

DHA 营养强化鸡蛋与普通鸡蛋蛋黄脂质组成对比分析

李子睦, 宗 蕾, 毕艳兰, 袁方博

(河南工业大学 粮油食品学院, 郑州 450001)

摘要:以 DHA 营养强化鸡蛋及普通鸡蛋为原料, 将鸡蛋煮熟后取出蛋黄, 以体积比 2:1 的氯仿-甲醇提取其中的脂质, 分析总脂质含量、磷脂含量、总脂质的脂肪酸组成、磷脂的脂肪酸组成及分布以及中性脂(甘三酯和甘二酯)的脂肪酸组成及分布。结果表明: DHA 营养强化鸡蛋蛋黄中的总脂质含量((29.28 ± 1.70)%)与普通鸡蛋((32.46 ± 0.34)%)无显著性差异($P > 0.05$), 总脂质中磷脂含量((102.13 ± 1.57) mg/g)与普通鸡蛋((96.44 ± 2.44) mg/g)无显著性差异($P > 0.05$), DHA 营养强化鸡蛋总脂质中 DHA 含量((11.14 ± 0.18)%)远超普通鸡蛋((0.14 ± 0.00)%), 且 DHA 在磷脂中的含量((13.60 ± 0.64)%)高于总脂质, 在甘三酯((5.09 ± 0.18)%)及甘二酯((1.88 ± 1.13)%)等中性脂中含量较少; 从空间位置分布来看, DHA 在磷脂中各位置的分布无显著性差异, 且 DHA 营养强化鸡蛋具有更佳的 $\omega-3/\omega-6$ 比值。

关键词: DHA; 营养强化鸡蛋; 磷脂; 脂质; 脂肪酸组成; 脂肪酸分布

中图分类号: TS201.4; TS201.2 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2021)02-0036-06

Comparison of lipid between DHA fortified eggs and ordinary eggs

LI Zimu, ZONG Lei, BI Yanlan, YUAN Fangbo

(College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Using DHA fortified eggs and ordinary eggs as raw materials, the eggs were cooked and the yolks were taken out, and the lipids were extracted with chloroform-methanol (volume ratio 2:1), and then the total lipid content, phospholipid content, fatty acid composition of total lipid and fatty acid composition and distribution of phospholipids and neutral lipids (triglycerides and diglycerides) were analyzed. The results showed that the total lipid content ((29.28 ± 1.70)%) in the yolk of DHA fortified eggs was not significantly different from that of ordinary eggs ((32.46 ± 0.34)%) ($P > 0.05$), and the phospholipid content ((102.13 ± 1.57) mg/g) in the total lipid of DHA fortified eggs yolk was not significantly different from that of ordinary eggs ((96.44 ± 2.44) mg/g) ($P > 0.05$). DHA content ((11.14 ± 0.18)%) in total lipids of DHA fortified eggs was much higher than that in ordinary eggs ((0.14 ± 0.00)%), and DHA content ((13.60 ± 0.64)%) in the phospholipids was higher than that in the total lipids, and the DHA content in neutral lipids such as triglycerides ((5.09 ± 0.18)%) and diglycerides ((1.88 ± 1.13)%) was less. From the spatial distribution, there was no significant difference in the distribution of DHA in phospholipids, and DHA fortified eggs had a better $\omega-3/\omega-6$ ratio.

Key words: DHA; fortified egg; phospholipid; lipid; fatty acid composition; fatty acid distribution

收稿日期: 2020-10-08; 修回日期: 2020-11-24

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31671818)

作者简介: 李子睦(1996), 男, 在读硕士, 研究方向为脂质化学与品质(E-mail)957256010@qq.com。

通信作者: 毕艳兰, 教授(E-mail)bylzry@126.com。

二十二碳六烯酸(DHA)属于 $\omega-3$ 型多不饱和脂肪酸, 不仅可以抑制血液凝聚, 降血脂, 预防心脑血管病、血栓及阿尔茨海默病等^[1-4], 而且还具有抗癌^[5-6]、抗炎、抗过敏^[7-8]等生理作用, 同时也是大脑和视网膜组织中含有最高的 $\omega-3$ 型多不饱和脂肪酸^[9]。目前市场上销售的 DHA 产品主要有乙酯

型、甘油三酯型以及磷脂型,其中磷脂型 DHA 在改善多因子神经性退行疾病方面更高效且更容易被吸收,生物利用度更高^[10-11]。

中国营养学会于2014年《中国居民膳食营养素参考摄入量》中提出,EPA(二十碳五烯酸)和DHA的适宜摄入总量为0.25 g/d,DHA摄入量至少为0.2 g/d,目前中国成年人人均DHA和EPA摄入总量仅37.6 mg/d,远低于推荐摄入量。鱼类是日常膳食中DHA的主要来源,但是由于饮食习惯存在差异性,仅以水产品摄入DHA难以达标,因此可以通过改变动物源性产品中脂肪酸的比例,即 $\omega-3$ 型多不饱和脂肪酸的富集来提高其促进健康的特性^[12-13]。鸡蛋作为一种价廉质优的高蛋白食品,深受我国广大居民青睐,其蛋黄中脂质含量约30%,含有较多的磷脂,所以近年来富含 $\omega-3$ 型多不饱和脂肪酸的鸡蛋逐渐成为研究热点,且多集中于通过饲料喂养生产DHA营养强化鸡蛋,作为一种可以解决我国居民DHA摄入量不足的方式而受到广泛关注。

赵英才等^[14]研究发现,市售DHA蛋黄粉中磷脂的DHA含量(11.64%)比总脂质的DHA含量(6.20%)高,且磷脂中sn-2位的DHA含量(18.84%)远超过sn-1位含量(1.91%),但其未对甘油三酯等中性脂部分进行分析。Jia等^[15]对以海藻油和鱼油为添加剂(添加量以DHA计为5 mg/g)的饲料喂养生产的鸡蛋的脂肪酸组成及感官品质进行了分析,发现鸡蛋蛋黄脂质中DHA含量均由2.67%分别上升至11.89%和13.51%,且鸡蛋的感官评分无显著性变化($P>0.05$),说明DHA营养强化鸡蛋在提升营养的同时并不会对其食用感官评价存在影响。目前尚缺乏对DHA营养强化鸡蛋的中性脂及极性脂中DHA含量以及DHA在极性脂及中性脂中的空间位置分布分析的比对研究。

本研究以普通鸡蛋及DHA营养强化鸡蛋为原料,对鸡蛋蛋黄中总脂质及磷脂含量进行分析,同时提取鸡蛋蛋黄中的脂质进行总脂质、中性脂、极性脂的脂肪酸组成分析以及DHA在中性脂和极性脂的空间位置排布分析,以期为更好地开发DHA营养强化鸡蛋提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

DHA营养强化鸡蛋,临沂友康生物科技有限公司;普通鸡蛋,郑州市永辉超市。

甲醇、氯仿、正己烷、乙醚、三氟化硼乙醚、无水硫酸钠、2',7'-二氯荧光素,均为分析纯;薄层层析硅胶,化学纯;猪胰脂酶,自制;磷脂酶A₂,郑州贝莱德生物科技有限公司。

1.1.2 仪器与设备

DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器,巩义市予华仪器有限责任公司;BSA224S分析天平(0.0001 g),赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;DL-1万用电炉,北京中兴伟业仪器有限公司;IKA-RV8旋转蒸发仪,德国IKA公司;Agilent 6890N气相色谱分析仪,美国安捷伦公司;TDL-80-2B低速台式离心机,上海安亭科学仪器厂;LD5-10高速离心机,北京京立离心机有限公司;RS-4旋片式真空泵,上海树立仪器仪表有限公司;TU-1810紫外可见分光光度计,北京普斯通用仪器有限责任公司。

1.2 实验方法

1.2.1 蛋黄中总脂质含量的测定及提取

取30枚鸡蛋煮熟,将蛋黄剥离并置于2000 mL烧杯中,用玻璃棒捣碎搅拌使其分散均匀。蛋黄中脂质采用溶剂浸泡法提取,溶剂为氯仿-甲醇(体积比2:1),具体操作参考文献[16]。将提取的脂质于105℃烘箱中加热至恒重,计算总脂质含量。另采用与上述相同的方法提取脂质,粗提物经离心过滤(转速5000 r/min离心10 min)后进行真空旋蒸脱溶(50℃,真空度10 Pa),然后真空除水,得到脂质,冷藏(-15℃)储存备用。

1.2.2 蛋黄总脂质中磷脂含量的测定

参考GB/T 5537—2008《粮油检验 磷脂含量的测定》进行测定。

1.2.3 蛋黄中总脂质各组分的分析

1.2.3.1 TLC法分离制备总脂质中各组分

取200 mg按1.2.1方法提取的脂质,用1 mL正己烷溶解,用点样针吸取溶液点到20 cm×20 cm的硅胶板,取出晾干,用2',7'-二氯荧光素显色后分别刮下相应甘油三酯、甘油二酯、甘油一酯、游离脂肪酸和磷脂条带,置于15 mL试管中,备用进行后续分析。每种样品均由10块硅胶板收集制得。

1.2.3.2 脂肪酸组成分析

脂肪酸组成分析包括总脂质、甘油二酯、甘油三酯和磷脂的脂肪酸组成分析。参考GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》对样品进行甲酯化,再采用气相色谱法测定脂肪酸组成,气相色谱条件参考Bootello等^[17]的研究,采用面积归

一化法对脂肪酸进行定量。

1.2.3.3 磷脂的 sn-1、sn-2 位脂肪酸组成分析

利用乙醚对 1.2.3.1 制得的磷脂硅胶条带进行萃取,真空旋蒸脱溶(条件同 1.2.1)后得到磷脂组分。取 50 mg 磷脂于 10 mL 圆底烧瓶中,加入 1 mL 乙醚、1 mL 缓冲液(0.5 mol/L Tris 缓冲溶液,3 mmol/L CaCl₂, pH 8.0)和 1 g 磷脂酶 A₂, 32 °C 恒温振荡反应 15 h^[18]。去除反应体系中的乙醚(采用氮吹的方式挥干反应体系中的乙醚),用三氯甲烷-甲醇(体积比 2:1)提取脂质,对提取的脂质进行薄层色谱层析,分离 sn-1 位溶血磷脂,三氟化硼-乙醚甲酯化(具体操作参考 GB 5009.16—2016)后采用气相色谱分析磷脂 sn-1 位的脂肪酸组成。磷脂 sn-2 位脂肪酸含量按式(1)计算。

$$C_2 = 2 \times C_0 - C_1 \quad (1)$$

式中: C_2 为磷脂 sn-2 位脂肪酸含量; C_0 为磷脂总脂肪酸含量; C_1 为磷脂 sn-1 位脂肪酸含量。

1.2.3.4 甘油酯的 sn-2 位脂肪酸组成测定

参照毕艳兰等^[19]的方法进行测定。

1.2.4 数据处理

使用线性拟合软件 Origin 8.5 软件来分析数据之间的线性关系。所有实验数据都用“平均值 ± 标准偏差”的形式表示,每组实验都至少有两个平行样,并且通过方差分析。样品组间的差异用 SPSS 16.0 Duncan 软件进行显著性分析来确定, $P < 0.05$ 时则认为差异显著。

2 结果与讨论

2.1 蛋黄中总脂质含量(见表 1)

表 1 蛋黄中总脂质含量

样品	总脂质含量/%
DHA 营养强化鸡蛋蛋黄	29.28 ± 1.70 ^a
普通鸡蛋蛋黄	32.46 ± 0.34 ^a

注:同列肩标小写字母不同表示组间差异显著($P < 0.05$)。

由表 1 可知,DHA 营养强化鸡蛋蛋黄与普通鸡蛋蛋黄中的总脂质含量无显著差异($P > 0.05$),分别为(29.28 ± 1.70)%和(32.46 ± 0.34)%。

2.2 蛋黄总脂质中磷脂含量(见表 2)

表 2 蛋黄总脂质中磷脂含量

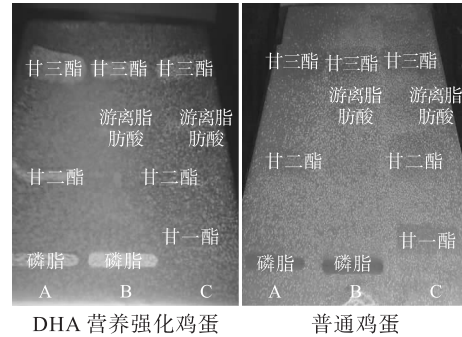
样品	磷脂含量/(mg/g)	磷含量/(mg/100 g)
DHA 蛋黄脂质	102.13 ± 1.57 ^a	388.18 ± 1.57 ^a
普通蛋黄脂质	96.44 ± 2.44 ^a	366.55 ± 9.27 ^a

注:同列肩标小写字母不同表示组间差异显著($P < 0.05$)。

由表 2 可知,DHA 营养强化鸡蛋蛋黄与普通鸡蛋蛋黄总脂质中的磷脂含量无显著性差异($P > 0.05$)。

2.3 蛋黄总脂质中的组分

2.3.1 蛋黄总脂质的定性分析(见图 1)



注:A 为蛋黄总脂质;B 为大豆磷脂及甘油酯的混合物标品;C 为甘油酯及脂肪酸的混合物标品。

图 1 蛋黄总脂质的薄层色谱图

由图 1 可知,由蛋黄提取得到的脂质中主要为甘油酯、甘油二酯和磷脂,几乎不含甘油一酯和游离脂肪酸(后续不再对甘油一酯及游离脂肪酸进行分析)。

2.3.2 蛋黄总脂质的脂肪酸组成(见表 3)

表 3 蛋黄总脂质的脂肪酸组成及含量

项目	DHA 蛋黄脂质	普通蛋黄脂质
脂肪酸/%		
肉豆蔻酸(C14:0)	0.46 ± 0.01 ^a	0.44 ± 0.01 ^a
棕榈酸(C16:0)	29.48 ± 0.01 ^a	25.60 ± 0.14 ^b
棕榈油酸(C16:1 ω9)	2.11 ± 0.01 ^b	5.76 ± 0.00 ^a
硬脂酸(C18:0)	8.95 ± 0.01 ^a	6.36 ± 0.01 ^b
油酸(C18:1 ω9)	26.81 ± 0.05 ^b	50.14 ± 0.02 ^a
亚油酸(C18:2 ω6)	15.26 ± 0.06 ^a	9.99 ± 0.14 ^b
亚麻酸(C18:3 ω3)	ND	0.28 ± 0.01
二十碳酸(C20:0)	0.59 ± 0.01	ND
AA(C20:4 ω6)	1.60 ± 0.02 ^a	0.62 ± 0.01 ^b
DPA(C 22:5 ω6)	1.21 ± 0.02 ^a	0.17 ± 0.00 ^b
DHA(C22:6 ω3)	11.14 ± 0.18 ^a	0.14 ± 0.00 ^b
其他	2.39 ± 0.02 ^a	0.50 ± 0.02 ^b
SFA	39.48 ± 0.03 ^a	32.40 ± 0.13 ^b
UFA	58.13 ± 0.02 ^b	67.10 ± 0.05 ^a
ω-3 PUFA	11.14 ± 0.18 ^a	0.42 ± 0.01 ^b
ω-6 PUFA	18.07 ± 0.10 ^a	10.78 ± 0.13 ^b
ω-6/ω-3	1.62 ± 0.03 ^b	25.72 ± 0.67 ^a

注:SFA 为饱和脂肪酸,UFA 为不饱和脂肪酸,PUFA 为多不饱和脂肪酸,AA 为花生四烯酸;ND 为未检出。同行肩标小写字母不同表示组间差异显著($P < 0.05$)。下同

由表 3 可知,蛋黄总脂质的饱和脂肪酸主要为棕榈酸和硬脂酸,不饱和脂肪酸中含量最高的为油酸。DHA 营养强化鸡蛋蛋黄总脂质中的 DHA 含量为(11.14 ± 0.18)%,远超过普通鸡蛋,约为普通鸡蛋的 80 倍,油酸含量约为普通鸡蛋的一半,且 ω-3 型多不饱和脂肪酸含量约为普通鸡蛋的 25 倍,也因此 DHA 营养强化鸡蛋具有更加优良的 ω-3/ω-6

比值(现代社会出于均衡饮食应保持 $\omega-3/\omega-6$ 比例为1:1)。这一测定结果介于赵英才等^[15]与Jia等^[16]的研究结果之间,其产生差异的原因可能是鸡的生长环境与饲料的差异造成的。

2.3.3 蛋黄总脂质中磷脂的脂肪酸组成(见表4)

由表4可知:蛋黄磷脂中饱和脂肪酸含量相较于总脂质(表3)中均显著上升,尤其是DHA营养强化鸡蛋,其磷脂中的棕榈酸含量为(43.01±0.48)%,饱和度高于普通鸡蛋。蛋黄磷脂中不饱和脂肪酸含量相较于总脂质显著下降,主要是单不饱和脂肪酸油酸含量下降,DHA营养强化鸡蛋蛋黄磷脂中油酸含量约下降为总脂质中的一半。蛋黄磷脂中DHA含量相较于总脂质均显著上升,DHA营养强化鸡蛋蛋黄磷脂中DHA含量为(13.60±0.64)%,普通鸡蛋蛋黄磷脂中DHA含量为(0.43±0.05)%,且DHA营养强化鸡蛋蛋黄磷脂中的 $\omega-3/\omega-6$ 比值也优于普通鸡蛋。

表4 蛋黄总脂质中磷脂的脂肪酸组成及含量

项目	DHA 蛋黄磷脂	普通蛋黄磷脂
脂肪酸/%		
棕榈酸(C16:0)	43.01±0.48 ^a	33.14±0.00 ^b
棕榈油酸(C16:1 ω 9)	ND	2.07±0.07
硬脂酸(C18:0)	17.12±0.07 ^a	18.14±0.08 ^a
油酸(C18:1 ω 9)	12.92±0.21 ^b	34.89±0.08 ^a
亚油酸(C18:2 ω 6)	9.83±0.07 ^a	7.88±0.07 ^b
AA(C20:4 ω 6)	1.77±0.08 ^b	2.54±0.17 ^a
DPA(C22:5 ω 6)	1.75±0.11 ^a	0.17±0.01 ^b
DHA(C22:6 ω 3)	13.60±0.64 ^a	0.43±0.05 ^b
其他	ND	0.75±0.07 ^a
SFA	60.13±0.55 ^a	51.28±0.07 ^b
UFA	39.87±0.55 ^b	47.97±0.14 ^a
$\omega-3$ PUFA	13.60±0.64 ^a	0.43±0.05 ^b
$\omega-6$ PUFA	13.35±0.12 ^a	10.58±0.11 ^a
$\omega-6/\omega-3$	0.98±0.04 ^b	24.67±2.63 ^a

2.3.4 蛋黄中中性脂(甘三酯和甘二酯)的脂肪酸组成(见表5)

表5 蛋黄总脂质中甘三酯和甘二酯的脂肪酸组成及含量

项目	DHA 蛋黄甘三酯	普通蛋黄甘三酯	DHA 蛋黄甘二酯	普通蛋黄甘二酯
脂肪酸/%				
肉豆蔻酸(C14:0)	0.57±0.16 ^a	0.46±0.05 ^{ab}	0.68±0.02 ^a	0.28±0.01 ^b
棕榈酸(C16:0)	30.13±0.03 ^a	27.13±0.03 ^b	16.50±1.08 ^c	10.20±0.18 ^d
棕榈油酸(C16:1 ω 9)	1.97±0.01 ^c	4.96±0.02 ^a	1.99±0.13 ^c	4.00±0.09 ^a
硬脂酸(C18:0)	7.99±0.02 ^b	6.12±0.02 ^c	17.02±0.32 ^a	8.43±0.01 ^b
油酸(C18:1 ω 9)	34.38±0.06 ^c	51.94±0.10 ^b	48.34±1.91 ^b	64.29±0.63 ^a
亚油酸(C18:2 ω 6)	18.13±0.07 ^a	8.59±0.07 ^b	10.26±1.93 ^b	11.50±0.25 ^b
亚麻酸(C18:3 ω 3)	ND	0.22±0.03 ^a	ND	0.19±0.02 ^a
二十碳酸(C20:0)	0.17±0.01 ^b	ND	0.48±0.02 ^a	ND
AA(C20:4 ω 6)	0.86±0.01 ^a	0.20±0.01 ^c	0.61±0.26 ^{ab}	0.40±0.03 ^b
DPA(C22:5 ω 6)	0.55±0.00 ^b	ND	1.30±0.14 ^a	0.28±0.02 ^c
DHA(C22:6 ω 3)	5.09±0.18 ^a	ND	1.88±1.13 ^b	ND
其他	0.17±0.04 ^b	0.39±0.12 ^b	0.95±0.00 ^a	0.44±0.01 ^b
SFA	38.86±0.17 ^a	33.71±0.06 ^b	34.68±1.39 ^b	18.90±0.20 ^c
UFA	60.96±0.21 ^c	65.90±0.06 ^b	64.37±1.39 ^b	80.66±0.22 ^a
$\omega-3$ PUFA	5.09±0.18 ^a	0.22±0.03 ^c	1.88±1.13 ^b	0.19±0.02 ^c
$\omega-6$ PUFA	19.54±0.08 ^a	8.78±0.08 ^c	12.16±2.05 ^b	12.18±0.31 ^b
$\omega-6/\omega-3$	3.84±0.12 ^d	40.41±5.03 ^a	7.47±3.37 ^c	65.14±5.52 ^b

由表5可知:DHA营养强化鸡蛋蛋黄脂质中甘三酯及甘二酯的饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸比例约为2:3,甘三酯中的DHA含量相较于总脂质(表3)显著下降,仅为(5.09±0.18)%,甘二酯中含量最高的是油酸,为(48.34±1.91)%,DHA含量仅为(1.88±1.13)%;普通鸡蛋蛋黄脂质中甘三酯及甘二酯的不饱和脂肪酸含量均高于饱和脂肪酸含量,其中 $\omega-3$ 型多不饱和脂肪酸含量均小于0.5%,且二者均不含DHA。

2.3.5 蛋黄脂质中甘三酯及磷脂的脂肪酸空间位置(见表6、表7)

表6 蛋黄脂质中甘三酯的sn-2位脂肪酸组成

项目	DHA 蛋黄甘三酯	普通蛋黄甘三酯
脂肪酸/%		
棕榈酸(C16:0)	5.68±0.47 ^a	5.95±0.13 ^a
棕榈油酸(C16:1 ω 9)	1.15±0.03 ^b	3.65±0.17 ^a
硬脂酸(C18:0)	7.01±0.24 ^a	4.66±0.13 ^b
油酸(C18:1 ω 9)	33.79±0.06 ^b	62.90±0.19 ^a
亚油酸(C18:2 ω 6)	45.69±0.59 ^a	21.94±0.11 ^b

续表 6

项目	DHA 蛋黄甘三酯	普通蛋黄甘三酯
脂肪酸/%		
亚麻酸(C18:3 ω 3)	ND	0.33 \pm 0.05
二十碳酸(C20:0)	0.34 \pm 0.02	ND
AA(C20:4 ω 6)	0.88 \pm 0.01 ^a	0.33 \pm 0.04 ^b
DPA(C22:5 ω 6)	0.32 \pm 0.01	ND
DHA(C22:6 ω 3)	4.60 \pm 0.14	ND
其他	0.55 \pm 0.07 ^a	0.24 \pm 0.01 ^b
SFA	13.03 \pm 0.70 ^a	10.61 \pm 0.26 ^a
UFA	86.42 \pm 0.63 ^a	89.15 \pm 0.27 ^a
ω -3 PUFA	4.60 \pm 0.14 ^a	0.33 \pm 0.05 ^b
ω -6 PUFA	46.88 \pm 0.58 ^a	22.27 \pm 0.15 ^b
ω -6/ ω -3	10.20 \pm 0.19 ^b	67.72 \pm 10.88 ^a

表 7 蛋黄脂质中磷脂的 sn-1 位及 sn-2 位脂肪酸组成及含量

项目	DHA 蛋黄磷脂		普通蛋黄磷脂	
	sn-1	sn-2	sn-1	sn-2
脂肪酸/%				
棕榈酸(C16:0)	37.10 \pm 0.87 ^b	48.92 \pm 0.08 ^a	34.47 \pm 0.10 ^b	31.81 \pm 0.11 ^b
棕榈油酸(C16:1 ω 9)	ND	ND	2.40 \pm 0.09 ^a	1.73 \pm 0.23 ^a
硬脂酸(C18:0)	24.98 \pm 1.14 ^a	9.27 \pm 0.99 ^c	17.58 \pm 0.20 ^b	18.70 \pm 0.36 ^b
油酸(C18:1 ω 9)	13.78 \pm 1.90 ^c	12.06 \pm 2.32 ^c	31.58 \pm 0.32 ^b	38.21 \pm 0.15 ^a
亚油酸(C18:2 ω 6)	6.57 \pm 2.34 ^b	13.09 \pm 2.21 ^a	10.01 \pm 0.05 ^a	5.74 \pm 0.20 ^b
AA(C20:4 ω 6)	1.25 \pm 0.11 ^b	2.29 \pm 0.05 ^a	2.88 \pm 0.08 ^a	2.19 \pm 0.26 ^a
DPA(C22:5 ω 6)	3.33 \pm 0.21 ^a	0.17 \pm 0.01 ^b	0.16 \pm 0.01 ^b	0.18 \pm 0.01 ^b
DHA(C22:6 ω 3)	12.86 \pm 2.14 ^a	14.35 \pm 0.85 ^a	0.50 \pm 0.01 ^b	0.37 \pm 0.09 ^b
其他	ND	ND	0.42 \pm 0.16 ^a	1.07 \pm 0.30 ^a
SFA	62.07 \pm 2.01 ^a	58.18 \pm 0.91 ^a	52.05 \pm 0.10 ^b	50.52 \pm 0.25 ^b
UFA	37.93 \pm 2.01 ^b	41.82 \pm 0.91 ^b	47.53 \pm 0.26 ^a	48.41 \pm 0.55 ^a
ω -3 PUFA	12.86 \pm 2.14 ^a	14.35 \pm 0.85 ^a	0.50 \pm 0.01 ^b	0.37 \pm 0.09 ^b
ω -6 PUFA	11.29 \pm 2.02 ^{ab}	15.41 \pm 2.27 ^a	13.05 \pm 0.14 ^a	8.11 \pm 0.07 ^b
ω -6/ ω -3	0.90 \pm 0.31 ^b	1.08 \pm 0.22 ^b	26.26 \pm 0.02 ^a	22.91 \pm 5.73 ^a

3 结论

DHA 营养强化鸡蛋与市售普通鸡蛋对比分析结果表明,DHA 营养强化鸡蛋蛋黄中的脂质含量和脂质中的磷脂含量与市售普通鸡蛋均无显著性差异($P > 0.05$)。DHA 营养强化鸡蛋总脂质中 DHA 含量远超市售普通鸡蛋,为(11.14 \pm 0.18)% ,且 DHA 在磷脂中含量高于总脂质中含量,为(13.60 \pm 0.64)% ,在甘三酯以及甘二酯等中性脂中含量较少,分别为(5.09 \pm 0.18)% 和(1.88 \pm 1.13)% 。从空间位置分布来看,DHA 在磷脂中各位置上的含量无显著性差异,值得关注的是 DHA 营养强化鸡蛋的 ω -3/ ω -6 比值远优于市售普通鸡蛋,有关 DHA 营养强化鸡蛋的深入开发不失为一个补充膳食 DHA(经换算后一天吃一枚 DHA 营养强化鸡蛋即可达到 DHA 推荐摄入量)及平衡 ω -3、 ω -6 型多不饱和脂肪酸摄入比例的新途径。

由表 6、7 可知:不同鸡蛋蛋黄脂质中甘三酯的 sn-2 位脂肪酸组成中的不饱和脂肪酸含量无显著性差异($P > 0.05$),均接近 90%,且主要为油酸和亚油酸,DHA 营养强化鸡蛋蛋黄脂质中甘三酯的 sn-2 位 DHA 含量为(4.60 \pm 0.14)% ,而普通鸡蛋则未检出;DHA 营养强化鸡蛋蛋黄脂质中磷脂的 ω -3 型多不饱和脂肪酸在 sn-1 位及 sn-2 位上的含量无显著性差异($P > 0.05$),DHA 含量也无显著性差异($P > 0.05$),普通鸡蛋蛋黄脂质中磷脂也有相同的规律。

参考文献:

- [1] NASOPOULOU C, ZABETAKIS I. Benefits of fish oil replacement by plant originated oils in compound - ded fish feeds. A review [J]. LWT - Food Sci Technol, 2012, 47 (2):217 - 224.
- [2] STROM M, HALLDORSSON T I, MORTENSEN E L, et al. Fish, n -3 fatty acids, and cardiovascular diseases in women of reproductive age: a prospective study in a large national cohort[J]. Hypertension, 2012, 59(1):36 - 43.
- [3] FERGUSON L R. Fish - meal diet enriched with ω -3 PUFA and treatment of canine chronic enteropathies[J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2012, 114(4):372 - 374.
- [4] AGREN J J, HÄNNINEN O, JULKUNEN A, et al. Fish diet, fish oil and docosahexaenoic acid rich oil lower fasting and postprandial plasma lipid levels[J]. Eur J Clin Nutr, 1996, 50(11):765 - 771.
- [5] 尹勇,何裕隆,蔡世荣,等. 二十碳五烯酸(EPA)对胃癌细胞增殖与凋亡的影响[J]. 中华临床营养杂志, 2012, 20(2):88 - 92.

(下转第 47 页)

- storage[J]. J Agric Food Chem, 1999, 47(8): 3050–3052.
- [16] MIN D B, BOFF J M. Chemistry and reaction of singlet oxygen in foods[J]. Compr Rev Food Sci Food Safety, 2002, 1(2): 58–72.
- [17] XU B, ZHOU S L, MIAO W J, et al. Study on the stabilization effect of continuous microwave on wheat germ[J]. J Food Eng, 2013, 117(1): 1–7.
- [18] GALLIARD T. Hydrolytic and oxidative degradation of lipids during storage of whole meal flour: effects of bran and germ components[J]. J Cereal Sci, 1986, 4(2): 179–192.
- [19] MONSOOR M A, PROCTOR A. Relative FFA formation and lipid oxidation of commercially milled unseparated, head, and broken rice[J]. J Am Oil Chem Soc, 2003, 80(12): 1183–1186.
- [20] THEORELL H, HOLMAN R, AKESON A. A note on the preparation of crystalline soy bean lipoxidase[J]. Arch Biochem, 1947, 14(1/2): 250–252.
- [21] LI B, ZHAO L, CHEN H, et al. Inactivation of lipase and lipoxygenase of wheat germ with temperature – controlled short wave infrared radiation and its effect on storage stability and quality of wheat germ oil[J/OL]. Plos One, 2016, 11(12): e0167330 [2020–03–29]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167330>.
- [22] GALLIARD T. Oxygen consumption of aqueous suspensions of wheat wholemeal, bran and germ: involvement of lipase and lipoxygenase[J]. J Cereal Sci, 1986, 4(1): 33–50.
- [23] FURMANIAK S, TERZYK A P, GOLEMBIEWSKI R, et al. Searching the most optimal model of water sorption on foodstuffs in the whole range of relative humidity [J]. Food Res Int, 2009, 42(8): 1203–1214.
- [24] GOPALAKRISHNA K, KUMAR P R, PRAKASH V. Chemical modification of catalytic site of lipase from wheat germ: altered structure – activity profile [J]. Indian J Biochem Biophys, 2002, 39(1): 28–34.
- [25] RUAN R, CHEN P. Waters in foods and biological materials – a nuclear magnetic resonance approach [M]. Pennsylvania, Lancaster: Technomic Publishing Company, Inc., 1998: 75–91.
- [26] 陈成, 王晓曦, 马森, 等. 加水量对小麦调质过程水分状态变化的影响[J]. 粮食加工, 2016, 24(1): 1–5.
- [27] JENKINS G, FROHMAN M. Phospholipase D: a lipid centric review[J]. Cell Mol Life Sci, 2005, 62(19/20): 2305–2316.
-
- (上接第40页)
- [6] FUKUI M, KANG K S, OKADA K, et al. EPA, an *omega*-3 fatty acid, induces apoptosis in human pancreatic cancer cells: role of ROS accumulation, caspase-8 activation, and autophagy induction[J]. J Cell Biochem, 2013, 114(1): 192–203.
- [7] PALLARES V, CALAY D, CEDO L, et al. Enhanced anti-inflammatory effect of resveratrol and EPA in treated endotoxin-activated RAW 264.7 macrophages[J]. Brit J Nutr, 2012, 108(9): 1562–1573.
- [8] JAMES M J. Dietary polyunsaturated fatty acids and inflammatory mediator production [J]. Am J Clin Nutr, 2000, 34(1): 3–8.
- [9] FREUND L Y, BASUN H, CEDERHOLM T, et al. *Omega*-3 supplementation in mild to moderate Alzheimer's disease: effects on neuropsychiatric symptoms [J]. Int J Geriatr Psych, 2008, 23(2): 161–169.
- [10] WANG C C, GUO Y, ZHOU M M, et al. Comparative studies of DHA-enriched phosphatidylcholine and recombination of DHA-ethyl ester with egg phosphatidylcholine on ameliorating memory and cognitive deficiency in SAMP8 mice [J]. Food Funct, 2019, 10(2): 938–950.
- [11] 李响. 磷脂酶 A1 的固定化及其催化合成 DHA/EPA 型磷脂的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [12] BARFOUROOSHI H J, TOWHIDI A, SADEGHIPANAH H, et al. Effect of dietary fish oil on mammary gland development and milk production of Holstein cow[J]. Ann Anim Sci, 2018, 18(4): 973–990.
- [13] FRANCIZYK-ZARÓW M, SZYMCZYK B, KOSTOGRYS R B. Effects of dietary conjugated linoleic acid and selected vegetable oils or vitamin E on fatty acid composition of hen egg yolks[J]. Ann Anim Sci, 2019, 19(1): 173–178.
- [14] 赵英才, 于竹林, 李榕, 等. 二十二碳六烯酸营养强化鸡蛋及蛋黄粉中脂质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(15): 5052–5057.
- [15] JIA F, LONG S, ZHANG H J, et al. Comparative effects of dietary microalgae oil and fish oil on fatty acid composition and sensory quality of table eggs[J]. Poultry Sci, 2020, 99(3): 1734–1743.
- [16] 谢绿绿, 马美湖, 皮劲松, 等. 6 个品种鸡蛋黄中脂肪酸营养成分分析[J]. 营养学报, 2011, 33(5): 534–536.
- [17] BOOTELLO M A, RAFAEL G, ENRIQUE M F, et al. Dry fractionation and crystallization kinetics of high-oleic high-stearic sunflower oil [J]. J Am Oil Chem Soc, 2011, 88(10): 1511–1519.
- [18] BEPPU F, YASUDA K, OKADA A, et al. Comparison of the distribution of unsaturated fatty acids at the Sn-2 position of phospholipids and triacylglycerols in marine fishes and mammals [J]. J Oleo Sci, 2017, 66(11): 1217–1227.
- [19] 毕艳兰, 张根旺, 杨天奎, 等. 油脂酯交换过程中甘油三酯 Sn-2 位脂肪酸组成分析方法的改进研究[J]. 中国粮油学报, 2002, 17(4): 35–37.