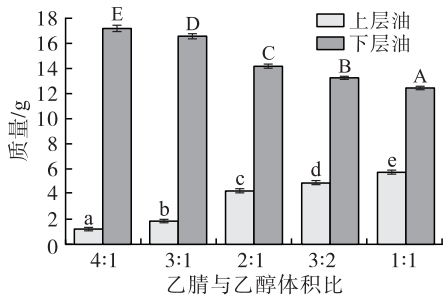


图2 乙腈与乙醇体积比对上层油与下层油质量的影响

由图2可以看出,随混合萃取剂中乙醇比例的增加,溶剂对去磷脂醇提蛋黄油的溶解性更强,因此上层油质量持续上升,下层油质量持续下降。

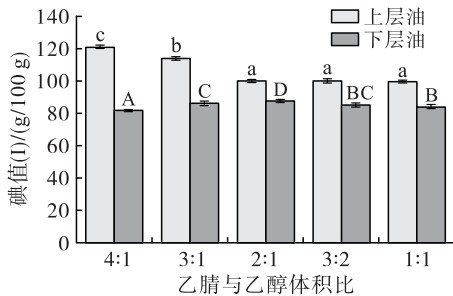


图3 乙腈与乙醇体积比对上层油与下层油碘值的影响

碘值是评价油脂不饱和程度的重要参数,碘值越高,油脂不饱和程度越高^[12]。由图3可知:随萃取剂中乙醇比例的增加,上层油碘值呈下降趋势,但当乙腈与乙醇体积比为2:1后,继续增大乙醇占比,上层油碘值无显著变化;随萃取剂中乙醇比例的增加,下层油碘值呈先上升后下降趋势,且当乙腈与乙醇体积比为3:2后趋于稳定。

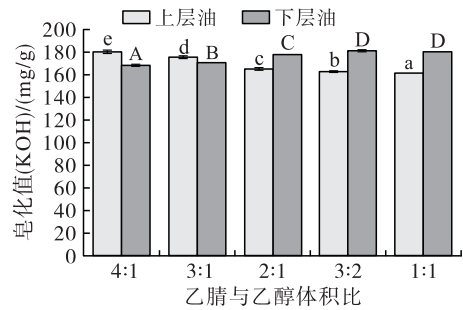


图4 乙腈与乙醇体积比对上层油与下层油皂化值的影响

皂化值也是油脂分析中重要的理化参数,其反映油脂的相对分子质量或不皂化物含量,皂化值越大,油脂相对分子质量越小或不皂化物含量越低^[13-14]。由图4可知:随乙醇在萃取剂中占比的增多,上层油皂化值显著下降,下层油皂化值呈上升趋势,当乙腈与乙醇体积比为3:2后,下层油皂化值趋于稳定。

综合图3和图4可知,在乙腈与乙醇体积比为3:2后,上、下层油碘值和皂化值变化总体均趋于稳定,其性质(皂化值和碘值)存在差异。因此,筛选出使用乙腈与乙醇体积比为3:2或1:1作为混合萃取剂分离去磷脂醇提蛋黄油,考虑到经济性能,选择乙腈与乙醇体积比为1:1的混合溶剂作为去磷脂醇提蛋黄油分离的萃取剂。

2.4 蛋黄油脂质组分的提取分离方法

使用溶剂萃取法,通过2.1~2.3的结果分析筛选出最优萃取剂,将蛋黄粉中的脂质提取分离为4个不同组分,具体流程如图5所示。

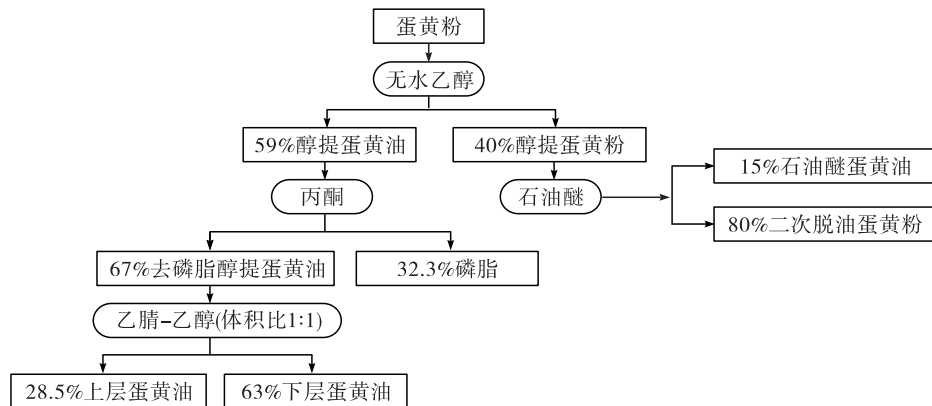


图5 蛋黄油脂质组分提取分离方法

由图5可知,从蛋黄粉中提取的4种脂质组分分别为磷脂、上层蛋黄油、下层蛋黄油和石油醚蛋黄油,经计算其在蛋黄油总脂质中占比分别为31.16%、18.43%、40.62%、9.78%。

2.5 3种液态蛋黄油性质差异分析

4种蛋黄油脂质组分中,磷脂中的卵磷脂成分有清除自由基、保护生物膜系统的作用^[5],而其他

蛋黄油营养成分和性质差异未知。因此,对上层蛋黄油、下层蛋黄油与石油醚蛋黄油的碘值和皂化值进行对比分析,对其脂肪酸组成进行测定,深入探究营养功能可能存在的差异。

2.5.1 碘值和皂化值(见表3)

由表3可以看出:上层蛋黄油的碘值最高,其次是下层蛋黄油,而石油醚蛋黄油碘值最低,初步推断

上层蛋黄油中不饱和脂肪酸占比可能在3种液态蛋黄油中最高,石油醚蛋黄油不饱和脂肪酸占比可能最低;上层蛋黄油的皂化值最低,说明其相对分子质量最大或不皂化物含量较高,石油醚蛋黄油皂化值最高,下层蛋黄油碘值和皂化值居中。

表3 3种液态蛋黄油碘值与皂化值

蛋黄油	碘值(I)/ (g/100 g)	皂化值(KOH)/ (mg/g)
上层蛋黄油	99.5 ± 0.5	161.92 ± 0.10
下层蛋黄油	84.0 ± 1.0	181.65 ± 0.12
石油醚蛋黄油	76.8 ± 0.6	193.47 ± 0.42

2.5.2 脂肪酸组成(见表4)

表4 3种液态蛋黄油脂肪酸组成与含量 g/100 g

脂肪酸	上层蛋黄油	下层蛋黄油	石油醚蛋黄油
月桂酸	0.011	0.009	0.007
豆蔻酸	0.395	0.380	0.340
豆蔻油酸	0.111	0.082	0.070
十五碳酸	0.053	0.050	0.049
棕榈酸	21.800	22.650	22.650
棕榈油酸	3.830	3.410	3.130
十七碳酸	0.128	0.151	0.156
硬脂酸	5.710	5.880	6.460
油酸	40.450	43.500	43.700
亚油酸	15.400	12.300	11.950
γ-亚麻酸	0.153	0.099	0.095
α-亚麻酸	0.518	0.365	0.352
花生酸	0.021	0.023	0.028
花生一烯酸	0.479	0.293	0.321
花生二烯酸	0.158	0.118	0.119
二高-γ-亚麻酸	0.149	0.074	0.076
顺-11,14,17- 二十碳三烯酸	0.007	0.008	0.009
花生四烯酸	1.850	0.736	0.371
EPA	-	0.005	0.004
山嵛酸	0.038	-	-
芥酸	0.021	0.024	0.021
顺-13,16- 二十二碳二烯酸	-	0.005	0.005
DHA	0.662	0.069	0.068
二十三碳酸	0.016	-	-
木焦油酸	0.028	0.007	-
神经酸	0.082	0.006	-
总脂肪酸	92.068	90.242	89.979
饱和脂肪酸	28.198	29.149	29.689
不饱和脂肪酸	63.870	61.089	60.290
单不饱和脂肪酸	44.973	47.316	47.241
多不饱和脂肪酸	18.896	13.777	13.048

由表4可以看出,3种蛋黄油的主要脂肪酸均

为棕榈酸、油酸和亚油酸。其中油酸含量大小依次为石油醚蛋黄油(43.700 g/100 g) > 下层蛋黄油(43.500 g/100 g) > 上层蛋黄油(40.450 g/100 g),亚油酸含量大小依次为上层蛋黄油(15.400 g/100 g) > 下层蛋黄油(12.300 g/100 g) > 石油醚蛋黄油(11.950 g/100 g),棕榈酸含量大小依次为下层蛋黄油(22.650 g/100 g) = 石油醚蛋黄油(22.650 g/100 g) > 上层蛋黄油(21.800 g/100 g)。

按照不饱和度排序,不饱和脂肪酸含量最高的是上层蛋黄油(63.870 g/100 g),其次是下层蛋黄油(61.089 g/100 g),石油醚蛋黄油最低(60.290 g/100 g);上层蛋黄油单不饱和脂肪酸占总脂肪酸的48.85%,占不饱和脂肪酸的70.41%,均低于下层蛋黄油(单不饱和脂肪酸占总脂肪酸的52.43%,占不饱和脂肪酸的77.45%)与石油醚蛋黄油(单不饱和脂肪酸占总脂肪酸的52.50%,占不饱和脂肪酸的78.36%);但上层蛋黄油多不饱和脂肪酸在总脂肪酸中占比最高(20.52%),下层蛋黄油和石油醚蛋黄油该占比分别为15.27%与14.50%。

研究认为, $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸是一种免疫营养素,其可以调节应激信号通路,抑制过氧化反应,降低炎症反应等,还可降低术后感染并发症,促进术后临床愈合^[15-18],其代表脂肪酸为 α -亚麻酸、EPA和DHA。由表4可知:上层蛋黄油中含有较高 $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸,其 α -亚麻酸含量为0.518 g/100 g,约为下层蛋黄油的1.4倍,为石油醚蛋黄油的1.5倍;上层蛋黄油中DHA含量为0.662 g/100 g,约为下层蛋黄油的9.6倍,为石油醚蛋黄油的9.7倍,远高于另外2种蛋黄油;但上层蛋黄油中未检出EPA,而下层蛋黄油中检出0.005 g/100 g的EPA,石油醚蛋黄油中检出0.004 g/100 g的EPA。

花生四烯酸(C20:4n6)是生物体内分布最广泛的重要多不饱和脂肪酸,与炎症愈合效果密切相关^[19]。3种蛋黄油中,上层蛋黄油花生四烯酸含量为1.850 g/100 g,约为下层蛋黄油的2.5倍,为石油醚蛋黄油的5.0倍,远高于另外2种蛋黄油。

此外,上层蛋黄油中还含有0.082 g/100 g的神经酸,约为下层蛋黄油的13.7倍,而石油醚蛋黄油不含神经酸。神经酸在预防和治疗脑部疾病,增强免疫力,改善皮肤问题等方面有重要作用^[20]。二高- γ -亚麻酸也是一种重要的具有保健功效的脂肪酸,其通过抑制血栓素A2活性,发挥抗动脉粥样硬化的功效^[21-23]。上层蛋黄油中的二高- γ -亚麻酸含量约为下层蛋黄油和石油醚蛋黄油中的2.0倍。

综合以上分析可知:①上层蛋黄油在3种液态

蛋黄油中碘值最高,不饱和度最高,其次是下层蛋黄油,石油醚蛋黄油不饱和度最低;②上层蛋黄油在3种液态蛋黄油中皂化值最低;③3种液态蛋黄油中,上层蛋黄油多不饱和脂肪酸占总脂肪酸比例最高, $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸和花生四烯酸含量也远高于另外2种蛋黄油,上层蛋黄油还含有一定量的有保健功效的二高- γ -亚麻酸和神经酸,而下层蛋黄油和石油醚蛋黄油中这2种脂肪酸含量非常低。因此,推测上层蛋黄油具有较高营养保健功效。

3 结论

本文建立了一种用溶剂萃取法提取分离蛋黄油不同脂质组分的方法,并对不同脂质组分进行碘值、皂化值与脂肪酸组成分析,分离出了高多不饱和脂肪酸与较高保健功效脂肪酸占比的液态脂质。该研究打破了蛋黄油分离仅停留在分出磷脂与中性脂质(除磷脂外的脂质组分)的局面,为深化蛋黄油药理提供了一定理论依据与实验基础。

有关蛋黄油功能性的研究日益细化,本文对蛋黄油脂质组分进行了提取分离,但若继续研究其药理性与筛选有效活性组分还需要进一步进行动物实验作为佐证。

参考文献:

- [1] 严建业,王璐,李顺祥,等. 蛋黄油的现代研究进展[J]. 中国中医药信息杂志, 2012, 19(3):106-110.
- [2] 谢绿绿,马美湖. 鸡蛋黄中油脂的提取技术与利用研究进展[C]//第八届中国蛋品科技大会论文集. 武汉:中国畜产品加工研究会, 2009.
- [3] 刘杰. 蛋黄脂肪酸组成分析[J]. 农业科技与装备, 2008(6):47-48.
- [4] 李瑞,谢伟. 蛋黄油的提取方法与应用[J]. 食品工业科技, 2011, 32(7):444-446.
- [5] 黄瑾,王鑫,吴海虹,等. 卵磷脂的提取、鉴定与应用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(24):338-343,353.
- [6] 许文东. 一种从蛋黄油中分离精制胆固醇的制备方法: CN103012535A[P]. 2015-03-11.
- [7] 陈少泽,雷雨晨,黄思琦,等. 蛋黄油中脂肪酸成分分析及抗氧化作用研究[J]. 化工技术与开发, 2022, 51(1/2):30-33.
- [8] 温恺嘉,梁北梅,李咏华,等. 气相色谱外标法测定蛋黄卵磷脂(供注射用)中7种脂肪酸含量[J]. 中国油脂, 2022, 47(1):143-147,152.
- [9] 杨明,梁少华,王梦园,等. 4种蛋黄油理化特性及脂肪酸组成分析[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2017, 38(4):47-51.
- [10] 杨希良,赵青剑,景箫,等. 醇提蛋黄油对胃粘膜损伤的辅助保护功能评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(22):7502-7508.
- [11] 华苗爽,侯雨佳,仝其根. 蛋黄油对小鼠消化性胃溃疡的促进愈合作用[J]. 中国食品学报, 2020, 20(1):33-39.
- [12] 潘丹杰,叶沁,杨志成,等. ATR-FTIR结合BiPLS分析食用油碘值的研究[J]. 中国油脂, 2016, 41(5):89-92.
- [13] 许泽群,张乐,杨静媚,等. 食用油煎炸过程特征指标的相关性分析[J]. 粮油食品科技, 2020, 28(5):131-137.
- [14] 王利军,郭海蓉,陈赶林,等. 甘蔗蜡皂化值的测定研究[J]. 现代食品科技, 2007, 23(6):81-83.
- [15] 程康文,王贵和,束宽山,等. 添加 $\omega-3$ 鱼油脂肪乳的肠外营养对胃癌术后患者营养、应激及肝功能的影响[J]. 中国普外基础与临床杂志, 2020, 27(8):964-969.
- [16] CALDER P C. Intravenous lipid emulsions to deliver bioactive $\omega-3$ fatty acids for improved patient outcomes[J/OL]. Mar Drugs, 2019, 17(5):274[2022-03-30]. <https://doi.org/10.3390/md17050274>.
- [17] 俞庆华,王兴旺,战侯飞. $\omega-3$ 鱼油脂肪乳联合早期肠内营养对重型颅脑创伤病人肠道功能及近期预后的影响[J]. 临床外科杂志, 2020, 28(3):240-242.
- [18] YU J, LIU L, ZHANG Y, et al. Effects of $\omega-3$ fatty acids on patients undergoing surgery for gastrointestinal malignancy: a systematic review and meta-analysis[J/OL]. BMC Cancer, 2017, 17(1):271[2022-03-30]. <https://doi.org/10.1186/s12885-017-3248-y>.
- [19] SHAO J, WANG H X, YUAN G L, et al. Involvement of the arachidonic acid cytochrome P450 epoxygenase pathway in the proliferation and invasion of human multiple myeloma cells[J/OL]. Peer J, 2016, 4: e1925[2022-03-30]. <https://doi.org/10.7717/peerj.1925>.
- [20] 刘速速,周庆礼,孙华,等. 神经酸的功能及提纯工艺研究进展[J]. 中国油脂, 2019, 44(10):142-146.
- [21] HASSALL C H, KIRTLAND S J. Dihomo- γ -linolenic acid reverses hypertension induced in rats by diets rich in saturated fat[J]. Lipids, 1984, 19(9):699-703.
- [22] HASSAM A G, CRAWFORD M A. The incorporation of orally administered radiolabeled dihomogamma-linolenic acid (20:3 ω 6) into rat tissue lipids and its conversion to arachidonic acid[J]. Lipids, 1978, 13(11):801-803.
- [23] CAO J M, BLOND J P, JUANEDA P, et al. Effect of low levels of dietary fish oil on fatty acid desaturation and tissue fatty acids in obese and lean rats[J]. Lipids, 1995, 30(9):825-832.