

鸡蛋高温贮藏下脂质变化及酶活相关性研究

王庆玲^{1,2}, 靳国锋¹, 石暮霞¹, 单宁¹, 马美湖¹

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

(2. 石河子大学食品学院, 新疆石河子 832003)

摘要: 本研究通过考察鸡蛋高温贮藏(37℃)条件下脂质组分变化、脂肪酶活性变化及氧化指标的变化,并借助相关性分析阐释酶活变化与脂质氧化的内在联系。实验结果表明:贮藏过程中鸡蛋失重率、蛋黄pH、蛋黄水分含量显著增加而蛋黄指数和哈弗单位(HU)显著下降($p < 0.05$);37℃贮藏15d后,总脂质含量由于水分迁移而呈现下降趋势(从28.93g/100g降至24.20g/100g),磷脂含量显著降低(45.55g/100g降至34.37g/100g脂质)而游离脂肪酸显著增加(1.24g/100g增至3.67g/100g脂质),与脂质变化相关的中性脂肪酶、酸性脂肪酶及磷脂酶至贮藏结束活力分别下降76.50%、56.78%、56.81%。磷脂组分中的磷脂酰胆碱(Phosphatidylcholine, PC)、磷脂酰乙醇胺(Phosphatidylethanolamine, PE)、磷脂酰肌醇(Phosphatidylinositol, PI)在贮藏过程中也呈现含量显著下降的趋势而过氧化值(Peroxide value, POV)、硫代巴比妥酸值(Thiobarbituric Acid Reactive Substances, TBARS)呈现显著升高。相关性分析证明脂质组分变化与酶活变化显著相关。本研究说明鸡蛋贮藏中脂质会发生明显的水解及氧化,这些变化在一定程度上由酶促氧化造成。

关键词: 鸡蛋; 贮藏; 脂质; 酶活性

文章编号: 1673-9078(2015)7-236-240

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.7.037

The Correlation between Changes in Lipid Composition and Enzymatic Activity in Eggs during High-temperature Storage

WANG Qing-ling^{1,2}, JIN Guo-feng¹, SHI Mu-xia¹, SHAN Ning¹, 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: Changes in lipid composition, lipase activity, and oxidation during egg storage at 37℃ were investigated, and the relationship between lipase activity and lipid oxidation was analyzed by a correlation analysis. The rate of egg weight loss, yolk pH, and moisture content of the yolk increased significantly, while the yolk index and Haugh unit (HU) decreased significantly during storage ($p < 0.05$). After a 15-day storage period at 37℃, the total lipid content decreased owing to moisture migration (from 28.93 g/100 g egg yolk to 24.20 g/100 g egg yolk), the phospholipid content decreased significantly (from 45.55 g/100 g lipid to 34.37 g/100 g lipid), and the free fatty acid content increased significantly (from 1.24 g/100 g lipid to 3.67 g/100 g lipid). By the end of the storage period, the neutral lipase, acid lipase, and phospholipase activity levels decreased by 76.50%, 56.78%, and 56.81%, respectively. The content of the phospholipid components phosphatidylcholine (PC), phosphatidylethanolamine (PE), and phosphatidylinositol (PI) all decreased during storage, whereas the peroxide value (POV) and amount of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) increased significantly. A correlation analysis showed that the changes in lipid composition were significantly correlated with changes in enzyme activity. These results reveal that apparent lipolysis and lipid oxidation occur during egg storage, and these changes are caused in part by enzymatic oxidation.

Key words: egg; storage; lipid; enzyme activity

鸡蛋由于其营养价值、功能特性被认为是一种廉价且营养丰富的食物,它含有大量蛋白质、维生素、

收稿日期: 2014-09-12

基金项目: 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,在读博士,讲师,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

矿物质、必需脂肪酸、磷脂及其它脂质^[1]。蛋黄中脂质占湿基的30~32%,主要由甘油三酯(62%)、磷脂(33%)及胆固醇(小于5%)组成。蛋黄磷脂主要包括磷脂酰胆碱(Phosphatidylcholine, PC)、磷脂酰乙醇胺(Phosphatidylethanolamine, PE)、磷脂酰肌醇(Phosphatidylinositol, PI)、溶血磷脂酰胆碱(Lysophosphatidylcholine, LPC)及磷脂酰丝氨酸

(Phosphatidylserine, PS)。

尽管鸡蛋营养丰富且在食品配料中应用广泛,但是鸡蛋在贮藏中尤其是高温贮藏过程中会发生一系列复杂的物理化学变化,例如浓厚蛋白稀化、水分损失、蛋白 pH 增加、蛋黄水分增加及蛋白质构象改变^[2]。鸡蛋的这些变化与蛋白和蛋黄的功能特性密切相关,且受贮藏时间、温度、湿度和气体环境的影响。

关于肉制品在加工及贮藏过程中的脂质变化规律及变化机理已经有了深入系统的研究。有学者研究了干腌里脊^[3]干腌板鸭^[4]加工过程中的脂质变化,他们一致认为磷脂是肌内脂质的重要部分且是游离脂肪酸的来源。然而,对于鸡蛋贮藏及加工过程中的脂质变化研究较少。Ren 等研究发现鸡蛋贮藏 28 天后丙二醛含量显著增加,贮藏也会降低蛋黄中的 n-3 多不饱和脂肪酸(PUFA)的含量^[5]。Botsoglou 等研究发现鸡蛋在贮藏过程中会出现 PUFA 降低而单不饱和脂肪酸(MUFA)增加的现象^[6]。然而对于鸡蛋贮藏过程中的脂解和脂质氧化还没有详尽报道。

因此,本研究的目的是阐明鸡蛋在高温贮藏过程中的理化参数(水分含量、HU、pH)脂质水解(脂质含量、脂肪酸组成、脂酶活性)和脂质氧化指标的变化,并通过相关性分析阐明脂质变化之间的关系。该课题的研究能够为鸡蛋贮藏及保鲜提供基础理论数据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 原料

新鲜鸡蛋(平均重量 60 ± 0.50 g)由华中农业大学动物研究中心提供;

1.1.2 药品与试剂

四甲基伞形酮钠盐、四甲基伞形酮油酸酯、亚油酸均购于 Sigma-Aldrich 公司,甲醇、氯仿、正己烷等均为分析纯。

1.1.3 仪器设备

GC(6890N, Agilent)配有 FID 检测器; HPLC(2695, Waters)配有 PDA 检测器;离心机(3~30K, Sigma); 荧光分光光度计(RF-5031PC, Shimadzu)

1.2 实验设计及方法

1.2.1 实验设计

新鲜鸡蛋于 37 ± 1 °C、45%相对湿度条件下贮藏 15 d,每 3 d 取样一次分别测定贮藏过程中基本理化指标、脂质组分、脂酶活性、氧化指标的变化规律,每

次测定重复三次,取样个体不少于 5 枚以消除个体差异。

1.2.2 指标测定方法

1.2.2.1 蛋黄水分含量测定

参考 GB5009.3-85 方法;

1.2.2.2 哈弗单位测定

鸡蛋称重后打破于蛋品质测定平台,用游标卡尺测定浓厚蛋白高度,利用公式计算 HU。

$$HU=100\log(H-1.7W^{0.37}+7.57)$$

1.2.2.3 蛋黄 pH 的测定

精确称取 5.00 g 蛋黄于 50 mL 离心管中,加入 5 mL 蒸馏水用高速均质机机 3000 r/min 匀浆 1 min,匀浆结束后立即用 pH 计测定匀浆物的 pH 值,每次测定重复三次。

1.2.3 总脂的提取及分离

总脂质参考 Folch 方法进行^[7],1.00 g 蛋黄样品用 20 mL 氯仿:甲醇(2:1)溶液提取后称重以计算油脂含量(以 g/100 g 蛋黄计)。称取 30~60 mg 脂质溶于 5 mL CHCl_3 :MeOH(2:1 V/V)溶液,移入氨基小柱(Bond Elut LRC-NH₂, Agilent)中,用 2.0 mL 氯仿-异丙醇(2:1, V/V)洗脱中性脂质,用 3.0 mL 2%乙酸-乙醚洗出游离脂肪酸,用 3.0 mL 甲醇溶液洗出磷脂,分别收集后氮气吹干,称重计算脂质组分含量。

经过胺丙基柱分离得到的磷脂用正己烷:异丙醇(3:2)定容至 0.3 mL,通过 Waters 1525(E2695)-PDA 检测器 405 nm 下检测其中磷脂组分的含量,以保留时间定性,外标法定量。磷脂含量表示为 g/100g 脂肪。

1.2.4 脂酶的提取及活性测定

粗酶的提取依据 Hernández(1999)等方法略作改进。5.00 g 样品,加入 25 mL 浓度为 50 mM、pH 7.5 磷酸缓冲液(含 EGTA 浓度为 5 mM)。在冰水浴中用高速匀浆机于 25000 r/min 均浆 4×10 s,冰水浴中匀速搅拌 30 min,之后于 4 °C、10000 g 离心 20 min,并用抽提缓冲液定容到 25 mL。该液利用双缩脲法测蛋白质含量,分析酶活。

中性脂肪酶活性测定:0.1 mL 酶提取液加入到 2.8 mL pH 7.5 的 0.22 M Tris/HCl 缓冲液中,该缓冲液含有 0.05%(m/V) Triton X-100,之后加入 0.1 mL 浓度为 1.0 mM 的 4-甲基伞形酮油酸酯作底物,于 37 °C 保温 30 min,立即于冰水浴中冷却,并用荧光光度计于 $\lambda_{\text{ex}}=350$ nm、 $\lambda_{\text{em}}=445$ nm 测荧光度。空白用同体积提取酶所用缓冲液代替酶提取液^[8]。

酸性脂肪酶活性测定:0.1 mL 酶提取液加入到 2.8 mL pH 5.0 的 0.1 M 磷酸氢二钠/0.05 M 柠檬酸缓冲液中,该缓冲液中含有 0.05%(m/V) Tritonx-100 和 0.8

mg/mL 牛血清白蛋白(BSA), 之后加入 0.1 mL 浓度为 1.0 mM 的 4-甲基伞形酮油酸酯作底物, 于 37 °C 保温 30 min, 立即用 0.5 mL 浓度为 1N 的盐酸终止反应, 用荧光光度计在 $\lambda_{\text{ex}}=350 \text{ nm}$ 、 $\lambda_{\text{em}}=445 \text{ nm}$ 测荧光度。空白用同体积提取酶所用缓冲液代替酶提取液^[8]。

磷脂酶活性测定: 0.1 mL 酶提取液加入到 2.8 mL pH 5.0 的 0.1M 磷酸氢二钠/0.05 M 柠檬酸缓冲液中, 该缓冲液中含有 150 mM 的氟化钠, 0.05%(V/V) TritonX-100 和 0.8 mg/mL 牛血清白蛋白 (BSA), 之后加入 0.1 mL 浓度为 1.0 mM 的 4-甲基伞形酮油酸酯作底物, 于 37 °C 保温 30 min, 立即用 0.5 mL 浓度为 1N 的盐酸终止反应, 用荧光光度计在 $\lambda_{\text{ex}}=350 \text{ nm}$ 、 $\lambda_{\text{em}}=445 \text{ nm}$ 测荧光度。空白用同体积提取酶所用缓冲液代替酶提取液^[9]。

以上所有测定都重复三次, 酶活性采用标准曲线法进行计算, 分别用以上三种酶测定所用缓冲液配制系列浓度的 4-甲基伞形酮溶液作标准曲线, 将 37 °C 条件下 1 g 酶蛋白在 1 h 内产生 1 nmol 的 4-甲基伞形酮定义为 1 个酶活性单位(U)。

1.2.5 氧化指标及脂肪氧合酶 (LOX) 的测定

精确称取 5.000 g 样品, 加入 3 倍体积浓度为 50 mM、pH 7.0 磷酸缓冲液, 该缓冲液中含 1 mM DTT

和 1mM EDTA。在冰水浴中用高速匀浆机于 25000 r/min 均浆 4×10 s, 匀浆结束后匀浆物在冰水浴中搅拌 30 min, 然后在 4 °C, 15000 g 条件下离心 60 min, 离心结束上清液用四层纱布过滤, 滤液即为 LOX 粗提液, 该提取液利用双缩脲法测蛋白质含量, 分析酶活。

200 μL 亚油酸钠底物与 2.9 mL、50 mM 的柠檬酸缓冲溶液 (pH 5.5) 混合, 于 20 °C 水浴中使其温度快速均匀, 待其在 234 nm 处的吸光值稳定后, 加入 0.1 mL 酶提取液, 迅速混合均匀于 20 °C、234 nm 处测其 1 min 内吸光度的增加量。1 个酶活性单位定义为每分钟每克酶蛋白质吸光度增加 1。

1.3 数据处理与统计分析

每个样品设置不少于 3 个重复, 数值采用 mean \pm SD 表示, 两组间差异采用单因素方差分析, 多组间差异采用 Duncan's 多重检验分析, 数据采用 SPSS 软件进行数据统计分析。P<0.05 表现为统计学上的显著性, P<0.01 表现为统计学上的极显著性。

2 结果与讨论

2.1 鸡蛋贮藏过程中基本理化指标的变化

表 1 鸡蛋贮藏过程中基本理化指标的变化

Table 1 Changes in basic physicochemical indexes during egg storage

	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d
失重率/%	-	2.19 \pm 0.08 ^c	5.09 \pm 0.10 ^d	7.16 \pm 0.08 ^e	9.71 \pm 0.24 ^b	12.26 \pm 0.79 ^a
水分含量/%	48.79 \pm 0.06 ^e	49.71 \pm 0.05 ^d	51.00 \pm 0.17 ^c	52.26 \pm 0.29 ^b	52.54 \pm 0.04 ^b	53.62 \pm 0.31 ^a
蛋黄 pH	6.06 \pm 0.01 ^e	6.07 \pm 0.01 ^e	6.20 \pm 0.01 ^d	6.26 \pm 0.01 ^c	6.30 \pm 0 ^b	6.53 \pm 0.01 ^a
HU	91.93 \pm 0.58 ^a	81.67 \pm 0.55 ^b	63.15 \pm 4.77 ^c	51.26 \pm 5.80 ^d	42.30 \pm 2.43 ^e	32.70 \pm 1.94 ^f
蛋黄指数	0.49 \pm 0.01 ^a	0.24 \pm 0 ^b	0.17 \pm 0.01 ^c	0.15 \pm 0.01 ^d	0.14 \pm 0.03 ^d	0.10 \pm 0.01 ^e

注: 结果表示为平均值 \pm 标准偏差; 同行中具有不同角标者为差异显著 (P<0.05)。

表 1 为鸡蛋在 37 °C 条件下贮藏基本理化指标的变化。由上表可知, 鸡蛋在贮藏过程中通过蛋壳的气孔进行呼吸和内外物质的交换^[10], 蛋内水分及气体的迁移使得蛋重显著下降, 贮藏 15 d 后失重率达到 12.26%。蛋黄的水分含量随着贮藏时间延长不断增加, 这种现象是由于蛋清内水分向蛋黄迁移^[10]。在贮藏过程中, 蛋黄 pH 由 6.06 上升至 6.53, 这种变化归结于蛋内 CO₂ 通过气孔的逸出^[10]。此外, 表征鸡蛋新鲜度的指标 HU、蛋黄指数出现显著降低。哈弗单位和蛋黄指数的变化都说明贮藏时间越长, 鸡蛋的新鲜度越差。

2.2 鸡蛋贮藏过程中脂质组分及相关酶活性的变化

由表 2 可知, 新鲜蛋黄中总脂含量为 28.93 g/100

g 蛋黄, 其由 53.31% 的中性脂、1.24% 的游离脂肪酸和 45.55% 的磷脂组成。贮藏期间总脂含量出现下降趋势, 但在贮藏 3 d 后变化不显著, 到贮藏 15 d 结束较新鲜鸡蛋总脂质下降了 16.34%。总脂含量下降主要是由于脂质氧化造成, 其次, 贮藏中蛋黄水分迁移也是造成总脂降低的一个原因。在总脂肪的变化中, 中性脂质相对含量在整个贮藏过程中呈增加的趋势。磷脂含量在整个贮藏过程中显著下降 (p<0.05); 游离脂肪酸含量在贮藏过程中显著增长。鸡蛋贮藏过程中, 磷脂的水解导致磷脂分子降解而另其含量降低, 同时, 磷脂 Sn-2 上的脂肪酸在脂肪酶作用下发生的水解也会导致游离脂肪酸含量的增加。在鸡蛋脂质的整个体系中, 磷脂与中性脂和游离脂肪酸的总和呈现相互消长的规律, 这也是中性脂相对含量升高的原因。在鸡

蛋贮藏的整个阶段, 中性脂质的含量一直处于主导地位。类似的脂质变化规律在南京板鸭的加工过程中也

表 2 鸡蛋贮藏过程中脂质组分及脂酶活性的变化

Table 2 Changes in lipid composition and lipase activity during egg storage

	取样时间					
	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d
总脂(TL)	28.93±0.79 ^a	25.07±1.28 ^b	25.20±0.76 ^b	24.95±0.60 ^b	24.48±1.73 ^b	24.20±0.30 ^b
中性脂(NL)	53.31±1.66 ^d	57.50±0.70 ^c	57.16±1.22 ^c	58.17±2.73 ^{bc}	60.59±1.12 ^{ab}	61.94±0.39 ^a
游离脂肪酸(FFA)	1.24±0.15 ^e	1.45±0.50 ^{cd}	1.89±0.38 ^{bcd}	2.45±0.96 ^{bc}	2.78±0.19 ^{ab}	3.67±0.29 ^a
磷脂(PL)	45.55±0.85 ^a	41.05±0.20 ^b	40.95±1.12 ^b	39.39±2.07 ^b	36.63±1.12 ^c	34.37±0.15 ^d
中性脂肪酶×10 ⁶	6.17±0.30 ^a	3.95±0.06 ^b	2.18±0.12 ^c	1.69±0.02 ^d	1.56±0.02 ^e	1.45±0.01 ^e
酸性脂肪酶×10 ⁵	3.17±0.03 ^a	2.44±0.06 ^b	2.20±0.06 ^c	2.06±0.03 ^d	1.77±0.02 ^e	1.37±0.02 ^f
磷脂酶×10 ⁵	6.02±0.14 ^a	4.41±0.08 ^b	3.93±0.02 ^c	3.50±0.02 ^d	3.09±0.01 ^e	2.60±0.07 ^f

注: 总脂肪单位: g/100 g 蛋黄; 中性脂质、磷脂、游离脂肪酸单位: g/100 脂肪; 中性脂肪酶单位: 酶活 U×10⁶, 酸性脂肪酶、磷脂酶单位: 酶活 U×10⁵, 定义为 1 g 酶蛋白在 1 h 内产生 1nmol 四甲基伞形酮为一个酶活。脂肪氧合酶: 酶活 U, 定义为 1g 酶蛋白在 1 min 内吸光值上升 1。同行中具有不同角标者为差异显著 (P<0.05)。

中性脂肪酶、酸性脂肪酶和磷脂酶是蛋黄中与脂质水解相关的酶, 与猪肉中的测定结果不同^[12], 在新鲜鸡蛋中性脂肪酶呈现最高的酶活而酸性脂肪酶酶活最低, 这可能是由于食品基质不同、pH 环境不同所致。磷脂酶在磷脂的水解及变化中发挥重要作用。从总体上来分析, 中性脂肪酶、酸性脂肪酶和磷脂酶的酶活在贮藏过程中呈现显著下降趋势, 贮藏 15 天后, 其酶活分别下降了 76.50%、56.78%、56.81%。随着鸡蛋贮藏时间的延长及鸡蛋品质的劣变, 蛋黄中的酶活力不断下降。

2.3 鸡蛋贮藏过程中磷脂组分含量变化

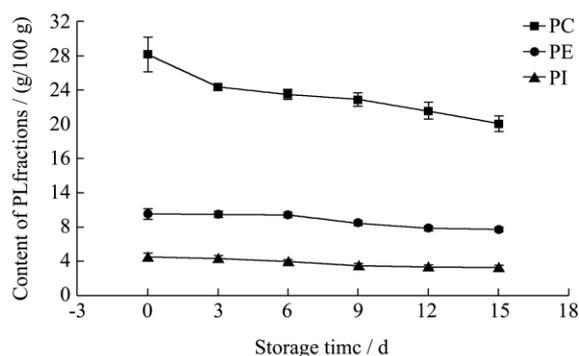


图 1 贮藏过程中磷脂组分含量的变化

Fig.1 Changes in the content of phospholipid components during egg storage

与鸭肉、猪肉中的磷脂组成相似, 蛋黄磷脂最典型的特点是 PC 含量最高。新鲜鸡蛋中磷脂含量占脂质总量的 45.55%, 而 PC、PE 和 PI 分别占总脂质的 28.13%、9.49%、4.43%。从图 1 可以看出, 鸡蛋贮藏

被证实^[11]。

过程中, 磷脂总量下降的同时, 各个磷脂组分在贮藏中也出现显著下降, 37 °C 贮藏 15 d 结束, 三种磷脂组分分别下降 28.87%、19.07% 及 28.22%。这是由于磷脂结构中 Sn-2 位上饱和脂肪酸较多, 磷脂组分较甘油三酯更容易发生水解, 水解的结果导致磷脂含量的减少, 而游离脂肪酸含量的增加。

2.4 鸡蛋贮藏过程中的脂质氧化变化

表 3 反应了鸡蛋贮藏过程中过氧化值 (POV)、硫代巴比妥酸值 (TBARS) 以及与脂肪氧合酶 (LOX) 的活性变化。TBARS 表征的是体系中丙二醛 (MDA) 的浓度, MDA 来源于脂质氧化, 但是随着氧化的进行又能够与其它化合物 (胺类、氨基酸、蛋白、核酸) 发生反应而消耗自身^[13]。因此, 在脂质氧化后期可能出现 TBARS 下降的可能。Galobart 等发现鸡蛋在贮藏前 60 d TBARS 上升继而出现下降趋势^[14]。本研究的结果显示: 随着鸡蛋贮藏时间的延长, POV 及 TBARS 变化趋势基本一致且呈显著上升趋势。说明鸡蛋在 37 °C 条件下贮藏, 随着贮藏时间的延长, 其氧化程度越来越高。

鸡蛋贮藏过程中的酶促氧化主要是脂肪氧合酶催化不饱和脂肪酸发生的氧化反应, 脂肪氧合酶使 1 个氧分子与脂肪酸结合, 该酶主要作用是从不饱和脂肪酸的 1,4-戊二烯结构中有立体取向地消除氢, 随后发生氧合作用^[15]。

表 3 显示 LOX 在鸡蛋贮藏过程中出现显著变化, 在贮藏至第 9 d LOX 活性一直呈现降低趋势, 在第 12 d 出现升高, 随后又下降的趋势。

表 3 鸡蛋贮藏过程中的脂质氧化指数及 LOX 变化

Table 3 Changes in the index of lipid oxidation and LOX during egg storage

	取样时间					
	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d
POV	0 ^e	0.70±0.01 ^d	1.16±0.12 ^c	1.37±0.06 ^b	1.54±0.14 ^a	1.66±0.07 ^a
TBARS	0.05±0 ^f	0.13±0.03 ^d	0.31±0.03 ^c	0.44±0.09 ^b	0.50±0.03 ^b	0.65±0.07 ^a
脂肪氧合酶活性	55.49±4.33 ^a	47.70±5.84 ^b	43.51±1.86 ^b	35.01±3.45 ^c	56.50±6.23 ^a	44.82±1.13 ^b

注: POV 单位: meq/kg; TBARS 单位: MDA/kg; 同行中具有不同角标者为差异显著 (P<0.05)。

2.5 相关性分析

对总脂、游离脂肪酸、磷脂、中性脂、中性脂肪酶、酸性脂肪酶、磷脂酶、TBARS 及 LOX 进行相关性分析, 结果如表 4。

表 4 相关性分析结果

Table 4 Results of the correlation analysis

	TL	TBA	FFA	PL	NL	NA	AA	PA	LOX
TL	1								
TBA	-0.92	1							
FFA	-0.84	0.85	1						
PL	0.94	-0.93	-0.79	1					
NL	-0.90	0.88	0.67	-0.98	1				
NA	0.90	-0.89	-0.75	0.85	-0.81	1			
AA	0.97	-0.95	-0.86	0.95	-0.91	0.93	1		
PA	0.97	-0.93	-0.83	0.94	-0.90	0.96	0.99	1	
LOX	0.13	-0.24	-0.16	0.18	-0.18	0.42	0.28	0.33	1

注: TL(总脂), FFA (游离脂肪酸), PL (磷脂), NL(中性脂), NA (中性脂肪酶), AA (酸性脂肪酶), PA(磷脂酶)。

脂质组分、脂肪酶及氧化指标的相关性分析显示: 中性脂肪酶、酸性脂肪酶及磷脂酶与脂质组分之间呈显著相关性, 其中磷脂酶 (PA) 与磷脂 (PL) 的相关系数为 0.94, 说明磷脂酶活性越强, 磷脂含量越高, 呈显著正相关, 磷脂酶与游离脂肪酸 (FFA) 的相关系数为-0.83, 说明磷脂酶与游离脂肪酸呈显著负相关。此外, 相关性分析说明游离脂肪酸含量与磷脂含量、三种酶活力、LOX 活力呈负相关, 而与中性脂含量呈正相关。代表氧化程度的 TBARS 与磷脂含量呈显著负相关 (-0.93), 说明在蛋黄脂质氧化过程中磷脂含量显著降低。

3 结论

对鸡蛋贮藏过程中的脂质变化进行研究, 发现鸡蛋在 37 °C 贮藏 15 d, 其品质发现明显劣变。贮藏过程中蛋黄水分含量、蛋黄 pH 显著升高, 而表征蛋品新鲜度的 HU、蛋黄指数显著下降。至贮藏结果, 蛋黄中总脂含量下降 16.30%, 磷脂组分含量呈现显著下降

而游离脂肪酸显著升高。与脂质水解相关的中性脂肪酶、酸性脂肪酶及磷脂酶的活性显著降低。磷脂组分分析显示蛋黄中主要的磷脂组分 PC、PE、PI 在经过 15 d 贮藏后其含量分别下降了 28.87%、19.07% 及 28.22%。此外, 用 POV、TBARS 来表征鸡蛋贮藏中的脂质氧化, 表明随着贮藏时间的延长, 两个氧化指标均呈现显著上升趋势, 而蛋黄中 LOX 的变化呈现下降趋势, 但在贮藏第 12 天出现一个拐点。通过对鸡蛋贮藏过程中脂质变化规律的研究发现, 蛋黄在贮藏过程中会发现显著的脂质水解及脂质氧化。

参考文献

- [1] Anton M. Egg yolk: structures, functionalities and processes [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(12): 2871-2880
- [2] Biladeau A, Keener K. The effects of edible coatings on chicken egg quality under refrigerated storage [J]. Poultry Science, 2009, 88(6): 1266-1274
- [3] Hernández P, Navarro J L, Toldrá F. Lipolytic and oxidative changes in two Spanish pork loin products: Dry-cured loin and pickled-cured loin [J]. Meat Science, 1999, 51: 123-128
- [4] Xu W, Xu X, Zhou G. et al. Changes of intramuscular phospholipids and free fatty acids during the processing of Nanjing dry-cured duck [J]. Food Chemistry, 2008, 110: 279-284
- [5] Ren Y, Perez T I, Zuidhof M J. et al. Oxidative Stability of Omega-3 polyunsaturated fatty acids enriched eggs [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(47): 11595-11602
- [6] Botsoglou, E., Govaris, A., Pexara, A. et al. Effect of processing and storage on the fatty acid composition of n-3 or n-6 fatty acid-enriched eggs [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2012, 47(11): 2388-2396
- [7] 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 Chemistry, 1957, 226(1): 497-509
- [8] Vestergaard C S, Schivazappa C, Virgili R. Lipolysis in

- dry-cured ham maturation [J]. *Meat Science*, 2000, 55(1):1-5
- [9] Motilva M J, Toldrà F, Flores J. Assay of lipase and esterase activities in fresh pork meat and dry-cured ham [J]. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 1992, 195(5):446-450
- [10] Wardy W, Torrico D D, Herrera Corredor, et al. Soybean oil-chitosan emulsion affects internal quality and shelf-life of eggs stored at 25 and 4 °C [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2013, 48(6): 1148-1156
- [11] Xu W, Xu X, Zhou G, et al. Changes of intramuscular phospholipids and free fatty acids during the processing of Nanjing dry-cured duck [J]. *Food Chemistry*, 2008, 110(2): 279- 284
- [12] Jin G, Zhang J, Yu X, et al. Lipolysis and lipid oxidation in bacon during curing and drying-ripening [J]. *Food Chemistry*, 2010, 123: 465-471
- [13] Ventanas S, Estevez M, Delgado C L, et al. Phospholipid oxidation, non-enzymatic browning development and volatile compounds generation in model systems containing liposomes from porcine Longissimus dorsi and selected amino acids [J]. *European Food Research and Technology*, 2007, 225: 665-675
- [14] Galobart J, Barroeta A, Baucells M, et al. Lipid oxidation in fresh and spray-dried eggs enriched with omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids during storage as affected by dietary vitamin E and canthaxanthin supplementation [J]. *Poultry science*, 2001, 80(3): 327-337
- [15] Fu X, Xu S, Wang Z. Kinetics of lipid oxidation and off-odor formation in silver carp mince: The effect of lipoxygenase and hemoglobin [J]. *Food Research International*, 2009, 42: 85-90