

不同禽蛋蛋黄甘油三酯的脂质组学比较研究

王庆玲^{1,2}, 金永国¹, 卢士玲², 姬华², 马美湖¹

(1. 华中农业大学食品科技学院, 国家蛋品研发分中心, 湖北武汉 430000)

(2. 石河子大学食品学院, 新疆石河子 832003)

摘要: 甘油三酯 (TAG) 是禽蛋脂质的重要组成部分, 对禽蛋的贮藏及加工性能发挥重要影响。为了比较不同禽蛋脂质中 TAG 的分子结构类型及含量差异, 本研究利用液质联用技术, 利用大气压化学电离 (APCI) 模式、苯基-己基色谱柱完成了鸡蛋、鸭蛋和鹌鹑蛋蛋黄油脂中 TAG 分子结构的定性及定量分析。研究结果表明: 三种禽蛋 TAGs 中共检测到 35 种分子类型, 其中鸡蛋 35 种, 鸭蛋 35 种, 鹌鹑蛋 34 种。TAG 分子结构中含量最高的为 OPO, 其在鸡蛋、鸭蛋和鹌鹑蛋中含量在 34.52%~36.86% 之间; 此外, OOO, PLO, PPOo 及 POP 的含量也均大于 5%, 是禽蛋脂质含量较高的 TAG 分子类型。而 SGP 在禽蛋中的含量仅为 0.01%~0.03% 之间, OOG 则在鹌鹑蛋中未检出。气相色谱的脂肪酸验证表明液质联用对禽蛋 TAGs 的结构及含量分析是真实有效的。主成分分析 (PCA) 结果表明不同禽蛋在 PCA 得分图上区分显著, PLO、OLO、OOO、OPoO、POP 及 PPOo 对区分贡献率较大。

关键词: 禽蛋; 甘油三酯; 脂质组学

文章编号: 1673-9078(2017)2-210-216

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.2.032

Lipidomic Analysis of Egg Yolk Triglycerides in Different Poultry Eggs

WANG Qing-ling^{1,2}, JIN Yong-guo¹, LU Shi-ling², JI Hua², MA Mei-hu¹

(1. National Research and Development Center for Egg Processing, College of Food Science and Technology of Huazhong Agricultural University, Wuhan 430000, China) (2. Food College, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: Triglyceride (TAG) is an important component of egg lipids, and has great influence on egg storage and processing. In order to compare the differences in the molecular structure types and content of TAGs from different kinds of poultry eggs, qualitative and quantitative analysis of TAG molecular structures in the yolk lipids of chicken, duck, and quail eggs was conducted using high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (HPLC-MS/MS), in atmospheric pressure chemical ionization (APCI) mode with a single phenyl-hexyl column. A total of 35 types of TAGs were identified in three poultry eggs: 35 in chicken eggs, 35 in duck eggs, and 34 in quail eggs. The content of OPO (where O is oleic acid and P is palmitic acid) in the three poultry eggs was the highest (34.52%~36.86%), and the relative content of OOO, PLO (where L is linoleic acid), PPOo (where Po is palmitoleic acid), and POP were greater than 5% in all the samples. The SGP (where S is stearic acid and G is glycerol) content was between 0.01% and 0.03% in all eggs, and OOG was not detected in quail eggs. Verification by gas chromatography (GC) showed that the analysis of TAG structure and content with HPLC-MS/MS was valid and effective. The principal component analysis (PCA) results presented a significant distinction between different eggs, and the scores of PLO, OLO, OOO, OPoO, POP, and PPOo had a major contribution.

Key words: poultry egg; triglyceride; lipidomics

禽蛋脂质占蛋黄干重的 60% 以上, 是禽蛋的重要营养成分并可通过脂肪酸的 β -氧化为鸡胚发育提供能量^[1]。脂质组分主要存在于禽蛋蛋黄中, 由约 65% 的甘油三酯 (Triacylglycerol, TAG), 28~30% 的磷脂

(Phospholipid, PL) 和 4~5% 的胆固醇 (Cholesterol, CHOL) 组成^[2]。尽管磷脂在生物体中具有重要的生物学功能, 然而甘油三酯是禽蛋中含量最高的脂质组分, 由于在 TAG 甘油骨架上的脂肪酸碳数、双键数、双键位置和构象的差别, 使得甘油三酯数目庞大, 结构复杂, 且物理化学性质相似, 因此甘油三酯的轮廓分析是一项非常艰巨的任务。于禽蛋而言, TAG 甘油骨架上脂肪酸的差异会影响其理化性质, 而理化性质直接关系到禽蛋的食品加工性能^[3]。因此, 对禽蛋油脂中的甘油三酯分子结构的定性及定量是至关重要的。

早在 1971 年, Gornall 和 Kuksis 就通过分离后

收稿日期: 2015-12-22

基金项目: 石河子大学高层次人才启动项目 (RCZX201525); 石河子大学青年骨干教师培养计划 (3152SPXY04029); 华中农业大学学科交叉研究专项 (2662015JC003); 现代农业产业体系 (CARS-41-K23); 农业公益性行业专项 (201303084)

作者简介: 王庆玲 (1981-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 蛋品科学

通讯作者: 马美湖 (1957-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 畜产品加工

GC 测定的方法得到了蛋黄 LDL 的磷脂及胆固醇酯的分子种组成, 由于受到当时测定分析方法的限制, 并没有获得精确的酰基链上脂肪酸组成信息^[4]。随后分别有学者利用直接注入 ESI-MS 法测定了卵黄囊、饲料添加鸡蛋的磷脂分子结构^[5,6]。然而, 关于禽蛋油脂中 TAGs 分子结构的分析研究甚少。1973 年, 有学者通过酶解后 GC 测定的方法对包括火鸡蛋、鸭蛋、鹌鹑蛋在内的七种禽蛋 TAGs 的 Sn-2 脂肪酸进行测定, 发现 C18:2 和 C20:4 在酰基 2 位上含量丰富^[7]。这种方法需要对样品酶解后测定, 操作费时且测定的准确度不高。国内陈海文等比较了鸡蛋、鸭蛋及鹌鹑蛋蛋清、蛋黄及总蛋中 TAG 的含量^[8]。

脂质结构的分析鉴定是脂质组学研究最基础也是最根本的方面, 而质谱 (MS) 由于其快速, 高效, 高准确度, 操作简单已经成为脂质组学研究强有力的工具。为了全面系统的分析检测禽蛋脂质 TAG 的分子种类及相对含量, 尝试发现禽蛋中低丰度脂质分子种并比较不同禽蛋分子种的差异, 本研究欲借助 HPLC-MS/MS 手段以 APCI 为电离模式, 利用苯基己基混合模式 (D-phenyl-hexyl) 液相色谱柱对不同禽蛋中 TAG 的分子种进行定性及定量, 以期获得系统精确的禽蛋 TAG 分子种组成信息。

1 材料与方法

1.1 实验材料与仪器

1.1.1 原料

新鲜 (产蛋三日内) 鹌鹑蛋 (中国白羽鹌鹑) 和鸭蛋 (荆江麻鸭) 各 50 枚购于华中农业大学农贸市场 (武汉), 海兰褐壳蛋 50 枚购于九峰山禽蛋养殖基地 (武汉), 所有禽蛋样品置于 4 °C 冰箱中保存备用。

1.1.2 药品与试剂

本实验中 TAG 的名称简写为甘油骨架上连接的三个脂肪酸的名称。M-豆蔻酸 (14:0), P-棕榈酸 (16:0), S-硬脂酸 (18:0), O-油酸 (18:1), L-亚油酸 (18:2), γ -Ln-亚麻酸 (18:3), A-花生酸 (22:0), Lg-二十四烷酸 (24:0), Po-棕榈油酸 (16:1), Mo-十四碳一烯酸 (14:1)。

TAG 标准品分别为 LLL、LLP、POL、SOL、OOS、OOA、PPO、OOP、SOL、 γ -LnLnLn、PPL、SPO 及 SSO, 所有 TAG 标品均购于 Larodan Fine Chemical 公司, 溶解于正己烷配制成 5 mg/mL 贮备液置于 -20 °C 冰箱。进样前用流动相稀释为浓度 1 mg/mL。

1.1.3 主要仪器设备

Aglient 1200 HPLC 系统和 Q trap 4000 (AB

SCIEX, USA) 串联质谱系统 (Applied Biosystems, 美国), 质谱利用三重四级杆/线性离子阱 (API 4000 Q-Trap) 大气压化学电离接口连接。冷冻离心机 (3-30K, Sigma); 电子天平 (AR 2140, 梅特勒托利多仪器有限公司); 涡旋混匀仪 (QL-861, 海门市其林贝尔仪器设备有限公司); 旋转蒸发仪 (R201D, 巩义市英峪高科)。

1.2 实验方法

1.2.1 禽蛋脂质提取

参考 Folch^[9]方法进行: 1.0 g 样品加入 20 mL 氯仿:甲醇 (2:1, V/V) 溶液提取, 提取液收集有机层旋转蒸发浓缩至干, 称重并计算含油率。

1.2.2 TAGs 的 HPLC-MS/MS 测定

1.2.2.1 HPLC-MS 测定条件

油样先溶解于正己烷至浓度为 5 mg/mL, 混匀后用乙腈-甲醇 (1:1, V/V) 稀释至 0.06 mg/mL。过微孔滤膜后进样 5 μ L 进行 LC-MS 分析。

Agilent 1200 高效液相色谱仪, 配有 G1312 二元泵, G1379B 脱气装置, G1329A 自动进样器, G1316A 恒温控制器和紫外检测器 (G1314B)。D-phenyl-hexyl 液相色谱分离条件: Zorbax Eclipse Plus phenyl-hexyl 色谱柱 (150 mm \times 4.6 mm i.d., 5 μ m particle size, Agilent Technologies, USA)。流动相 A 为乙腈, 流动相 B 为甲醇, 梯度洗脱模式: 0.00~7.50 min 50%A (50%B), 7.50~8.00 min 50~28%A (50~72%B), 8.00~12.9 min 28%A (72%B), 12.90~13.00 min 28~50%A (72~50%B), 13.00~30.00 min 50%A (50%B), 流速 0.8 mL/min, 进样量 5 μ L, 柱温: 35 °C。

质谱条件: APCI 模式, 正离子扫描; 气帘气压 137.9 kPa; 碰撞气体, 中速; 喷雾电流, 27.58 kPa; 温度, 450 °C; 扫描模式, EMS 或 MRM (多元反应监测); 扫描速度, 4000 μ s⁻¹, 离子源气体气压 344.75 kPa; 辅助加热, 开启; 去簇电压, 90 V; 碰撞能量, 45 V; 碰撞电压摆幅 (Collision Energy Spread CES): 5 V; 碰撞室输出电压, 17 V; 扫描范围: 500~1000 m/z 。

1.2.2.2 TAG 的定性和定量

样品中 TAG 的定性利用 APCI 电离正离子模式通过 Analyst 1.5 软件 (Applied Biosystems) 对质谱图进行分析, 采用多反应监控-增强产物离子扫描 (MRM-EPI) 借助 $[M+NH_4]^+$ 离子和甘油二酯碎片离子 $[M+H-RiCOOH]^+$ 对蛋黄甘油三酯进行定量分析, 平均三次, 取峰面积的平均值。

TAG 分子种的定量采用响应因子法, 以甘油三酯 OOO 为基准, 将其响应因子 (RF) 设为 1, 其它单脂

肪酸甘油三酯的 RF 利用其标准曲线的斜率比 a_{000}/a_{TAG} 计算得到。将甘油三酯的 RF 按一定的规律绘制拟合曲线, 对于没有标准品的单脂肪酸甘油三酯, 其 RF 可以通过拟合曲线计算得到。混合脂肪酸甘油三酯的 RF 拟采用算数平均法计算得到:

$$RF_{PPO}=(2 \times RF_{PPP}+RF_{OOO})/3。$$

1.2.3 LC-MS/MS 结果的 GC 验证

将禽蛋油脂中甘油三酯进行甲酯化经 GC 分析, 计算各个脂肪酸的相对百分含量, 同时将 GC 结果与上述 MS 分析的甘油三酯中脂肪酸贡献加和值进行对比并验证。

GC (Agilent Technologies) 1100, FFAP 毛细管色谱柱 (Agilent, 30 m×0.25 mm×0.5 μm); FID 检测器。GC 测定条件如下: 氮气为载气, 进样口压力为 25 psi, 进样量 2 μL, 分流比 1:30。程序升温: 在初始温度 210 °C 保持 8 min, 然后以 20 °C/min 升温至 230 °C 并保持 8 min, 进样口和检测器温度分别保持在 250 °C 和 280 °C。

1.3 数据处理与统计分析

每组测定平行三次, 结果以 MEAN±SD 表示。脂质结构分析借助 Lipidsearch 数据库。禽蛋脂质中 TAG 分子种组成及质量信息的 LC-MS 数据进行 PCA 多元分析(The Unscrambler 9.7), 建立二维 PCA 得分图与负载图, 进行不同禽蛋的区分及 TAG 分子种贡献率的分辨。

2 结果与讨论

2.1 三种禽蛋脂质 TAG 分子种组成的分析及验证

2.1.1 不同禽蛋 TAG 分子种组成的分析

利用苯基-己基混合柱 LC-MS 方法对鸡蛋、鸭蛋及鹌鹑蛋蛋黄脂质的 TAG 分子种分析。对 LC-MS 测试数据进行定性和定量, 得到每种禽蛋中 TAGs 分子种的分布如表 1。

在三种禽蛋 TAGs 中共检测出 35 种分子类型, 其中鸡蛋 35 种, 鸭蛋 35 种, 鹌鹑蛋 34 种。从分子种的组成类别来看, 除了在鹌鹑蛋中未检测出 OOG 以外, 其它分子种在三种禽蛋中都有分布, 说明不同禽蛋 TAGs 的分子结构组成相似。从其含量来看, OPO 为三种禽蛋中含量最高的分子种, 其在鸡蛋、鸭蛋和鹌鹑蛋中的含量分别为 34.68%~36.54%、34.52%~35.09%和 35.08%~36.86%; 此外, OOO、PLO、PPOO 及 POP 的含量也均大于 5%, 是禽蛋中含量较高的 TAG 分子类型。而 SGP 在禽蛋中的含量仅为 0.01%~0.03%之间, OOG 在鸡蛋、鸭蛋中的含量也很低, 鹌鹑蛋中则未检出。诸如 PoOM、PoMO、PoPoP、OLM 和 PoPO 等分子种的含量均低于 0.5%。分析可知, 禽蛋 TAG 分子结构中 O (油酸)、P (棕榈酸)、L (亚油酸) 和 Po (棕榈油酸) 是含量较高的脂肪酸, 这与禽蛋脂肪酸分析的结果一致^[10]。禽蛋中含量较少的分子种为 PoOM、POMo、POPo、POL、OOL、OGP、SSO 和 OGO, 尤其是 SGP 和 OOG 的含量不足 0.1%。

2.1.2 HPLC-MS 数据验证

表 2 GC 法对 HPLC-MS 脂肪酸结果的验证

Table 2 Verification of HPLC-MS fatty acid results by GC

脂肪酸种类及缩写	脂肪酸相对百分含量/%								
	鸭蛋-1	鸭蛋-2	鸭蛋-3	鸡蛋-1	鸡蛋-2	鸡蛋-3	鹌鹑蛋-1	鹌鹑蛋-2	鹌鹑蛋-3
14:1 Mo	0.04	0.03	0.02	0.05	0.03	0.04	0.08	0.08	0.09
16:0 P	23.58	23.80	24.69	25.80	25.38	25.66	29.04	29.00	29.99
16:1 Po	4.68	4.08	4.15	5.80	5.33	5.12	7.34	7.56	6.73
18:1 O	59.39	59.98	59.77	54.49	55.76	55.54	52.88	51.97	51.53
18:2 L	7.84	7.65	7.22	10.10	9.56	9.48	6.75	7.28	7.31
20:1 G	0.33	0.42	0.34	0.13	0.15	0.16	0.11	0.10	0.11

表 3 GC 测定脂肪酸组成及相对百分含量

Table 3 Fatty acid composition and relative percentages based on GC analysis (%)

	C16:0	C16:1	C18:1	C18:2	C18:3	C20:1
鸭蛋	23.90	4.20	58.82	7.46		
鸡蛋	24.10	5.79	52.96	10.39	0.27	0.28
鹌鹑蛋	26.63	8.17	50.18	7.78		

表 2 是将 HPLC-MS 测定结果中每种脂肪酸的含量进行加和获得理论脂肪酸含量, 分别与三种禽蛋甘油三酯的 GC 测定结果 (见表 3) 进行对比。通过对比发现, HPLC-MS 中分子种的脂肪酸种类、含量与 GC 分析结果基本一致, 例如通过 LC-MS 分析获得鸭蛋 (D) 中的 C16:0 含量分别为 23.58%、23.80%和 24.69%, GC 分析获得结果为 23.90; 鸡蛋 (E) 中 LC-MS

测定结果 C18:1 含量为 54.49%、55.76%和 55.54%，而 GC 分析结果为 52.96%；鹌鹑蛋中测定得到 C18:2 含量为 6.75%、7.28%和 7.31%，GC 验证结果为 7.78%。通过 GC 验证说明 LC-MS 测定与分析的 TAGs 的分子种结果在允许的误差范围内，理论值与 GC 测定值在定性和定量上都无显著差异。

2.2 不同禽蛋 TAG 分子种的 PCA 分析

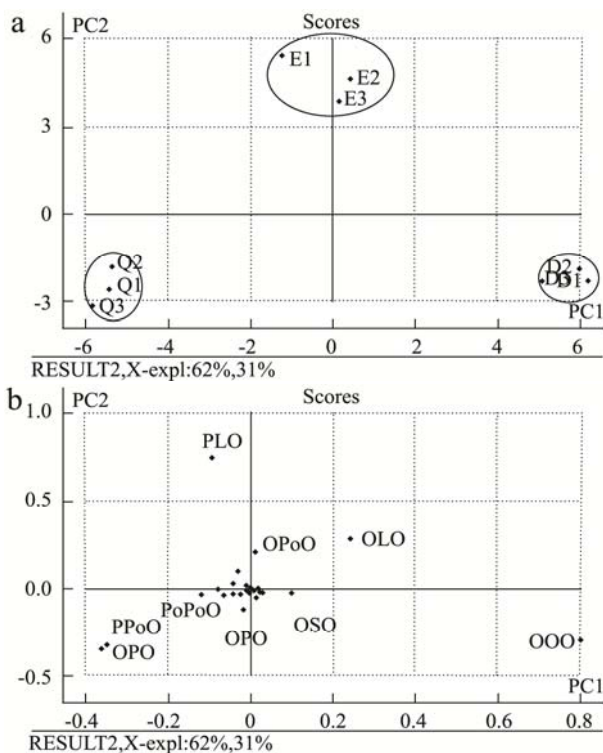


图1 不同禽蛋 TAGs 分子种分析的 PCA 图

Fig.1 Results of principal component analysis based on types of TAGs from different poultry eggs

注: a 表示得分图; b 表示负载图。

由表 1 可知三种常见禽蛋 TAGs 的分子种组成基本一致，但是每个分子种的含量存在差异，只通过数

据比较样本间的分子种差异是远远不够的，为了更直观的观察样本间的差异是否明显，本研究中利用主成分分析 (PCA) 来直观体现不同样本的差异 (见图 1)。

由图 1a 可知，主成分分析中 PC₁ 和 PC₂ 分别可以解释总变异的 62%和 31%，说明 PCA 分析可以较好的对数据样本进行阐释。样本 (D、E 和 Q) 在得分图上可以得到很好的区分，体现为不同样本分布在得分图的不同区域。其中样本 Q (Q₁、Q₂ 和 Q₃) 在 PC₁ 和 PC₂ 上都为负值，分布在得分图的左下角；样本 D (D₁、D₂ 和 D₃) 在 PC₁ 上为正值，在 PC₂ 上为负值，分布在得分图的右下角；而样本 E (E₁、E₂ 和 E₃) 在 PC₂ 上为正值，PC₁ 上则分布于中线两侧。图 1b 为 PCA 分析的负载图，从图中可知，在三种禽蛋 TAGs 分子种的区分中，PLO、OLO、OOO、OPoO、POP 及 PPoO 在不同禽蛋 TAGs 中差异显著 ($p < 0.05$)，对区分其重要作用。此外，结合 PCA 中样本与 TAG 分子种的分布可以看出，鸡蛋中含有较高含量的 PLO，鸭蛋中有高含量的 OOO，而鹌鹑蛋中的 PPoO 和 POP 较其它 2 种禽蛋含量高，这一结果与表 1 中的分析结果一致。

3 结论

以 APCI 为电离模式、利用苯基-己基柱为色谱柱对鸡蛋、鸭蛋及鹌鹑蛋蛋黄 TAG 进行单柱液质测试，定性及定量分析表明：鸡蛋、鸭蛋和鹌鹑蛋中分别检测出 35 种、35 种和 34 种 TAG 分子类型，OPO 是禽蛋中含量最高的分子种，在三种禽蛋中的含量在 34.52%~34.86%之间，其中 PPoO、PLO、OLO、POP、及 OOO 在禽蛋中含量均大于 5%，而 SGP 和 OOG 的含量则不足 0.1%。PCA 分析表明鸡蛋、鸭蛋及鹌鹑蛋 TAG 分子种组成类似，但是其含量差异显著。本研究为禽蛋脂质的营养组分研究提供基本理论依据。

表 1 禽蛋甘油三酯的 HPLC-APCI/MS 定性定量分析结果

Table 1 Qualitative and quantitative results (relative content, % *m/m*) of TAGs in poultry eggs by HPLC-APCI/MS

峰序号	TAGs	RT	DBs	ECN	RF	[M+NH ₄] ⁺ Q1	[DG] ⁺ Q3	鸭蛋-1	鸭蛋-2	鸭蛋-3	鸡蛋-1	鸡蛋-2	鸡蛋-3	鹌鹑蛋-1	鹌鹑蛋-2	鹌鹑蛋-3
1	PoOM	13.11	2	44	0.92	820.6	PoO 575.6	0.10	0.10	0.07	0.11	0.11	0.11	0.19	0.22	0.21
2	POMo	13.14	2	44	1.03	820.6	PO 577.6	0.11	0.08	0.06	0.14	0.10	0.11	0.23	0.24	0.26
3	PoPoP	13.17	2	44	0.92	820.5	PoP 549.6	0.22	0.20	0.15	0.18	0.17	0.17	0.42	0.52	0.51
4	PoLP	13.21	3	44	1.26	846.7	PoL 573.6	1.01	0.77	0.79	1.37	1.29	1.32	1.78	1.98	1.63
5	PoPoO	13.74	3	44	0.92	846.7	PoO 575.6	0.78	0.39	0.40	1.12	0.94	0.81	1.68	2.03	1.96
6	OLM	13.76	3	44	1.26	846.7	OL 601.6	0.25	0.17	0.15	0.21	0.16	0.19	0.21	0.19	0.21
7	PoLO	14.14	4	44	1.26	872.6	PoL 573.6	1.73	1.48	1.51	2.47	2.50	2.27	1.86	1.94	1.90
8	PLL	14.16	4	44	1.60	872.6	PL 575.6	1.23	0.64	0.28	0.35	0.20	0.39	0.38	0.70	0.66
9	POPo	15.14	2	46	0.96	848.6	PoO 575.6	0.12	0.07	0.10	0.16	0.14	0.13	0.18	0.21	0.23
10	PPoO	15.24	2	46	0.96	848.6	PoO 575.6	5.70	5.36	5.77	6.22	5.05	5.01	9.06	8.92	10.68
11	MOO	15.26	2	46	0.96	848.6	OO 603.6	0.54	0.40	0.41	0.40	0.30	0.31	0.49	0.47	0.51
12	POL	14.84	3	46	1.30	874.6	OL 601.6	0.22	0.15	0.14	0.17	0.14	0.14	0.16	0.16	0.16
13	OOPo	14.86	3	46	0.96	874.6	OO 603.6	0.12	0.09	0.08	0.20	0.17	0.15	0.14	0.15	0.14
14	PLO	16.29	3	46	1.30	874.6	OL 601.6	9.55	9.76	10.17	16.15	15.53	14.36	10.13	10.77	10.97
15	OPoO	16.34	3	46	0.96	874.6	OO 603.6	3.27	3.19	3.04	4.26	4.52	4.42	4.60	4.16	0.48
16	OOL	14.20	4	46	1.30	900.6	OL 601.6	0.21	0.13	0.14	0.11	0.11	0.12	0.08	0.08	0.07
17	OLO	16.60	4	46	1.30	900.6	OL 601.6	6.62	7.60	6.71	7.67	7.01	7.54	4.05	4.11	4.35
18	PPO	16.40	1	48	1.01	850.7	PO 577.6	0.51	0.37	0.46	0.61	0.49	0.52	0.89	0.86	1.04
19	POP	17.12	1	48	1.01	850.7	PO 577.6	4.92	5.66	6.30	5.28	5.31	5.78	9.72	9.67	9.91
20	OOP	17.12	2	48	1.00	876.7	PO 577.6	1.11	1.01	1.12	1.55	1.51	1.74	1.49	1.39	1.74
21	OPO	18.12	2	48	1.00	876.7	PO 577.6	34.68	35.62	36.54	34.52	35.09	34.99	36.86	35.08	35.51
22	PGL	19.39	3	48	1.39	902.9	GL 629.6	0.37	0.46	0.37	0.18	0.20	0.23	0.15	0.16	0.16
23	OSL	17.35	3	48	1.38	902.9	OS 605.6	0.47	0.40	0.35	0.35	0.36	0.37	0.21	0.22	0.24
24	OLS	19.32	3	48	1.38	902.9	OL 601.6	0.65	0.75	0.77	0.94	1.00	1.13	0.86	0.84	0.92
25	OOO	19.6	3	48	1.00	902.9	OO 603.6	15.50	14.90	14.67	7.25	8.97	8.57	5.94	6.01	6.28
26	POS	20.56	1	50	1.09	878.9	PS 579.6	4.21	3.29	3.82	3.64	3.98	4.47	4.07	4.84	4.80
27	PSO	20.41	1	50	1.09	878.9	PS 579.6	1.60	1.93	1.34	1.47	1.48	1.67	1.75	1.72	1.69
28	OGP	21.6	2	50	1.09	904.6	OG 631.6	0.27	0.31	0.32	0.12	0.15	0.14	0.11	0.08	0.10
29	OSO	20.6	2	50	1.08	904.6	OS 605.6	1.83	1.98	1.91	1.07	1.17	1.11	0.68	0.86	0.82

峰序号	TAGs	RT	DBs	ECN	RF	[M+NH ₄] ⁺ Q1	[DG] ⁺ Q3	鸭蛋-1	鸭蛋-2	鸭蛋-3	鸡蛋-1	鸡蛋-2	鸡蛋-3	鹌鹑蛋-1	鹌鹑蛋-2	鹌鹑蛋-3
30	OOS	22.12	2	50	1.08	904.6	OO 603.6	1.31	1.75	1.37	1.20	1.25	1.14	1.08	0.93	1.33
31	SGP	23.41	1	52	1.17	906.6	SG 633.6	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
32	SSO	23.43	1	52	1.17	906.7	SO 605.6	0.21	0.25	0.19	0.19	0.20	0.20	0.17	0.17	0.17
33	SOS	25.89	1	52	1.17	906.6	SO 605.6	0.27	0.25	0.19	0.25	0.31	0.29	0.31	0.27	0.30
34	OOG	22.28	2	52	1.09	930.8	OG 631.6	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	nd	nd	nd
35	OGO	24.57	2	52	1.09	930.8	OG 631.6	0.29	0.43	0.26	0.07	0.08	0.07	0.04	0.04	0.05

注: TAGs 表示甘油三酯; RT 表示保留时间; DBs 表示双键数; ECN 表示平衡碳原子数; RF 表示保留时间

现代食品科学

参考文献

- [1] Noble R C. Comparative composition and utilisation of yolk lipid by embryonic birds and reptiles [J]. *Egg Incubation: Its Effects on Embryonic Development in Birds and Reptiles*, 2009: 17-28
- [2] Mine Y. *Egg Bioscience and Biotechnology* [M]. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008
- [3] Rousseau D. Fat crystals and emulsion stability-a review [J]. *Food Research International*, 2000, 33(33): 3-14
- [4] Gornall D, Kuksis A. Molecular species of glycerophosphatides and triglycerides of egg yolk lipoproteins [J]. *Canadian Journal of Biochemistry*, 1971, 49: 51-60
- [5] Cherian G. Egg yolk conjugated linoleic acid alters phospholipid molecular species in chick tissues [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2009, 111(6): 546-552
- [6] Shinn S, Liyanage R, Lay J, et al. Improved fatty acid analysis of conjugated linoleic acid rich egg yolk triacylglycerols and phospholipid species [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(28): 6608-6615
- [7] Coulter L, Bas R, Jespersen S, et al. Simultaneous quantitative analysis of metabolites using ion-pair liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry [J]. *Analytical Chemistry*, 2006, 78: 6573-6582
- [8] 陈海文,李江滨,何月玲,等.鸡蛋、鸭蛋、鹌鹑蛋中甘油三酯含量的比较研究[J].*河南科技*,2013,12:217
CHEN Hai-wen, LI Jiang-bin, HE Yue-ling, et al. Comparison the triglyceride content of hen egg, duck egg and quail egg [J]. *Journal of Henan Science and Technology*, 2013, 12: 217
- [9] Folch J, Lees M, Sloane-Stanley G. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. *Journal of biological and Chemistry*, 1957, 226(1): 497-509
- [10] Wang Q, Jin G, Jin Y, et al. Discriminating eggs from different poultry species by fatty acids and volatiles profiling: Comparison of SPME-GC/MS, electronic nose, and principal component analysis method [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2014, 116(8): 1044-1053