

# 气相色谱法测定 $\omega-3$ 营养强化鸡蛋蛋黄中 ALA、EPA 和 DHA 含量

王姿颐<sup>1</sup>, 张秋芳<sup>2</sup>, 杨成<sup>1</sup>, 庞月红<sup>1</sup>, 沈晓芳<sup>1</sup>

(1. 江南大学食品学院, 江苏无锡 214122; 2. 淄博市食品药品检验研究院, 山东淄博 255086)

**摘要:**建立了一种气相色谱法快速、准确测定  $\omega-3$  营养强化鸡蛋蛋黄中 ALA、EPA 和 DHA 含量的方法。样品经过乙酰氯甲醇甲酯化处理, 采用气相色谱法测定, Agilent DB-FastFAME 色谱柱分离脂肪酸甲酯, 以十一烷酸甘油三酯为内标物进行定量。结果表明: 鸡蛋蛋黄中  $\omega-3$  PUFA 和内标物分离效果良好; ALA 甲酯、EPA 甲酯和 DHA 甲酯的色谱峰面积与其质量浓度呈现良好的线性关系, 相关系数均大于 0.99; 样品的加标回收率为 87.2% ~ 101.1%, 相对标准偏差为 1.1% ~ 2.6%。该方法操作方便、快速准确, 适合批量测定  $\omega-3$  营养强化鸡蛋蛋黄中  $\omega-3$  PUFA 的含量。

**关键词:**  $\omega-3$  PUFA; ALA; EPA; DHA; 蛋黄; 气相色谱; 内标法

中图分类号: TS221; TS207 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2021)07-0148-05

## Determination of contents of ALA, EPA and DHA in the yolk of $\omega-3$ nutrient-fortified egg by gas chromatography

WANG Ziyi<sup>1</sup>, ZHANG Qiufang<sup>2</sup>, YANG Cheng<sup>1</sup>, PANG Yuehong<sup>1</sup>, SHEN Xiaofang<sup>1</sup>

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China;

2. Zibo Institute for Food and Drug Control, Zibo 255086, Shandong, China)

**Abstract:** A rapid and accurate method for determination of ALA, EPA and DHA in  $\omega-3$  nutrient-fortified egg yolk by gas chromatography was developed. The samples were firstly methylated with acetyl chloride-methanol, then determined by gas chromatography. The fatty acid methyl esters were separated by Agilent DB-FastFAME column and quantified with triundecanoin as internal standard. The results showed that internal standard substance, ALA, EPA and DHA were well separated from each other. The ALA, EPA and DHA had a good linear relationship between their mass concentrations and chromatographic peak areas ( $R^2 \geq 0.99$ ). The recoveries rate were 87.2% - 101.1% with RSD 1.1% - 2.6%. This method was simple, fast and accurate, and suitable for batch determination of  $\omega-3$  PUFA in the yolk of  $\omega-3$  nutrient-fortified eggs.

**Key words:**  $\omega-3$  polyunsaturated fatty acid; ALA; EPA; DHA; egg yolk; gas chromatography; internal standard method

$\omega-3$  多不饱和脂肪酸( $\omega-3$  PUFA) 主要包括  $\alpha$ -亚麻酸(ALA)、二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)。ALA 是细胞膜和生物酶的基本

物质,可以维持脂蛋白在体内的平衡,具有降血脂、降血压、调节胆固醇、抗血栓、预防癌变等重要作用<sup>[1-2]</sup>。EPA 具有降低胆固醇、抗血小板凝聚、预防心脑血管疾病等保健作用,被称为“血管清道夫”<sup>[3]</sup>。DHA 有“脑黄金”之称,可以促进大脑、视网膜和神经系统发育<sup>[4]</sup>,对人类健康和智力发展有很大影响。ALA 可以从亚麻籽、紫苏籽、奇亚籽等油料中获得<sup>[5-7]</sup>,而 EPA、DHA 目前主要是从鱼油、藻油中获得<sup>[1]</sup>。研究发现,将富含 ALA 的油料添加

收稿日期:2020-09-09;修回日期:2021-03-15

基金项目:国家重点研发计划(2018YFC1602300)

作者简介:王姿颐(1996),女,在读硕士,研究方向为食品加工与质量检测(E-mail) wangziyi96723@163.com。

通信作者:沈晓芳,教授,博士生导师(E-mail) xfshen@jiangnan.edu.cn。

到蛋鸡饲料中,蛋鸡摄入后蛋黄中 $\omega-3$  PUFA可以得到富集与转化,并且DHA含量明显提高。邓波等<sup>[8]</sup>研究表明,蛋鸡摄入添加10%亚麻籽的饲料3周后蛋黄中 $\omega-3$  PUFA含量提高了约6倍,其中ALA的含量提高了约17倍,EPA的含量提高了约2.5倍,DHA含量提高了近3倍。Wen等<sup>[9]</sup>研究发现,将压榨橡胶籽油添加至蛋鸡饲料中,当蛋鸡采食8周后所得鸡蛋的蛋黄中 $\omega-3$  PUFA含量也同样得到提高。Ehr等<sup>[10]</sup>研究发现,饲料中增加亚麻籽含量能够增加蛋黄中 $\omega-3$  PUFA的含量。因此,许多厂家将 $\omega-3$  PUFA作为卖点,推出 $\omega-3$  PUFA营养强化鸡蛋产品, $\omega-3$  PUFA含量已成为评价蛋黄品质的重要指标。目前,食品中脂肪酸可通过气相色谱法<sup>[11-12]</sup>、液相色谱法<sup>[13]</sup>、气相色谱-质谱联用法<sup>[14]</sup>、液相色谱-质谱联用法<sup>[15]</sup>、红外光谱法<sup>[16]</sup>等方法测定,且以气相色谱法为主。气相色谱法测定食品中脂肪酸含量需要进行甲酯化前处理,常用的方法有三氟化硼甲醇法<sup>[17]</sup>、盐酸甲醇法<sup>[18]</sup>、氢氧化钠甲醇法<sup>[19]</sup>、乙酰氯甲醇法<sup>[20]</sup>等,为了适用于批量样品的处理以及减少对有机溶剂的使用,本文采用乙酰氯甲醇法直接对蛋黄粉进行甲酯化处理。此外,本文选择Agilent DB-FastFAME气相色谱柱,优化色谱条件,实现同时检测蛋黄中的 $\omega-3$  PUFA(ALA、EPA、DHA)含量,以期缩短目标峰的保留时间,提高气相色谱检测效率,为 $\omega-3$  PUFA营养强化鸡蛋产品的质量控制在提供一种简便、快速、准确的检测方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

37种脂肪酸甲酯混合标准溶液(10 mg/mL),美国Supelco公司;ALA甲酯、EPA甲酯、DHA甲酯、十一烷酸甲酯标准品( $\geq 98.5\%$ ),美国Supelco公司;十一烷酸甘油三酯标准品( $\geq 99\%$ ),上海安谱实验科技股份有限公司;正己烷(色谱纯),中国赛默飞世尔科技有限公司;无水甲醇、乙酰氯、无水碳酸钾(分析纯),上海国药集团;纯净水,杭州娃哈哈公司;6种品牌的 $\omega-3$ 营养强化鸡蛋,当地大型超市。

#### 1.1.2 仪器与设备

AR552CN型电子天平,奥豪斯仪器有限公司;i2000型家庭用电子台秤,永康艾瑞贸易有限公司;994型低温保存箱,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;Alpha 1-2 LDplus型冷冻干燥机,德国Christ公司;HWCL-3型集热式恒温磁力搅拌浴,郑州长城科工贸有限公司;VORTEX2型涡旋振荡仪,德国IKA

公司;5810R型多功能台式离心机,Eppendorf中国有限公司;GC-2030型气相色谱仪,日本岛津公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 标准溶液的制备

准确称取适量十一烷酸甲酯、ALA甲酯、EPA甲酯和DHA甲酯标准品,用色谱级正己烷配制质量浓度分别为0.872、0.895、1 mg/mL和1 mg/mL的标准储备液,于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 避光保存。

准确称取适量37种脂肪酸甲酯混合标准溶液,用色谱级正己烷配制质量浓度为1 mg/mL的标准溶液,于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 避光保存,待上机测定。

#### 1.2.2 样品前处理

每组取6枚鸡蛋,用分蛋器将鸡蛋的蛋黄与蛋清分离,并用滤纸将蛋黄周围蛋清吸净,再各自将蛋黄混匀,置于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷冻。为方便储存,将蛋黄样品冷冻干燥72 h,并记录冻干后的相应的蛋黄质量。

冻干蛋黄的处理在现有方法基础上稍作改动<sup>[20]</sup>,具体如下:取100 mg十一烷酸甘油三酯标准品置于100 mL棕色容量瓶中,用色谱级正己烷定容至刻度,配制质量浓度为1 mg/mL十一烷酸甘油三酯内标液,用封口膜密封保存,置于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 待用;量取100 mL无水甲醇,再准确移取10 mL乙酰氯,缓慢加入到无水甲醇中并轻轻晃动,混匀后密封保存待用;取出冻干蛋黄,粉碎,过筛,准确称取冻干蛋黄粉100 mg转移至15 mL螺纹试管中,分别加入2 mL正己烷、1 mL内标液、4 mL乙酰氯甲醇混合溶液,混匀后将螺纹试管置于 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴锅中甲酯化3 h。待甲酯化完成后,取出试管,将其冷却至室温,再缓慢滴加5 mL 7%碳酸钾溶液,涡旋混匀,再以4 000 r/min的速度离心5 min,取上清,过微孔滤膜,待上机测定。

#### 1.2.3 气相色谱条件

Agilent DB-FastFAME色谱柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ );载气为氮气;载气流速0.85 mL/min;分流比20:1;进样口温度 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;FID检测器温度 $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;升温程序为色谱柱初始温度 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保持0.5 min,以 $40\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 $165\text{ }^{\circ}\text{C}$ 并保持1 min,再以 $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ 并保持1 min;进样量1  $\mu\text{L}$ 。

#### 1.2.4 线性关系实验

将ALA甲酯、EPA甲酯、DHA甲酯和十一烷酸甲酯标准储备液分别用正己烷稀释制备标准工作液,ALA甲酯标准工作液质量浓度分别为6.99、13.98、27.97、55.94、111.88、223.75、447.50、895.00  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,EPA甲酯标准工作液质量浓度分别为7.81、15.63、31.25、62.50、125.00、250.00、500.00、1 000.00  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,DHA甲酯标准工作液质量浓度分

别为 7.81、15.63、31.25、62.50、125.00、250.00、500.00、1 000  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。十一烷酸甲酯标准工作液质量浓度均为 43.60  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ，混匀后备用。精密吸取各标准工作液 1.0  $\mu\text{L}$ ，在 1.2.3 条件下进气相色谱仪测定，平行测定 3 次。

### 1.2.5 精密度实验

精确吸取质量浓度分别为 111.88、125.00、125.00  $\mu\text{g}/\text{mL}$  和 43.60  $\mu\text{g}/\text{mL}$  的 ALA 甲酯、EPA 甲酯、DHA 甲酯和十一烷酸甲酯标准工作液，连续进样 6 次，每次 1.0  $\mu\text{L}$ ，记录目标物峰面积及内标物峰面积，计算响应因子 ( $F_i$ )。

### 1.2.6 重复性、稳定性实验

取同一批样品 6 份，每份各准确称取 100 mg 蛋黄粉，按 1.2.2 方法处理后，在 1.2.3 条件下进样，计算 ALA、EPA 和 DHA 的含量及相对标准偏差 (RSD)；将同一批样品分别在 0、2、4、8、16、24 h 进

样，计算 ALA、EPA 和 DHA 的含量及 RSD。

### 1.2.7 加标回收实验

准确称取同一批样品 9 份，分别加入标准工作液，每个水平 3 份，按 1.2.2 方法处理后，在 1.2.3 条件下进样，计算 ALA、EPA 和 DHA 的含量以及回收率。

## 2 结果与分析

### 2.1 色谱柱的选择

在 1.2.3 的色谱条件下，使用 Agilent DB - FastFAME 色谱柱 (30 m  $\times$  0.25 mm  $\times$  0.25  $\mu\text{m}$ ) 首先对 37 种脂肪酸甲酯混合标准溶液进行检测，脂肪酸甲酯出峰顺序见图 1A。同时，参考 GB 5009.168—2016 中的色谱条件，选择普遍使用的 SP-2560 石英毛细管柱 (100 m  $\times$  0.25 mm  $\times$  0.2  $\mu\text{m}$ ) 对 37 种脂肪酸甲酯混合标准溶液分离检测，结果见图 1B。

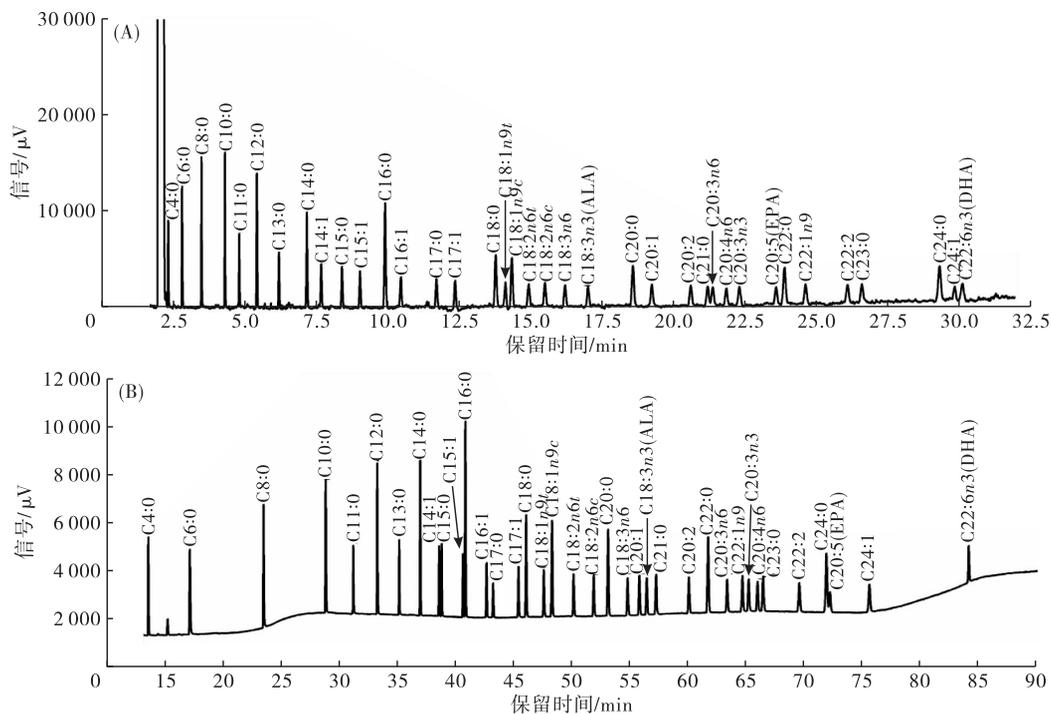


图 1 37 种脂肪酸甲酯混合标准溶液气相色谱图

由图 1A 可知，在 35 min 内，每个峰都得到了有效分离。由图 1B 可知，85 min 内所有脂肪酸甲酯全部出峰。可见 Agilent DB - FastFAME 色谱柱可以在短时间内对脂肪酸甲酯分离定性，同时可以保持传统 100 m 色谱柱能够获得的分度。

### 2.2 样品中 ALA、EPA 和 DHA 的定性

按 1.2.3 色谱条件，使用 Agilent DB - FastFAME 色谱柱进行气相色谱分析，得到 ALA 甲酯、EPA 甲酯、DHA 甲酯标准品的保留时间，并将鸡蛋样品的保留时间、峰形与标准品进行比较，从而对样品中 ALA、EPA、DHA 进行定性。ALA 甲酯、EPA 甲酯、DHA 甲

酯标准品的气相色谱图见图 2，鸡蛋样品气相色谱图见图 3。由图 2 可知，ALA 甲酯、EPA 甲酯、DHA 甲酯的保留时间分别为 17.022、23.495、29.715 min。

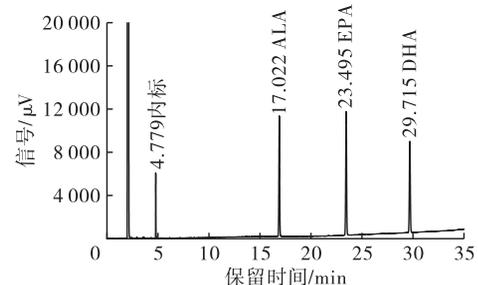


图 2 ALA 甲酯、EPA 甲酯和 DHA 甲酯标准品气相色谱图

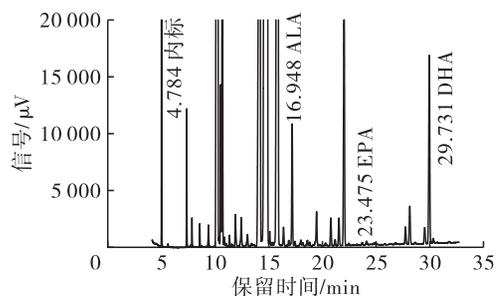


图3 鸡蛋样品气相色谱图

表1 ALA、EPA和DHA的线性关系实验结果

脂肪酸	线性回归方程	相关系数	线性范围/( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )	检出限/( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )	$F_i$
ALA	$y = 1.040x + 0.024$	0.997 5	6.99 ~ 895.00	5.7	0.922 3
EPA	$y = 1.074x - 0.003$	0.998 3	7.81 ~ 1 000.00	5.0	0.885 9
DHA	$y = 0.866x - 0.018$	0.997 9	7.81 ~ 1 000.00	3.7	1.098 8

由表1可知,ALA、EPA和DHA分别在6.99~895.00  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、7.81~1 000.00  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 和7.81~1 000.00  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 质量浓度范围内有良好的线性关系,相关系数均大于0.99。

#### 2.4 精密度

根据测得的ALA、EPA、DHA峰面积及内标物的峰面积,可以计算得到ALA、EPA和DHA平均响应因子分别是0.922 5、0.883 2和1.097 5,相对标准偏差(RSD)分别为0.2%、0.4%和0.5%,因此本方法具有良好的精密度。

#### 2.5 重复性、稳定性

按照1.2.2的方法,平行处理6份鸡蛋样品,计算得到ALA、EPA和DHA的含量分别为1.99、0.03、1.53  $\text{mg}/\text{g}$ ,其相对标准偏差(RSD)分别为2.1%、3.5%和2.7%,说明色谱系统有良好的重复性。再取同一批次样品分别在0、2、4、8、16、24 h进样分析,其相对标准偏差(RSD)分别为1.8%、3.4%和3.0%,说明测试溶液稳定性良好。

#### 2.6 加标回收率

ALA、EPA和DHA加标回收实验结果见表2。

表2 加标回收实验结果

脂肪酸	加标量/( $\text{mg}/\text{g}$ )	回收率/%	RSD/%
ALA	0.45	98.0	2.6
	1.79	99.8	1.3
	8.95	101.1	1.8
EPA	0.50	96.5	1.1
	2.00	91.2	1.2
	10.00	87.2	1.3
DHA	0.50	99.6	2.5
	2.00	95.9	2.0
	10.00	98.8	1.1

由表2可见,在不同加标量下,ALA的回收率在98.0%~101.1%,EPA的回收率在87.2%~96.5%,DHA的回收率在95.9%~99.6%,3种脂肪酸的相对标准偏差(RSD)为1.1%~2.6%,基本达到分析要求。

#### 2.7 实际样品ALA、EPA和DHA含量

采用上述方法对市场6种 $\omega-3$  PUFA营养强化鸡蛋中的ALA、EPA和DHA含量(以鸡蛋质量计)进行测定,每种 $\omega-3$  PUFA营养强化鸡蛋选择6个样品做平行实验,结果见表3。

表3 实际样品中ALA、EPA和DHA的含量

样品	ALA		EPA		DHA	
	标示值	实测值	标示值	实测值	标示值	实测值
1	-	191.78 ± 14.95	-	2.86 ± 0.28	220.00	151.34 ± 10.80
2	-	67.25 ± 1.51	-	1.37 ± 0.12	200.00(以脂肪计)	162.78 ± 4.75
3	-	34.09 ± 1.08	-	-	300.00	71.36 ± 6.24
4	-	31.83 ± 2.76	-	-	72.00	80.57 ± 3.48
5	380.00	81.27 ± 5.41	-	1.30 ± 0.10	125.00	116.05 ± 9.51
6	-	41.79 ± 3.52	-	1.16 ± 0.10	300.00(以脂肪计)	122.94 ± 2.14

由表3可以看出,市场上的6种 $\omega-3$  PUFA营养强化鸡蛋中只有样品5对ALA的含量有标示,其他 $\omega-3$  PUFA营养强化鸡蛋的预包装食品营养标

签上都缺少ALA的含量标示。同时6种鸡蛋的预包装食品营养标签上均没有EPA含量标示,均标示了DHA的含量。样品2、样品6的DHA标示值均

以脂肪计表示,与其他样品不同。ALA、EPA 含量属于  $\omega-3$  PUFA 营养强化鸡蛋的重要参数,ALA 和 EPA 具有降血脂、降血压、调节胆固醇等作用,对人体心脑血管有益,所以  $\omega-3$  PUFA 营养强化鸡蛋上注明 ALA、EPA 的含量十分必要。样品 1 中 ALA 实测值最高,为 191.78 mg/100 g,样品 5 的 ALA 实测值低于标示值,其余样品的 ALA 实测值在 30 ~ 70 mg/100 g 范围内。样品 3、4 均未检测出 EPA,样品 1 的 EPA 实测值最高,为 2.86 mg/100 g,其余样品的 EPA 实测值在 1.15 ~ 1.40 mg/100 g 范围内。样品 3 中 DHA 实测值与标示值差异较大,样品 1 和样品 5 中 DHA 实测值低于标示值,样品 4 中 DHA 实测值高于标示值。

### 3 结 论

本文建立一种利用气相色谱同时测定  $\omega-3$  营养强化鸡蛋中  $\omega-3$  PUFA (ALA、EPA、DHA) 含量的方法。该方法采用乙酰氯甲醇法进行样品甲酯化,适合批量处理,操作简单快速;使用 Agilent DB - FastFAME 色谱柱可有效分离 ALA 甲酯、EPA 甲酯、DHA 甲酯,分离效果好,保留时间短;以十一烷酸甘油三酯为内标物进行定量,测定结果重现性好、准确度高。本方法可用于  $\omega-3$  PUFA 营养强化鸡蛋的定性定量分析,为其品质控制提供了一种良好的技术手段。

### 参考文献:

[1] 杨敏,魏冰,孟橘,等.  $\omega-3$  多不饱和脂肪酸的来源及生理功能研究进展[J]. 中国油脂, 2019, 44(10): 110 - 115.

[2] 林非凡,谭竹钧. 亚麻籽油中  $\alpha$ -亚麻酸降血脂功能研究[J]. 中国油脂, 2012, 37(9): 44 - 47.

[3] 王楠,于宏威,李军国,等. 利用近红外光谱技术快速测定鱼油中 EPA 和 DHA 含量的方法研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(10): 138 - 142.

[4] 杨浩,金小琬,唐嘉淇,等. 裂殖壶菌合成二十二碳六烯酸机理研究进展[J]. 中国油脂, 2019, 44(8): 109 - 115.

[5] CIFTCI O N, PRZYBYLSKI R, RUDZINSKA M. Lipid components of flax, perilla, and chia seeds [J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2012, 114(7): 794 - 800.

[6] HAYAT Z, CHERIAN G, PASHA T N, et al. Effect of feeding flax and two types of antioxidants on egg production, egg quality, and lipid composition of eggs [J]. J Appl Poultry Res, 2009, 18(3): 541 - 551.

[7] COOREY R, NOVINDA A, WILLIAMS H, et al. *Omega-3* fatty acid profile of eggs from laying hens fed diets supplemented with chia, fish oil, and flaxseed [J]. J Food Sci, 2015, 80(1): S180 - S187.

[8] 邓波,门小明,朱冬荣,等. 亚麻籽和鱼油对蛋鸡蛋黄  $n-3$  多不饱和脂肪酸含量与肝脏脂肪酸代谢的影响[J]. 动物营养学报, 2017, 29(8): 2751 - 2761.

[9] WEN Z G, WU Y B, QI Z G, et al. Rubber seed oil supplementation enriches  $n-3$  polyunsaturated fatty acids and reduces cholesterol contents of egg yolks in laying hens [J/OL]. Food Chem, 2019, 301(7) [2020 - 09 - 09]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125198>.

[10] EHR I J, PERSIA M E, BOBECK E A. Comparative *omega-3* fatty acid enrichment of egg yolks from first - cycle laying hens fed flaxseed oil or ground flaxseed [J]. Poult Sci, 2017, 96(6): 1791 - 1799.

[11] 蛋与蛋制品中  $\omega-3$  多不饱和脂肪酸的测定气相色谱法: NY/T 2068—2011 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.

[12] 应美蓉,杜文凯,章程,等. 气相色谱法测定脂肪酸含量判定山茶油纯度[J]. 中国油脂, 2020, 45(1): 132 - 136.

[13] 李咏如,李徐,陶胜男,等. 反相高效液相色谱法测定 Rancimat 测量池水中的短链脂肪酸[J]. 中国油脂, 2017, 42(9): 126 - 128.

[14] 宗宁宇,张志国,王彬,等. 玫瑰果籽油的气相色谱 - 质谱联用分析[J]. 中国油脂, 2019, 44(2): 138 - 140.

[15] 张东,薛雅琳,朱琳,等. 高效液相色谱 - 四极杆飞行时间质谱法测定棕榈油和动物脂肪甘油三酯[J]. 粮油食品科技, 2015, 23(5): 72 - 76.

[16] 张培强,张进,樊智楠,等. 二阶导数傅里叶变换红外光谱鉴别植物油和地沟油[J]. 中国油脂, 2017, 42(8): 86 - 88, 97.

[17] 杨桂玲,孟冰冰,于林,等. 气相色谱法检测市售沙拉酱中反式脂肪酸[J]. 中国调味品, 2014, 39(1): 96 - 98.

[18] 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.

[19] 陈莹, CHEONG L Z, 赵家和,等. 响应面法的脂肪酶富集金枪鱼油中二十二碳六烯酸甘油酯工艺优化的研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(9): 72 - 79.

[20] 冯嘉. 不同营养源生产  $n-3$  PUFA 保健鸡蛋的风味变化研究[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.