

不同品种禽蛋中不饱和脂肪酸含量分析

孙慧珍, 裘立群*, 宋少芳*

(山东农业大学化学与材料科学学院, 泰安 271018)

摘要: **目的** 比较鲜鸡蛋、鸭蛋和鹅蛋不同禽蛋的蛋清和蛋黄中的脂肪酸含量。**方法** 实验分为鸡蛋组、鸭蛋组和鹅蛋组, 用气相色谱法对各组禽蛋中的脂肪酸含量进行定量测定。**结果** 3种禽蛋蛋清中的饱和脂肪酸含量高于蛋黄, 多不饱和脂肪酸含量低于蛋黄。 ω -3 不饱和脂肪酸含量大小为: 鸡蛋>鸭蛋>鹅蛋, 强化 ω -3 脂肪酸的鸭蛋中不饱和脂肪酸含量最高且 ω -6/ ω -3 比值最低; 熟鸭蛋的脂肪酸总量和饱和程度与鲜蛋相比没有发生显著性变化。但是咸蛋中饱和脂肪酸含量增加而不饱和脂肪酸含量减少。**结论** 3种禽蛋中脂肪酸含量不同, 经强化的鸭蛋中有益 ω -3 多不饱和脂肪酸明显高于其他鸭蛋, 营养价值最高。

关键词: 鲜禽蛋; 饱和脂肪酸; ω -3 不饱和脂肪酸; 气相色谱法

Analysis of fatty acid content in different varieties of eggs

SUN Hui-Zhen, QIU Li-Qun*, SONG Shao-Fang*

(College of Chemistry and Material Science, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

ABSTRACT: Objective To compare the fatty acid content of egg yolk and egg white of fresh egg, duck egg and goose egg. **Methods** The eggs were divided into 3 groups including eggs, duck eggs and goose eggs. The fatty acid contents in 3 kinds of eggs were detected by gas chromatography (GC). **Results** The saturated fatty acid content of 3 kinds of eggs in the egg white was higher than that of egg yolk, while the content of polyunsaturated fatty acids in egg white was lower than that of egg yolk. The ω -3 polyunsaturated fatty acid (PUFA) content was as followed: egg> duck eggs> goose egg. The content of unsaturated fatty acids in the duck egg strengthened ω -3 was the highest and the ratio of ω -6/ ω -3 was the lowest. The amount of fatty acids and saturated degree had no significant difference between cooked duck egg and fresh eggs., but the saturated fatty acid content increased and the unsaturated fatty acids content decreased in salted egg. **Conclusion** The content of fatty acids in 3 kinds of eggs are different, and the beneficial ω -3 polyunsaturated fatty acids content in duck eggs strengthened is significantly higher than other duck eggs, which had the highest nutritional value.

KEY WORDS: fresh eggs; saturated fatty acids; ω -3 polyunsaturated fatty acids; gas chromatography

基金项目: 山东省食品安全中心省科技发展计划项目(2013GZX20109)

Fund: Supported by Center for Food Safety in Shandong Province Provincial Science and Technology Development Program (2013GZX20109)

*通讯作者: 裘立群, 高级实验师, 主要研究方向为色谱分析。E-mail: simonsl@163.com

宋少芳, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为色谱分析。E-mail: ssf@sdau.edu.cn

*Corresponding author: QIU Li-Qun, Senior Experimentalist, College of Chemistry and Material Science, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China. E-mail: simonsl@163.com

SONG Shao-Fang, Associate professor, College of Chemistry and Material Science, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China. E-mail: ssf@sdau.edu.cn

1 前言

禽蛋的营养成分比较全面均衡,易于烹饪也易于消化吸收,是天然的优质蛋白质食品^[1-3]。鸡蛋、鸭蛋和鹅蛋是人们生活中常食用的禽蛋,富含优质蛋白质、维生素和矿物质等营养物质。由于其营养成分丰富,被称为“人类理想的营养库”,营养学家则称它为“完全蛋白质模式”^[4]。目前有关鸡蛋中脂肪酸含量的报道较多,而关于鸭蛋和鹅蛋中脂肪酸含量的测定以及三者比较的报道较少。

多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA)对神经递质、胆固醇代谢及大脑和视网膜的膜磷脂结构很重要。它是组成细胞生物膜不可缺少的成分,在体内参与磷脂的合成,在线粒体和细胞膜中以磷脂的形式出现^[5,6]。PUFA对大脑正常的发育和运转有重要作用。 ω -3和 ω -6多不饱和脂肪酸的摄入会对体内细胞膜组成及功能、四烯酸合成以及基因表达调控产生影响。其中 ω -3多不饱和脂肪酸具有预防和治疗心脑血管疾病、自身免疫病及部分癌症等疾病的功效。对人体来讲, ω -3多不饱和脂肪酸主要包括二十碳五烯酸(C20:5, EPA),二十二碳六烯酸(C22:6, DHA)和 α -亚麻酸(C18:3, LNA),其中LNA是EPA和DHA合成的前体。 ω -6多不饱和脂肪酸主要包括亚油酸(C18:2)、 γ -亚麻酸(C18:3)和花生四烯酸(C20:4n6),其中亚油酸是花生四烯酸的前体^[7]。

气相色谱分析法^[8](gas chromatography, GC)由于检测限低、灵敏度高,成为目前检测脂肪酸最为有效的方法之一,本研究对鸡蛋、鸭蛋和鹅蛋去壳全蛋的各脂肪酸含量进行了测定和比较,以期为禽蛋营养价值科普和人们合理膳食提供参考。

2 材料与方 法

2.1 材 料

鸡蛋(泰安市场购买,产自泰安市),鸭蛋1#(市场购买,产自泰安市),鸭蛋2#(山东宝来利来有限公司提供的强化蛋),鸭蛋3#(农户散养,产自泰安市),鸭蛋4#(双黄,农户散养,产自泰安市),鹅蛋(泰安市场购买,产自泰安市),熟鸭蛋、咸鸭蛋(泰安市场购买,产自泰安市)。

2.2 仪器与试剂

GC-2010气相色谱分析仪(配备氢火焰离子化检测器及Gcsolution 2.3版工作站,日本岛津公司);DB-23毛细管色谱柱(30 m \times 0.32 mm, 0.25 μ m, 美国Agilent公司);QL-300氢气发生器(山东赛克塞斯氢能源有限公司);QL型纯净空气泵(山东赛克塞斯氢能源有限公司);TGL-20M台式高速冷冻离心机(上海卢湘仪离心机仪器有限公司)。

37种脂肪酸甲酯混合标准品(总浓度10 mg/mL, 1: C4:0, 4%; 2: C6:0, 4%; 3: C8:0, 4%; 4: C10:0, 4%; 5: C11:0, 2%; 6: C12:0, 4%; 7: C13:0, 2%; 8: C14:0, 4%; 9: C14:1, 2%; 10: C15:0, 2%; 11: C15:1, 2%; 12: C16:0, 6%; 13: C16:1, 2%; 14: C17:0, 2%; 15: C17:1, 2%; 16: C18:0, 4%; 17: C18:1n9t, 2%; 18: C18:1n9c, 4%; 19: C18:2n6t, 2%; 20: C18:2n6c, 2%; 21: C18:3n6c, 2%; 22: C18:3n3, 2%; 23: C20:0, 4%; 24: C20:1, 2%; 25: C21:0, 2%; 26: C20:2, 2%; 27: C20:3n6, 2%; 28: C20:4n6, 2%; 29: C20:3n3, 2%; 30: C22:0, 4%; 31: C22:1n9, 2%; 32: C20:5n3, 2%; 33: C23:0, 2%; 34: C22:2, 2%; 35: C24:0, 4%; 36: C24:1, 2%; 37: C22:6n3, 2%; 上海安谱实验科技股份有限公司);甲醇(色谱纯,天津永大试剂公司);三氟化硼-甲醇(15%,上海阿拉丁试剂公司);氢氧化钾、盐酸(分析纯,天津永大试剂公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 样品前处理

蛋分为鸡蛋、鸭蛋和鹅蛋组,每组设3个样品。将蛋黄或蛋清(前处理方式相同)称重2.0 g于25 mL具塞试管中,加入内标物1 mg/mL十一烷酸(C11:0)甲酯200 μ L, 100 mg焦性没食子酸,10 mL质量分数为37%的盐酸,置于80 $^{\circ}$ C恒温水浴下水解30 min,然后取出振荡5 min冷却至室温^[9];再加入5 mL苯/石油醚(2:1, V:V)萃取1 h,加入2 mL KOH-CH₃OH(0.4 mg/mL)于50 $^{\circ}$ C下酯化30 min,然后加入2 mL BF₃-CH₃OH(15%)于60 $^{\circ}$ C下酯化30 min;反应完成后水浴冷却,加入10 mL饱和食盐水进行淋洗,振荡后静置分层,收集上层有机相后加入适量无水硫酸钠,离心,取1 mL上清液进行GC分析。处理液于-20 $^{\circ}$ C下保存。按脂肪酸甲酯标样保留时间定性,内标法定量。

2.3.2 色谱检测条件

载气:高纯氮气,流速0.5 mL/min;分流比10:1,进样口温度:250 $^{\circ}$ C;程序升温:100 $^{\circ}$ C(保持5 min) $\xrightarrow{20^{\circ}\text{C}/\text{min}}$ 190 $^{\circ}$ C(保持16 min) $\xrightarrow{20^{\circ}\text{C}/\text{min}}$ 220 $^{\circ}$ C(保持15 min);FID检测器:260 $^{\circ}$ C,氢气流量40 mL/min,空气流量400 mL/min,尾吹流量30 mL/min;进样量:1.0 μ L;色谱柱:DB-23(30 m \times 0.32 mm, 0.25 μ m)。

3 结果与讨论

3.1 GC 色谱图

3.1.1 标准物质色谱图

由图1可知,在本实验色谱条件下,可以实现37种常见脂肪酸良好的分离和脂肪酸组成分析,出峰物质顺序参见2.2。

3.1.2 鸭蛋2#GC谱图

由图2可知,在该色谱条件下将处理好的鸭蛋样品进行检测,测到8种不饱和脂肪酸。各类脂肪酸分离较好,且符合以下出峰规律:碳数少的脂肪酸先出峰;同碳数的不饱和脂肪酸,烯键少的先出峰。

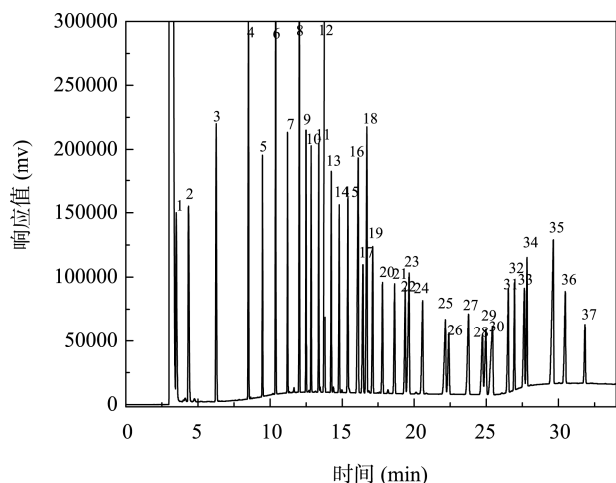


图 1 37 种脂肪酸甲酯混合标品色谱图

Fig. 1 Chromatogram of the mixture of 37 kinds of fatty acid methyl esters

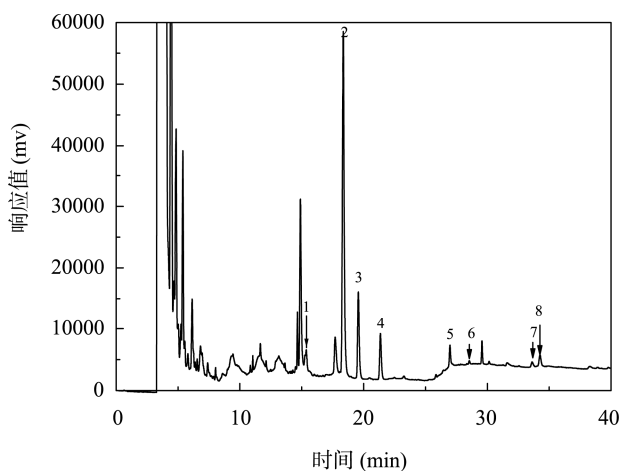


图 2 鸭蛋 2# 气相色谱图

Fig. 2 Chromatogram of the duck egg 2 (Peaks: 1=C16:1; 2=C18:1n9c; 3=C18:2n6c; 4=C18:3n6c; 5=C18:3n3; 6=C20:4n6; 7=C20:5n3; 8=C22:6n3)

3.2 分析方法的验证

3.2.1 内标回收率

因样品中不含有 C11:0, 故以 C11:0 脂肪酸甘油三酯作为内标物, 用已经优化好的禽蛋脂肪酸预处理和色谱分析条件检测样品中不饱和脂肪酸的含量, 然后分析数据并计算出样品中 C11:0 的回收率为 97.225%(n=6), 相对标准偏差为 0.18%(见表 1), 这证明本实验建立的植物油处理方式和 GC 检测条件的回收率较高, 重复性也良好。

表 1 C_{11:0} 回收率及精密度(n=6)

Table 1 Results of recovery and precision of C_{11:0}(n=6)

样品编号	回收率(%)	平均回收率(%)	RSD(%)
1	97.09		
2	96.99		
3	97.41	97.225	0.18
4	97.18		
5	97.59		
6	97.09		

3.2.2 主要脂肪酸的标准曲线及最低检测限

在 2.5~200 mg/L 的浓度范围内, 主要脂肪酸的标准曲线、相关系数及检出限如表 2 所示。由表 2 可知, 其相关系数范围为 0.9981~0.9991, 线性良好。检出限为 0.12~0.30 mg/L。C18:2n6c 的标准曲线见图 3。

3.3 禽蛋物理性质比较

3 种禽蛋的蛋重、蛋黄重及蛋黄/蛋清百分比见表 3。由表 3 可知, 鹅蛋最重, 鸭蛋次之, 鸡蛋最轻; 蛋黄的相对含量则正好相反, 鹅蛋中蛋黄含量最高, 鸭蛋中蛋黄含量次之, 鸡蛋中蛋黄含量最少。鹅蛋蛋黄/蛋清比值最大, 鸡蛋最低。

表 2 主要脂肪酸的标准曲线及最低检测限

Table 2 Standard curves and detection limits of main fatty acid methyl esters

样品编号	标准曲线	线性范围(mg/L)	相关系数	检出限(mg/L)
棕榈油酸(C16:1)	$Y = 0.3365X + 0.8022$	2.5~200	0.9984	0.23
油酸(C18:1n9c)	$Y = 0.3365X + 0.0033$	2.5~200	0.9951	0.32
亚油酸(C18:2)	$Y = 0.3311X + 1.0211$	2.5~200	0.9981	0.14
α -亚麻酸(C18:3n6c)	$Y = 0.582X + 0.0634$	2.5~200	0.9988	0.21
γ -亚麻酸(C18:3n3)	$Y = 0.6921X + 0.2521$	2.5~200	0.9991	0.18
ARA(C20:4n6)	$Y = 0.7264X + 1.1341$	2.5~200	0.9986	0.12
EPA(C20:5n3)	$Y = 0.6955X + 1.4124$	2.5~200	0.9989	0.30
DHA(C22:6n3)	$Y = 0.5884X + 0.2818$	2.5~200	0.9984	0.27

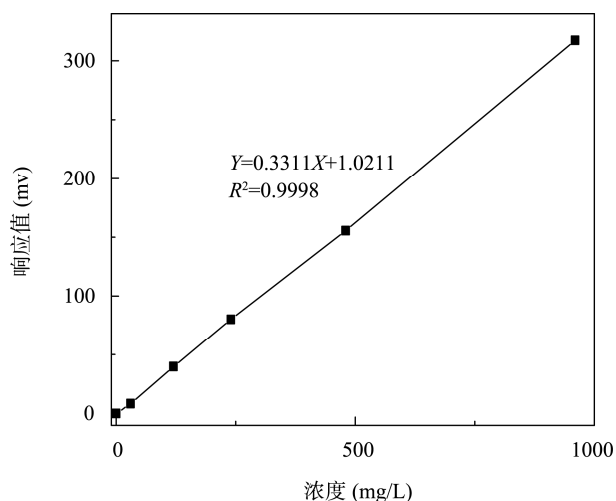


图3 C18:2n6c的标准曲线
Fig. 3 Standard curve of C18:2n6c

表3 3种禽蛋的蛋重、蛋黄重及蛋黄/蛋清百分比($n=3$)
Table 3 The egg weight, egg yolk and ratio of egg yolk/egg white of 3 kinds of eggs ($n=3$)

检测项目	鸡蛋	鸭蛋	鹅蛋
蛋重/g	59.35±3.45	71.91±4.32	220.98±1.02
蛋黄重/g	19.15±2.43	25.36±2.13	34.58±2.25
蛋黄/蛋清/%	0.26±0.03	0.31±0.02	0.36±0.08

3.4 禽蛋中各脂肪酸含量比较

将3种禽蛋按照2.3.1前处理方法进行脂肪的提取和甲酯化,然后进行气相色谱分析,各脂肪酸含量见表4。

由表4数据可以看出,鹅蛋蛋黄中的脂肪酸含量比蛋清的高。同时也发现蛋清中单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)和多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)的比例不平衡。现在很多研究只注重蛋黄中脂

表4 禽蛋中各脂肪酸含量比较
Table 4 Comparison of the fatty acid contents in eggs

组分	ω (mg/g)															
	鸡蛋清	鸡蛋黄	鸭蛋清 1#	鸭蛋黄 1#	鸭蛋清 2#	鸭蛋黄 2#	鸭蛋清 3#	鸭蛋黄 3#	鸭蛋清 4#	鸭蛋黄 4#	鹅蛋清	鹅蛋黄	熟鸭蛋清	熟鸭蛋黄	咸鸭蛋清	咸鸭蛋黄
棕榈油酸 (C16:1)	0.040	0.561	0.039	0.063	0.034	0.059	0.027	0.058	0.061	0.030	0.047	0.072	0.035	0.059	ND	0.420
亚油酸 (C18:2)	ND	0.182	0.185	0.259	0.206	0.312	0.368	0.347	0.354	0.382	0.190	0.664	0.196	0.287	0.038	0.427
α -亚麻酸 (C18:3n6c)	ND	0.127	ND	0.002	0.024	0.072	ND	0.011	0.013	ND	0.011	0.008	ND	0.003	ND	0.005
γ -亚麻酸 (C18:3n3)	ND	0.030	ND	0.031	1.078	1.019	ND	1.913	1.957	ND	0.004	0.009	ND	0.002	ND	0.003
ARA (C20:4n6)	0.107	0.258	0.372	0.246	0.153	0.237	0.085	1.528	0.574	0.099	0.240	0.268	0.259	1.225	0.252	1.162
EPA (C20:5n3)	ND	0.003	0.006	0.005	0.016	0.065	ND	1.002	0.003	ND	0.012	0.032	0.005	0.023	0.008	0.029
DHA (C22:6n3)	ND	0.359	0.115	0.347	0.398	1.057	ND	1.664	1.685	ND	0.173	0.435	0.109	0.326	0.086	0.098
MUFA(单不饱和脂肪酸)	0.040	0.840	0.317	1.357	0.305	1.778	0.298	1.314	1.329	0.355	0.331	1.387	0.317	1.374	0.026	1.163
PUFA(多不饱和脂肪酸)	0.107	2.219	0.678	2.280	1.925	2.712	0.453	4.465	4.586	0.481	0.630	1.016	0.569	1.866	0.384	1.724
ω -3	ND	0.349	0.140	0.574	0.454	1.144	ND	1.677	ND	1.701	0.196	0.475	0.114	0.352	0.096	0.132
ω -6	0.107	1.670	0.557	1.906	1.437	1.568	0.453	2.788	2.885	2.981	0.434	0.541	0.455	1.514	0.290	1.592
ω -6/ ω -3	-	5.031	3.984	3.102	3.165	1.270	-	1.361	-	1.752	1.212	1.639	3.990	4.292	3.021	11.51
总量	0.452	4.479	1.363	4.982	2.577	4.669	1.188	6.609	6.770	1.328	1.421	3.110	1.213	3.894	0.478	3.859

备注: ND 表示未检出。

脂肪酸的构成, 而对蛋清研究甚少。蛋清中的饱和脂肪酸含量高于蛋黄, 但不饱和脂肪酸含量较低, 如散养鸭蛋中蛋黄 ω -3 多不饱和脂肪酸含量比较丰富, 达到 2.879%, 而蛋清中 ω -3 多不饱和脂肪酸含量为 0。

在脂肪酸种类方面, 3 种禽蛋中所含脂肪酸均以不饱和脂肪酸为主^[10-13], 不饱和脂肪酸含量最高的为油酸, 鸡蛋最高、鸭蛋次之、鹅蛋最低; 其次为亚油酸。值得注意的是, 这 3 种禽蛋中都含有对人体有益的 ω -3 多不饱和脂肪酸, ω -3 PUFA 主要是指亚麻酸, 其在体内经过 δ -5 和 δ -6 去饱和酶作用再经链的延长变为 EPA 和 DHA。鸡蛋中 80% 左右的 EPA 和 DHA 来自它们的日粮^[14]。蛋黄中 DHA、EPA 的含量明显比蛋清中的高。在蛋鸡日粮中添加胡麻油可使蛋黄中 α -亚麻酸显著增加, 蛋鸡可以将其优先转化成 DHA 沉积于蛋黄中^[15]。但富含 ω -3 PUFA 的鸡蛋有一种血腥味, 这是由于三甲胺、脂质氧化产物等引起的^[16]; 由表中数据可以看到, 蛋黄中 ω -3 PUFA 含量从高到低依次为鸭蛋、鹅蛋、鸡蛋, ω -3 强化鸭蛋(2#)>散养双黄鸭蛋(4#)>散养单黄鸭蛋(3#)>购买鸭蛋(1#)。其中鸡蛋中几乎不含 α -亚麻酸, 鹅蛋的 α -亚麻酸含量比鸭蛋的高出 2 倍。

普通鸡蛋一般不含有 EPA, 鸭蛋和鹅蛋含少量 EPA, 强化 ω -3 脂肪酸鸭蛋中 EPA 含量最高。结果表明, 禽蛋中含有不同含量的 ω -3 脂肪酸, 且 ω -3 强化鸭蛋中的脂肪酸与其他鸭蛋有明显区别, 主要表现在低含量的 SFA, 高含量的 α -亚麻酸、EPA 和 DHA。从 ω -6 脂肪酸看, 3 种禽蛋中均含有 γ -亚麻酸、ARA 和能够降低人体胆固醇的亚油酸。 ω -6 PUFA 的代表是亚油酸, 在体内可转化为 γ -亚麻酸和 ARA。鸭蛋中 ARA 含量最高, 对视力和神经系统具有保护作用。然而 ω -3 和 ω -6 在动物体内存在竞争代谢抑制, 因此食用 ω -6 PUFA 可加剧心脑血管疾病的发生^[17]。

目前世界卫生组织和联合国粮农组织建议, 食用油中 ω -6/ ω -3 理想比值为 1~2^[18]。禽蛋蛋黄 ω -6/ ω -3 比值如下: 鸡蛋 5.031、鸭蛋 1#3.102、鸭蛋 2#1.270、散养鸭蛋 3#1.361 以及鹅蛋 1.639。从营养角度看, 散养鸭蛋和 ω -3 强化鸭蛋中 ω -6/ ω -3 比值明显较低, 趋近于理想值。

鸭蛋经热处理成熟鸭蛋之后, 脂肪酸总量和饱和程度都没有发生显著性变化。但是用盐腌制咸蛋后, 一些重要脂肪酸的含量与新鲜鸭蛋相比发生了较大的变化, 如能够增加人体胆固醇含量的棕榈酸含量增加, 有益的 PUFA 和 MUFA 却减少。

4 讨论

本研究建立了测定生熟禽蛋均适用的脂肪酸前处理和气相色谱分离检测方法。通过对鸡蛋、各类鸭蛋(包括强化 ω -3 脂肪酸鸭蛋)及鹅蛋等几类鲜禽蛋检测发现, 不同鲜禽蛋中蛋清和蛋黄的脂肪酸含量、比例以及 ω -3 PUFA 含量各有不同。经比较, ω -3 PUFA 含量大小为: 鸡蛋>鸭蛋>

鹅蛋。强化 ω -3 脂肪酸鸭蛋中有益的不饱和脂肪酸含量较高, 蛋黄颜色深而明亮, 且 ω -6/ ω -3 比值最低^[19]。因此, ω -3 强化鸭蛋是对人体健康最有益的养生保健蛋。例如可在饲料中添加核黄素 20 mg/kg, 既使蛋黄色泽得到显著改善, 又使鸭蛋中不残留任何化学合成着色剂^[20]。同时, 建议国家相关部门应完善禽蛋类产品的检测与限量标准, 规范营养强化蛋市场, 保障消费者健康。

参考文献

- [1] 钱龙. 对贵州禽蛋蛋黄脂肪酸组成的分析[J]. 山地农业生物学报, 1999, 18(1): 31-35.
Qian L. Analysis of the fatty acid composition of Guizhou yellow bird [J]. J Mountain Agric Biol, 1999, 18(1): 31-35.
- [2] Hidalgo A, Rossi M, Clerici F, *et al*. A market study on the quality characteristics of eggs from different housing systems [J]. Food Chem, 2008, 106: 1031-1038.
- [3] 朱玲娇. 禽蛋磷脂组成及其结构特点分析研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
Zhu LJ. Study on analysis of phospholipid composition and structure characteristics of eggs [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013.
- [4] 陈伟, 林映才, 张罕星, 等. 家禽脂肪酸代谢及其在禽蛋中的沉积和营养调控[J]. 动物营养学报, 2012, 02(6): 204-211.
Chen W, Lin YC, Zhang HX, *et al*. Fatty acid metabolism in poultry and eggs in the sediment and nutrient regulation [J]. J Anim Nutr, 2012, 02(6): 204-211.
- [5] 曾新福, 陈安国. 多饱和脂肪酸强化蛋的研究现状[J]. 饲料工业, 2001, 21(1): 37-39.
Zeng XF, Chen AG. Current situation of the research on the enhancement of the eggs by polyunsaturated fatty acids [J]. Feed Ind, 2001, 21(1): 37-39.
- [6] 刘飞. 气相色谱法同时测定食品中 34 种脂肪酸[J]. 福建分析测试, 2010, 19(3): 15-20.
Liu F. Simultaneous determination of 34 kinds of fatty acids in food by gas chromatography [J]. Fujian Anal Test, 2010, 19(3): 15-20.
- [7] 龚雁, 王巧娥, 杨屹, 等. 高效液相色谱-蒸发光散射检测法测定蛋黄卵磷脂的含量[J]. 色谱, 2006, 24(4): 373-375.
Gong Y, Wang QE, Yang Y, *et al*. Determination of egg yolk lecithin by high performance liquid chromatography with evaporative light scattering detection [J]. Chin J Chromatogr, 2006, 24(4): 373-375.
- [8] 臧建军, 车向荣. 日粮多不饱和脂肪酸(PUFA)在家禽蛋中富集的研究现状[J]. 饲料工业, 2002, 06(9): 9-11.
Zang YJ, Che XR, Zhang HX. Dietary polyunsaturated fatty acids (PUFA) on the status quo at home in eggs enriched [J]. Feed Ind, 2002, 06(9): 9-11.
- [9] 王庆玲, 靳国锋, 刘纯友, 等. 禽蛋中多不饱和脂肪酸研究进展[J]. 中国家禽, 2013, 21(10): 44-48.
Wang QL, Jin GF, Liu CY, *et al*. The eggs of polyunsaturated fatty acid research progress [J]. China Poultry, 2013, 21(10): 44-48.
- [10] Samir S, Fan Piu K, *et al*. Fatty acid composition of certified organic, conventional and omega-3 eggs [J]. Food Chem, 2009, 116(11): 911-914.
- [11] 易中华. 饲料对禽蛋质量的影响[J]. 江西饲料, 2001, 1(6): 14-15.
Yi ZH. Influence of diet on egg quality [J]. Jiangxi Feed, 2001, 1(6):

- 14-15.
- [12] 于晓英, 贾薇, 高嵘. 鸡蛋中脂肪的快速检测方法[J]. 中国卫生检验杂志, 2005, 15(4): 429-430.
Yu XY, Jia W, Gao R. Method for rapid detection of fat in eggs [J]. Chin J Health Lab Technol, 2005, 15(4): 429-430.
- [13] 黄德仙, 李江滨, 陈海文, 等. 鸡蛋、鸭蛋、鹌鹑蛋中胆固醇含量的比较[J]. 安徽农学通报, 2013, 19(11): 109-110.
Huang DX, Li JB, Chen HW, *et al.* Egg, duck's egg, quail egg cholesterol content in comparison [J]. Anhui Agric Sci Bull, 2013, 19(11): 109-110.
- [14] 晓鸥. 饲料中脂肪及脂肪酸组成对蛋中胆固醇含量的影响[J]. 中国饲料, 1995, 24(17): 23-24.
Su XO. Effect of dietary fat and fatty acid composition on cholesterol content in eggs. [J]. Chin feed, 1995, 24(17): 23-24.
- [15] 李静, 邓泽元, 黄玉华. 蛋类中脂肪酸的测定[J]. 南昌大学学报, 2007, 31(2): 165-167.
Li J, Deng ZY, Huang YH, *et al.* Determination of fatty acids of egg [J]. J Nanchang Univ, 2007, 31(2): 165-167.
- [16] Surai PF, Sparks. Designer eggs: from improvement of egg composition to functional food [J]. Trends Food Sci Technol, 2001, 12: 7-16.
- [17] 周颖, 齐智利. 多不饱和脂肪酸调控蛋品质的研究进展[J]. 中国家禽, 2015, 37(11): 48-51.
Zhou Y, Qi ZL. Research Progress on the regulation of egg quality by polyunsaturated fatty acids [J]. China Poultry, 2015, 37(11): 48-51.
- [18] Simopoulos A P. New products from the agri-food industry: Thereturn of ω -3 fatty acids into the food supply [J]. Lipids, 1999, 34(11): 297-301.
- [19] 张爱武, 左璐雅, 鞠贵春, 等. 3种禽蛋蛋黄中脂肪酸的含量对比研究[J]. 中国畜牧杂志, 2011, 14(3): 53-55.
Zhang AW, Zuo YL, Ju GC, *et al.* Study on the content comparison of fatty acids of 3 egg yolk in poultry [J]. Chin J Anim Sci, 2011, 14(3): 53-55.
- [20] 黄菲菲, 陈军, 何亚斌, 等. 禽蛋 ω -3 系列、 ω -6 系列多不饱和脂肪酸含量研究[J]. 粮食与油脂, 2009, 12(3): 21-22.
Huang FF, Chen J, He YB, *et al.* Egg Omega -3 series, Omega -6 series polyunsaturated fatty acid content [J]. Grain Oil, 2009, 12(3): 21-22.
- [21] 石天虹, 黄保华, 魏祥法, 等. 不同饲料添加剂对鸭蛋成分、蛋白质和蛋黄着色效果影响的研究[J]. 饲料工业, 2010, 31(21): 7-11.
Shi TH, Huang BH, Wei XF, *et al.* Composition of different feed additives on egg quality and effect of duck's egg, egg yolk coloring effect [J]. Feed Ind, 2010, 31(21): 7-11.

(责任编辑: 姚菲)

作者简介



孙慧珍, 硕士研究生, 主要研究方向为色谱分析。
E-mail: 1534049288@qq.com



宋少芳, 理学硕士, 副教授, 主要研究方向为色谱分析。
E-mail: ssf@sdau.edu.cn



裴立群, 理学硕士, 高级实验师, 主要研究方向为色谱分析。
E-mail: simons1@163.com