

# 腌制温度和食盐用量对咸鸭蛋蛋黄脂质的影响

龙 门<sup>1</sup>, 宋 野<sup>2</sup>, 杜庆飞<sup>1</sup>, 周 頔<sup>1</sup>, 蔡华珍<sup>1</sup>, 詹 歌<sup>1\*</sup>

(1. 滁州学院生物与食品工程学院, 滁州 239000; 2. 国家肉品质量与安全控制工程技术研究中心, 农业部畜产品加工与质量控制重点开放实验室, 食品安全与营养协同创新中心, 南京农业大学食品科技学院, 南京 210095)

**摘 要:** 为进一步提高咸鸭蛋品质, 以鸭蛋为原料, 分析不同腌制条件对蛋黄中脂质存在形式、脂质氧化速率的影响。结果表明, 在腌制过程中, 随着腌制温度的升高、腌制时间的延长, 蛋黄指数、脂质含量、蛋黄皂化值均显著增加 ( $P<0.05$ ); 腌制用盐量对蛋黄中脂质的皂化值有显著的促进作用 ( $P<0.05$ )。在腌制液食盐质量分数为 20%~30%时, 升高腌制温度对蛋黄中脂质二次氧化(硫代巴比妥酸值 thiobarbituric acid, TBARS)有显著促进作用 ( $P<0.05$ ), 在腌制 30 d 后, TBARS 无显著变化; 并且在试验条件下, 提高腌制用盐量能显著提高蛋黄中的 TBARS ( $P<0.05$ ); 动力学分析表明, 增加食盐用量能够降低蛋黄中脂质初始氧化反应的活化能, 从而促进脂质氧化。因此, 通过调整腌制用盐量及腌制温度能够实现咸鸭蛋蛋黄中脂质氧化的调控, 由此得出咸鸭蛋较好的腌制条件为腌制温度 25℃、腌制用盐量 25 g/(100 g)、腌制时间为 25 d, 该研究结果可以为咸鸭蛋的腌制生产提供技术参考。

**关键词:** 脂肪酸; 模型; 盐; 咸蛋黄; 脂质分解; 二次氧化

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.038

中图分类号: TS206.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-18-0281-08

龙 门, 宋 野, 杜庆飞, 周 頔, 蔡华珍, 詹 歌. 腌制温度和食盐用量对咸鸭蛋蛋黄脂质的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 281—288. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.038 http://www.tcsae.org

Long Men, Song Ye, Du Qingfei, Zhou Di, Cai Huazheng, Zhan Ge. Effect of pickling temperature and concentration of salt solution on lipid of duck egg yolk[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(18): 281—288. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.038 http://www.tcsae.org

## 0 引 言

鸭蛋作为中国重要的蛋制品具有风味独特、食用方便、营养丰富等特点, 深受消费者喜爱<sup>[1-2]</sup>。咸鸭蛋是中国鸭蛋的重要食用方式, 主要是在高浓度的盐溶液中, 在一定温度条件下, 通过盐溶液的扩散作用加工而成; 具有食用简单、风味独特、营养价值全面的特点<sup>[3-4]</sup>。咸鸭蛋在腌制过程中, 食盐通过蛋壳及蛋壳膜不断向蛋内渗透和扩散<sup>[5-6]</sup>, 虽然没有改变蛋白中蛋白质及脂肪的成分, 但却改变了蛋白中蛋白质的热聚集特性及脂质的特性<sup>[7-8]</sup>。因此, 咸鸭蛋蛋黄中脂质存在形式对鸭蛋的感官品质有重要的影响。

在咸鸭蛋中, 随着盐离子的渗透, 蛋黄中稳定的乳化体系遭到破坏, 脂质不断分解、氧化, 对咸鸭蛋风味品质有重要的贡献作用<sup>[9-10]</sup>, 但是过度的脂质分解氧化会严重影响食用品质<sup>[11]</sup>。研究表明, 蛋黄中游离脂肪酸质

量分数高于 4 mg/(100 g)时, 则不能被食用<sup>[12]</sup>; 另外, 蛋黄中复杂的脂质氧化过程也会对蛋黄品质产生重要的影响, 主要是因为脂质氧化产生的醛、酮、酯、酸等是重要的挥发性风味物质, 对蛋黄的风味品质有促进作用<sup>[13-14]</sup>, 但是对咸鸭蛋中脂质分解氧化系统性的研究还未见报道。另有研究表明, 过分的脂质氧化会产生油耗味, 同样会影响产品的品质<sup>[15]</sup>。现阶段对咸鸭蛋的研究主要侧重于对腌制工艺的优化<sup>[16-17]</sup>, 而对产品腌制中脂质分解氧化及机理的研究还很欠缺。因此, 本文以高邮麻鸭蛋为原料, 参考高邮市传统咸鸭蛋腌制方法, 通过对脂肪酸组成及脂质氧化活化能分析不同腌制温度及食盐用量对蛋黄脂质分解及二次氧化氧化的影响, 以期对咸鸭蛋的加工发展及脂质分解氧化的研究提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 材料与试剂

试验所用鸭蛋为高邮养殖场当天同批新鲜麻鸭蛋, 高邮市红太阳食品有限公司, 平均质量为 65~75 g。食盐、白酒、五香粉等配料均购于滁州市农贸市场。

三氯甲烷、正己烷、无水乙醇、无水乙醚、碳酸氢钠、冰乙酸、浓硫酸、胆固醇、无水硫酸钠等试剂均为国产分析纯; 37 种脂肪酸甲酯混标购于美国 Sigma 公司。

#### 1.1.2 仪器与设备

JY5002 型电子天平(上海良平仪器仪表有限公司); FHJ-25 型匀浆机(上海精密科学仪器有限公司); HH-6

收稿日期: 2015-05-05 修订日期: 2015-08-04

基金项目: 滁州学院科研启动金禽蛋抑菌保鲜包装及深加工关键技术研究和新产品开发(2014qd040); 安徽省专业改造及新专业建设: 食品质量与安全(2013zytz072)

作者简介: 龙 门, 女(汉), 安徽淮北人, 讲师(博士), 主要从事畜产品加工与品质控制的研究, 滁州 滁州学院生物与食品工程学院, 239000。

Email: czxy\_lm@163.com

\*通信作者: 詹歌, 男(汉), 河南信阳人, 讲师(博士), 主要从事农产品深加工及贮藏的研究, 滁州 滁州学院生物与食品工程学院, 239000。

Email: zhangczxy@163.com

型数显恒温水浴锅(国华电器有限公司); SPX-250C 型恒温恒湿箱(上海博讯实业有限公司医疗设备厂); RE-52A 旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂); 85-1 磁力搅拌器(上海司乐仪器有限公司); GC2014-C 气相色谱仪(日本岛津公司)。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 腌制工艺

参考高邮市红太阳食品有限公司现用腌制工艺确定文中咸鸭蛋腌制工艺为:

原料检验与清洗→腌制液配制→腌制→抽检→出缸及清洗。

原料检验与清洗: 从养殖场购得新鲜鸭蛋, 通过照蛋逐个灯检, 剔除不宜加工的异形蛋、破壳蛋以及裂纹蛋, 挑选出优良鸭蛋作为本试验的原料, 凉开水洗净, 晾干待用。

出缸及清洗: 腌制一段时间后出缸, 用 40℃ 左右的凉开水将咸鸭蛋逐个洗净并置于车间(温度(20±2)℃)中晾干备用。

### 1.2.2 试验设计

腌制温度: 根据传统咸鸭蛋腌制工艺, 固定腌制用盐量为 30 g/(100 g), 并置于恒温箱中分别在 4、15、25、35℃ 腌制条件下腌制 30 d 时, 测定咸鸭蛋蛋黄的蛋黄指数、蛋黄油含量及组成、皂化值。

腌制时间: 根据传统咸鸭蛋腌制工艺, 固定腌制用盐量为 30 g/(100 g), 在腌制温度为 25℃ 时, 分别在 0、20、25、30、35 d 时, 测定咸鸭蛋蛋黄的蛋黄指数、蛋黄油含量及组成、皂化值。

腌制用盐量: 根据传统咸鸭蛋腌制工艺, 分别在腌制用盐量为 20、25、30 g/(100 g)、腌制温度为 25℃ 条件下腌制 30d, 分析咸鸭蛋蛋黄的蛋黄指数、蛋黄油含量及组成、皂化值。

1) 腌制条件对脂质二次氧化(硫代巴比妥酸 thiobarbituric acid, TBARS 值)的影响

分别测定在腌制用盐量为 20、25、30 g/(100 g), 腌制温度为 4、15、25、35℃ 条件下, 腌制 0、5、10、15、20、25、30、35 d 时, 蛋黄的脂质二次氧化的变化。

2) 咸鸭蛋腌制过程中蛋黄脂肪酸组成变化分析

在固定腌制用盐量为 25 g/(100 g)、腌制温度为 25℃、腌制时间为 0、20、25、30、35 d 时, 咸鸭蛋蛋黄的脂肪酸组成的变化。

3) 咸鸭蛋腌制过程中蛋黄游离脂肪酸的变化分析

在固定腌制用盐量为 25 g/(100 g)、腌制温度为 25℃、腌制时间为 0、20、25、30、35 d 时, 咸鸭蛋蛋黄的游离脂肪酸组成的变化。

### 1.2.3 方法测定

1) 蛋黄指数测定

将蛋清和蛋黄分开, 分离后的蛋黄放置于干净的培养皿中, 静置 5 min 后用游标卡尺测量蛋黄高度(mm)、蛋黄直径(mm)。以蛋黄高度和蛋黄直径之比表示蛋黄指数<sup>[18]</sup>。

$$\text{蛋黄指数} = \text{蛋黄高度} / \text{蛋黄直径} \times 100\% \quad (1)$$

### 2) 脂质提取分离

总脂肪提取方法<sup>[19]</sup>为取 2.0 g 蛋黄于离心管加 25 mL 氯仿: 甲醇(体积比 2:1), 匀浆 60 s 后转移到带塞量筒中用氯仿: 甲醇(2:1)定容到 40 mL, 静置 0.5 h 后过滤; 加 0.22 倍体积的质量分数为 0.9% 的生理盐水(按照蛋黄中含水率 27.5% 估算加入量, 使氯仿: 甲醇: 水体积比为 8:4:3, 有利于提取脂质), 3 000 r/min 离心 15 min, 吸净上层液体(水、甲醇、离子杂质), 剩余液体在 40℃ 水浴真空蒸干, 残留物于 -20℃ 条件贮存备用。取 30~60 mg 脂肪, 溶解于 5 mL 的氯仿: 甲醇溶液(体积比 2:1)中, 然后全部吸取用 100 mg 的氨丙基硅柱分离, 先用 5 mL 的氯仿: 异丙醇溶液(体积比 2:1)分理出中性脂质, 再用 5 mL 质量分数为 2% 的乙酸-乙醚溶液分离出游离脂肪酸, 最后用 5 mL 的甲醇: 盐酸溶液(体积比 9:1)分离出磷脂。

### 3) 脂质二次氧化(TBARS)测定

采用 Zhang J 的方法测定<sup>[20]</sup>。TBARS 值通过标准曲线来计算( $y=0.9119x+0.009$ ,  $R^2=0.9987$ ), 结果用蛋黄中丙二醛的质量分数表示(mg/kg)。

### 4) 油脂皂化值的测定

鸭蛋蛋黄油皂化值的测定按照国标 GB/T5534-2008 执行。

### 5) 脂肪酸的甲酯化

参考 Savage 等<sup>[21]</sup>的方法, 并略作修改。称取 200 mg 上述从蛋黄中提取的脂肪于烧瓶中, 加入 5 mL 0.5 mol/L 氢氧化钠-甲醇溶液, 60℃ 水浴 10~15 min, 加入 5 mL BF<sub>3</sub>-CH<sub>3</sub>OH 甲酯化试剂, 60℃ 水浴 30 min, 之后加入 2 mL 正己烷、2 mL 饱和食盐水, 振摇, 取上层液体过有机相膜(0.45 μm), 放入气相瓶中待测。

### 6) 游离脂肪酸的提取及甲酯化

参考 Coutron-gambotti 等<sup>[22]</sup>的方法, 并略作修改。称取 100 mg 上述从蛋黄中提取的脂肪于烧瓶中, 加入 15 mL 丙酮-甲醇溶液(体积比 2:1), 之后加入 200 mg A-26 阴离子交换树脂, 120 r/min 振摇 40 min, 静置后除去溶剂, 用丙酮-甲醇溶液洗涤 5 次, 每次 3 mL, 室温((22±2)℃)用 N<sub>2</sub> 吹干树脂, 即可得到游离脂肪酸。之后加入 5 mL 氢氧化钠-甲醇溶液, 60℃ 水浴 10~15 min, 加入 5 mL 甲酯化试剂, 60℃ 水浴 30 min, 冷却后加入 2 mL 正己烷、2 mL 饱和食盐水, 振摇, 取上层液体过有机相膜(0.45 μm), 放入气相瓶中待测。

### 7) 气相色谱条件

色谱柱: C P-sil88f r FAME 毛细管柱(100 m×0.25 mm, 0.2 μm); 进样口温度 230℃; 检测器温度 240℃; 升温程序: 初始温度 45℃, 保持 4 min, 13℃/min 升至 175℃, 保持 27 min, 4℃/min 升至 215℃, 保持 35 min; 载气 N<sub>2</sub>; 柱流速 1.8 mL/min; 不分流进样; 进样时间 1 min; 进样量 1.0 μL。

定性与定量分析: 通过与脂肪酸甲酯标准品对照保留时间进行定性分析, 采用外标法计算各脂肪酸的含量。

8) 脂质二次氧化动力学分析

根据 Callgaris<sup>[23]</sup>研究方法, 通过对 TBARS 测定结果的起始增长阶段进行线性回归分析法来计算 TBARS 生成的表观零级速率常数。然后利用阿伦尼乌斯方程 (Arrhenius equation), 通过  $\ln k$  对  $1/T$  作图, 计算二级氧化反应的活化能来评价腌制温度及用盐量对咸鸭蛋蛋黄中脂质二次氧化速率的影响。

$$\ln k = -\frac{Ea}{RT} + \ln k_0 \quad (2)$$

式中:  $k$  表示化学反应速率常数,  $R$  是气体摩尔常数 ( $8.314\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ),  $T$  是绝对温度,  $\text{K}$ ;  $Ea$  是反应活化能,  $\text{J}/\text{mol}$ ;  $k_0$  是指前因子或表观频率因子。

1.3 数据处理

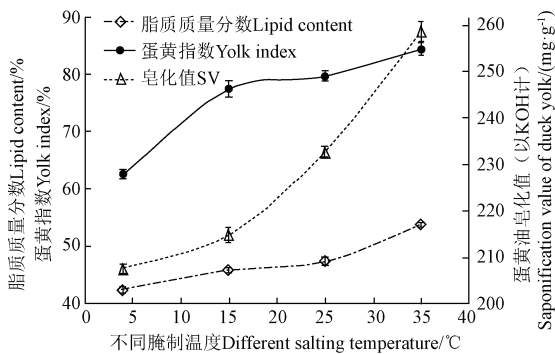
所有数据利用 Microsoft Excel 软件进行统计处理, 用 SAS 9.2 软件进行 ANOVA 分析, 不同平均值之间利用 LSD 法进行差异显著性检验 ( $n=3$ )。

2 结果与分析

2.1 腌制条件对咸鸭蛋脂质的影响

2.1.1 腌制温度对咸鸭蛋脂质的影响

图 1 为腌制温度对咸鸭蛋蛋黄的脂质品质变化的影响。



注: 腌制时间为 30 d; 腌制用盐量为 30 g/(100 g)。  
Note: Curing time was 30 d and the salt dosage was 30 g/(100 g).

图 1 不同腌制温度对蛋黄脂质的影响

Fig.1 Effects of different curing temperatures on egg yolk lipids

表 1 不同腌制温度对蛋黄脂质组成的影响

Table 1 Effects of different curing temperatures on lipid composition of egg yolk

腌制温度 Salting temperature/ $^{\circ}\text{C}$	中性脂质 Neutral lipids/ ( $\text{g}/(100\text{ g})^{-1}$ )	磷脂 Phospholipid/ ( $\text{g}/(100\text{ g})^{-1}$ )	脂肪酸 Fatty acid/ ( $\text{g}/(100\text{ g})^{-1}$ )
4	67.848 $\pm$ 0.658b	31.079 $\pm$ 0.553a	1.073 $\pm$ 0.105c
15	68.516 $\pm$ 0.850b	30.178 $\pm$ 0.991a	1.306 $\pm$ 0.168c
25	70.012 $\pm$ 0.355a	28.162 $\pm$ 0.334b	1.826 $\pm$ 0.207b
35	69.836 $\pm$ 0.592a	27.796 $\pm$ 0.698b	2.368 $\pm$ 0.129a

注: 同列中不同字母 (a,b,c,...) 表示差异显著 ( $P<0.05$ ); 腌制时间为 30 d; 腌制用盐量为 30 g/(100 g)。

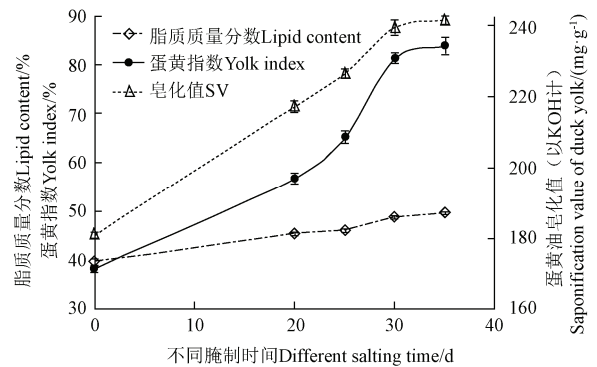
Note: The same column with different letters (a,b,c,...) indicated significant differences ( $P<0.05$ ); curing time was 30 d and the salt dosage was 30 g/(100 g).

从图 1 中可以看出, 随着腌制温度的提高, 蛋黄中脂质含量、蛋黄指数以及皂化值不断增加, 主要的原因是在一定腌制时间 (0~35 d) 内, 随着腌制温度的升高,

影响了蛋黄内盐离子的渗透速率, 造成蛋黄失水增加, 从而影响了蛋黄中的油水乳化体系, 造成脂质不断分解变化<sup>[22]</sup>。不同脂质组成成分的相对含量变化见表 1。从表中可以看出, 随着腌制温度的增加, 游离脂肪酸呈上升趋势, 而蛋黄中磷脂不断降低, 可能是因为随着腌制温度的升高, 蛋黄中磷脂酶  $A_1$ 、 $A_2$  活力逐渐增加, 促进了蛋黄中磷脂的酶解<sup>[24]</sup>。因此可以得出, 在腌制温度为  $25^{\circ}\text{C}$  时咸鸭蛋有较高的蛋黄品质。

2.1.2 腌制时间对咸鸭蛋脂质的影响

不同腌制时间对咸鸭蛋蛋黄脂质的影响见图 2。从图 2 中可以看出, 随着腌制时间的延长, 蛋黄脂质逐渐稳定, 在腌制 0~30 d 内, 脂质含量、蛋黄指数及蛋黄油皂化值均显著增加 ( $P<0.05$ ); 但是随着腌制时间的继续增加 (30~35 d), 蛋黄中脂质含量、蛋黄指数及蛋黄油皂化值逐渐趋于稳定 ( $P>0.05$ ); 对应的游离脂肪酸及磷脂也存在相同的变化趋势 ( $P>0.05$ ) (表 2)。分析原因主要是因为, 在腌制前期,  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  不断渗透, 蛋黄液的脂质渗出并分解; 但是在腌制后期, 盐分、水分渗透过程逐渐趋于稳定, 蛋黄腌制逐渐成熟, 脂质无显著变化 ( $P>0.05$ )。因此, 咸鸭蛋的腌制是一个动态的过程, 在一定条件下, 随着腌制时间的延长, 脂质品质逐渐趋于稳定 ( $P>0.05$ )。因此得出咸鸭蛋在腌制 25 d 时蛋黄有较高的品质。



注: 腌制温度为  $25^{\circ}\text{C}$ ; 腌制用盐量为 30 g/(100 g)。  
Note: curing temperature was  $25^{\circ}\text{C}$  and the salt dosage was 30 g/(100 g).

图 2 不同腌制时间对蛋黄脂质的影响

Fig.2 Effects of different curing time on egg yolk lipids

表 2 不同腌制时间对蛋黄脂质组成的影响

Table 2 Effects of different curing time on lipid composition of egg yolk

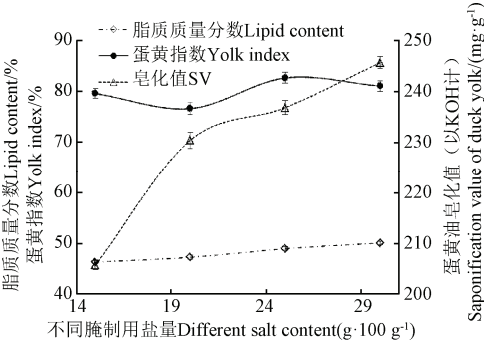
腌制时间 Salting time/d	中性脂质 Neutral lipids/ ( $\text{g}/(100\text{ g})^{-1}$ )	磷脂 Phospholipid/ ( $\text{g}/(100\text{ g})^{-1}$ )	脂肪酸 Fatty acid/ ( $\text{g}/(100\text{ g})^{-1}$ )
0	67.681 $\pm$ 0.721a	31.351 $\pm$ 0.363a	0.968 $\pm$ 0.441c
20	68.947 $\pm$ 0.757b	29.744 $\pm$ 0.630b	1.309 $\pm$ 0.127bc
25	69.339 $\pm$ 0.305b	29.085 $\pm$ 0.310bc	1.576 $\pm$ 0.151ab
30	69.793 $\pm$ 0.641b	28.413 $\pm$ 0.493cd	1.794 $\pm$ 0.150a
35	70.076 $\pm$ 0.574b	28.016 $\pm$ 0.540d	1.908 $\pm$ 0.149a

注: 同列中不同字母 (a,b,c,...) 表示差异显著 ( $P<0.05$ ); 腌制温度为  $25^{\circ}\text{C}$ ; 腌制用盐量为 30 g/(100 g)。

Note: The same column with different letters (a,b,c,...) indicated significant differences ( $P<0.05$ ); curing temperature was  $25^{\circ}\text{C}$  and the salt dosage was 30 g/(100 g).

2.1.3 腌制用盐量对咸鸭蛋脂质的影响

NaCl 是影响咸鸭蛋品质的重要因素，不同的腌制用盐量对产品的品质有重要的影响。主要是因为盐离子的作用下，蛋黄中油脂逐渐流出蛋黄膜，部分脂肪酸逐渐分解氧化为其他小分子风味物质，从而影响蛋黄品质<sup>[25]</sup>。从图 3 中可以看出，随着腌制用盐量的增加，蛋黄指数及脂质含量无明显的变化趋势，但是蛋黄油的皂化值随腌制用盐量的增加显著升高，由 205.73 增加至 245.69 mg/g ( $P<0.05$ )；从脂质的存在形式可以看出（表 3），在腌制用盐量为 20%~30%，游离脂肪酸的含量不断降低，与皂化值变化呈负相关 ( $R=0.879$ ,  $P<0.05$ )。可能的原因是随着腌制用盐量的增加，脂肪酸进一步被氧化分解<sup>[25]</sup>；另一个原因是部分脂肪酸逐渐形成甘油酯<sup>[18]</sup>。由此可以确定咸鸭蛋较好的腌制用盐量为 25 g/(100 g)。



注：腌制温度为 25℃；腌制时间为 30 d。  
Note: Curing temperature was 25℃ and curing time was 30 d.

图 3 不同腌制用盐量对蛋黄脂质的影响  
Fig.3 Effects of different curing salt dosage on egg yolk lipids

表 3 不同腌制用盐量对蛋黄脂质组成的影响  
Table 3 Effects of different curing salt dosage on lipid composition of egg yolk

腌制用盐量 Curing salt dosage/ (g(100 g) <sup>-1</sup> )	中性脂质 Neutral lipids/ (g(100 g) <sup>-1</sup> )	磷脂 Phospholipid/ (g(100 g) <sup>-1</sup> )	脂肪酸 Fatty acid/ (g(100 g) <sup>-1</sup> )
20	67.711±0.194b	30.17±0.332a	2.119±0.152a
25	67.728±0.156b	30.44±0.109a	1.832±0.057b
30	68.007±0.041a	30.28±0.258a	1.713±0.156b

注：同列中不同字母 (a,b,c,...) 表示差异显著 ( $P<0.05$ )；腌制温度为 25℃；腌制时间为 30 d。  
Note: The same column with different letters (a,b,c) indicated significant differences ( $P<0.05$ ); curing temperature was 25℃ and the curing time was 30 d.

综合上述结果可以看出，腌制条件对脂质的分解及存在形式有重要的影响，分析原因主要是随着腌制温度的升高，蛋黄中水分不断散失，蛋黄脂质相对含量不断增加；由于水分的散失，蛋黄内稳定的乳化体系遭到破坏，脂质不断溶出。另外，随着盐离子的渗透，蛋黄的脂肪酸组成及熔融状态发生变化。单因素结果得出较好的腌制工艺为：腌制温度 25℃、腌制用盐量 25 g/(100 g)、腌制时间为 25 d。

2.2 咸鸭蛋蛋黄脂质氧化分析

2.2.1 腌制条件对脂质氧化速率的影响

脂质氧化是影响产品品质的重要因素，与产品的风味有显著的相关性 ( $P<0.05$ )<sup>[26]</sup>；硫代巴比妥酸值 (thiobarbituric acid, TBARS) 是目前应用最广的一种脂质氧

化评价方法，常被作为评价食品二次氧化变质的指标<sup>[27-28]</sup>。从图 4 中可以看出，在不同的腌制液中，整个腌制过程总蛋黄中 TBARS 都成持续增加的趋势 ( $P<0.05$ )。但是对于当腌制温度为 4、15℃ 时，在腌制 10d 后蛋黄中二次氧化结果有显著的增加 ( $P<0.05$ )，随着腌制过程的继续进行，蛋黄中脂质二次氧化结果持续增加；当腌制温度为 25℃、35℃ 时，蛋黄中 TBARS 在腌制 5 d 后显著升高 ( $P<0.05$ )，并且在腌制 30d 后显著变化趋势 ( $P>0.05$ )，二次氧化值  $<0.4$  mg/kg 蛋黄。这表明升高腌制温度能显著的促进蛋黄中脂质二次氧化结果 ( $P<0.05$ )，并且在较高温度条件下会逐渐趋于稳定 ( $P>0.05$ )。主要是因为升高腌制温度能够加快氢过氧化物的分解<sup>[29]</sup>；但是随着腌制时间的延长，升高温度可能会降低种产品的脂质氧化结果<sup>[30]</sup>。

另外，从图 4 中还可以看出，不同盐浓度腌制对蛋黄中脂质氧化也有重要的促进作用 ( $P<0.05$ )。主要表现在不同的腌制温度条件下，随着腌制液食盐浓度的增加，蛋黄中 TBARS 不断增加 ( $P<0.05$ )。主要的原因是随着腌制过程的进行，盐离子逐渐渗透至蛋黄液中，而当蛋黄中 NaCl 质量分数介于 1.0%~2.0% 时，其对脂质氧化有促进作用<sup>[30]</sup>；Higgins<sup>[31]</sup>的研究表明 NaCl 能够使蛋黄中的亚铁离子释放成游离铁离子，这些游离的铁离子会促进脂质自由基的形成，引起脂质氧化的发生<sup>[32]</sup>；另有研究表明一定浓度的盐离子能够影响蛋黄液中脂质的熔融状态，从而改变了蛋黄中稳定的乳化体系，造成脂肪酸的分解氧化<sup>[20]</sup>；还有学者研究表明，盐离子能够影响蛋黄液中磷脂酶的活力，造成脂质氧化的自由基浓度的增加，从而造成脂质氧化分解<sup>[17]</sup>。纵观前人相关研究报道发现，温度及盐浓度能显著影响蛋黄中脂质分解氧化的结果，因此通过脂质二次氧化动力学分析咸鸭蛋腌制过程中腌制温度及盐添加量对蛋黄液中脂质氧化的影响。

2.2.2 腌制用盐量对蛋黄中脂质氧化活化能的影响

目前对动物源食品脂质氧化过程分析多采用脂质氧化动力学方程，但使用的动力学模型也不同；研究脂质自动氧化所用的动力学模型还主要以“0”级与“1”级动力学模型为主。本试验结果表明，在不同的腌制盐浓度范围内，温度是影响蛋黄中脂质氧化的重要因素。因此，采用 Arrhenius 方程分析不同温度对蛋黄中脂质氧化速率的影响。表 4 显示了不同盐用量腌制条件下咸鸭蛋蛋黄中脂质二次氧化所需的活化能。在咸鸭蛋腌制过程中脂肪发生二次氧化形成 TBARS 的表观零级反应速率常数  $k$  与温度之间也呈显著正相关 ( $R^2>0.95$ ,  $P<0.05$ )。因此可以推论在咸鸭蛋腌制过程中，改变腌制用盐量可以调控脂质二次氧化速率，从而改变了过程中醛、醇、酮、羧酸等挥发性风味化合物的形成，而实现对咸鸭蛋品质的调控。在对蛋黄中脂质分解及存在形式的研究中有相同的结果。在腌制用盐量在 20%~30% 条件下，腌制用盐量的增加可以显著降低脂质二次氧化所需的活化能，具体表现为由 46.43 降低至 38.93 kJ/mol。表明在一定的腌制用盐量范围内，增加腌制用盐量能降低脂质氧化所需的活化能，从而逐渐促进促进脂质二次氧化。



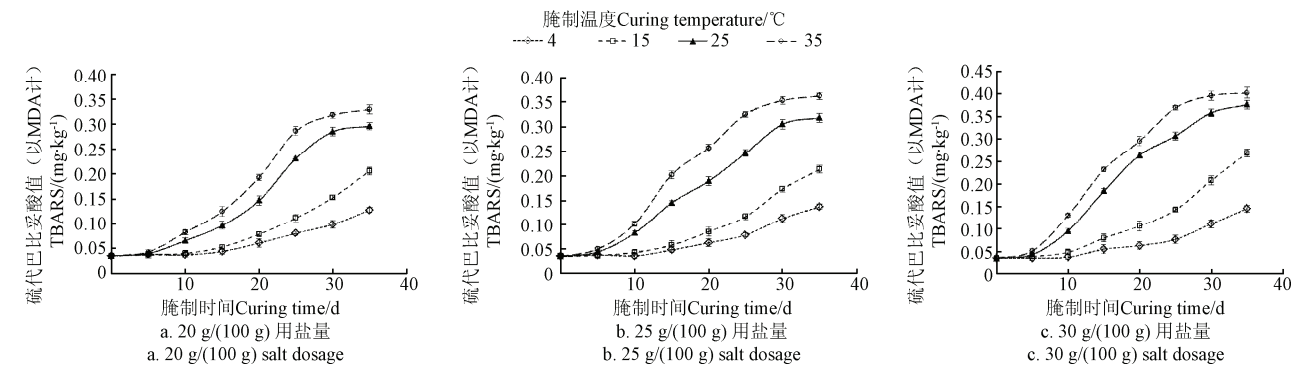


图 4 不同腌制条件对蛋黄脂质二次氧化的影响  
Fig.4 Effects of different conditions on the secondary yolk lipid oxidation

表 4 不同腌制用盐量对蛋黄中脂质二次氧化活化能的影响  
Table 4 Influence of different salt dosage on activation energy (*E<sub>a</sub>*) for lipid secondary oxidation

腌制用盐量 Curing salt dosage/ (g/(100 g) <sup>-1</sup> )	回归方程 Regression equation	活化能 <i>E<sub>a</sub></i> /kJ
20	$y=-5584.6x+13.683, R^2=0.9783$	46.43
25	$y=-5138.9x+12.478, R^2=0.9557$	42.72
30	$y=-4682.6x+11.373, R^2=0.9757$	38.93

注: *y* 为活化能, kJ; *x* 为腌制用盐量, g/(100 g)<sup>-1</sup>。  
Note: *y* was activity energy, kJ; *x* was salt dosage, g/(100 g)<sup>-1</sup>.

表 5 不同腌制条件对蛋黄脂肪酸组成的影响  
Table 5 Effects of different conditions on fatty acid composition of egg yolk

不同脂肪酸组成 Fatty acids composition	mg·g <sup>-1</sup>				
	腌制时间 Salting time/d				
	0	20	25	30	35
己酸(C6:0)	2.153	9.417	11.896	13.791	14.031
Hexylic acid(C6:0)					
辛酸(C8:0)	3.022	5.015	6.883	8.225	8.338
Caprylic acid(C8:0)					
癸酸(C10:0)	3.966	7.033	8.877	10.155	11.2261
Decanoic acid(C10:0)					
十一酸(C11:0)	0.592	1.396	0.708	0.633	0.587
Undecanoic acid(C11:0)					
月桂酸(C12:0)	0.690	1.430	1.570	1.620	1.680
Dodecylic acid(C12:0)					
肉豆蔻酸(C14:0)	5.336	8.446	11.639	13.319	14.662
Myristic acid(C14:0)					
棕榈酸(C16:0)	7.662	5.677	4.931	4.394	3.795
Palmitic acid(C16:0)					
硬脂酸(C18:0)	5.031	6.335	3.815	2.861	2.496
Stearic acid(C18:0)					
花生酸(C20:0)	0.514	1.765	2.981	3.317	3.779
Arachidic acid(C20:0)					
二十一酸(C21:0)	8.792	7.392	8.772	9.855	10.178
Heneicosanoic acid(C21:0)					
二十二酸(C22:0)	1.386	1.973	2.551	2.773	2.965
Behenic Acid(C22:0)					
肉蔻油酸(C14:1)	31.063	27.381	26.177	25.495	24.667
Meat Chloe oleic acid(C14:1)					
棕榈油酸(C16:1)	36.853	30.229	28.875	28.694	27.885
Palmitoleic acid(C16:1)					
反油酸(11t-C18:1)	0	0.077	0.122	0.139	0.155
Elaidic acid(11t-C18:1)					
反油酸(9t-C18:1)	0	0.143	0.216	0.288	0.326
Elaidic acid(9t-C18:1)					
油酸(9c-C18:1)	10.531	10.052	9.771	9.447	9.263
Oleic acid(9c-C18:1)					
油酸(11c-C18:1)	4.861	4.221	4.063	3.791	3.525
Oleic acid(11c-C18:1)					
亚油酸(C18:2)	8.131	7.066	6.551	6.318	6.126
Linoleic acid(C18:2)					
亚麻酸(C18:3)	10.398	9.963	9.531	9.316	8.962
Linolenic acid(C18:3)					
花生四烯酸(C20:4)	17.813	16.915	15.783	15.431	15.018
Arachidonic acid(C20:4)					
饱和脂肪酸质量分数	39.144	55.879	64.623	70.943	73.737
Saturated fatty acid content					
不饱和脂肪酸质量分数	119.650	106.047	101.089	98.919	95.927
Unsaturated fatty acids content					
反式脂肪酸质量分数	0	0.220	0.338	0.427	0.481
Trans fatty acid content					

注: 腌制温度为 25℃; 腌制用盐量为 25 g/(100 g)。  
Note: Curing temperature was 25℃ and the salt dosage was 25 g/(100 g).

2.3 咸鸭蛋腌制过程中脂肪酸分析

2.3.1 蛋黄脂肪酸组成分析

蛋黄中脂肪含量及其脂肪酸组成是影响脂质氧化稳定性的重要因素。咸鸭蛋腌制过程中蛋黄脂肪酸组成见表 5。从表中可以看出,随着腌制时间的延长,蛋黄内饱和脂肪酸呈显著 ( $P<0.05$ ) 上升趋势,由 39.144 mg/g 上升至 73.737 mg/g; 而对应的不饱和脂肪酸呈显著的下降趋势 ( $P<0.05$ ); 主要是因为脂肪的氧化在很大程度上取决于其所含脂肪酸的不饱和程度,脂肪酸不饱和程度越高越容易发生氧化。随着腌制时间的延长,低分子链的饱和脂肪酸如己酸、辛酸、癸酸等含量呈显著 ( $P<0.05$ ) 上升趋势; 该类小分子饱和脂肪酸分子阈值较低、具有一定的挥发性,也是蛋黄独特风味的重要来源; 在不饱和脂肪酸中,棕榈酸和硬脂酸在腌制过程中逐渐降低,在腌制 30 d 后含量均降低 50% 以上。

对于腌制过程中蛋黄内不饱和脂肪酸的变化,从表中可以看出,随着腌制时间的延长,不饱和脂肪酸均呈显著 ( $P<0.05$ ) 降低趋势。不饱和脂肪酸的变化过程进一步表明,在咸鸭蛋腌制过程中,不饱和脂质不断分解氧化,在腌制后期,脂质的分解氧化逐渐趋于稳定。在腌制过程中,与腌制初期相比,肉豆蔻酸及棕榈油酸等分子量较小的不饱和脂肪酸含量有大幅度降低,而花生四烯酸和亚油酸等降低程度较小。

因此,在咸鸭蛋腌制过程中,蛋黄内饱和脂肪不断累积,尤其是小分子量脂肪酸大量累积,而不饱和脂肪酸如肉豆蔻酸及棕榈油酸等在腌制过程中不断分解氧化。

### 2.3.2 蛋黄游离脂肪酸分析

蛋黄游离脂肪酸既是蛋黄风味的重要来源,也是蛋黄质量品质的重要的指标。研究表明,在蛋黄、蛋黄粉及其他蛋黄制品中,游离脂肪酸质量分数超过 4% 时会产生酸味,严重影响产品的风味感官品质<sup>[14]</sup>。从表 6 可以看出,不饱和脂肪酸是蛋黄中游离脂肪酸的主要组成成分;随着腌制时间的延长,磷脂及中性脂质的分解变化,蛋黄中游离脂肪酸的总量呈显著 ( $P<0.05$ ) 上升趋势。对于饱和游离脂肪酸,在腌制过程中由 2.458 逐渐增加至 6.416 mg/g,而不饱和脂肪酸由 7.061 增加至 13.161 mg/g;在蛋黄中,不饱和脂肪酸含量逐渐低,而不饱和游离脂肪酸逐渐升高的结果,进一步表明脂肪酸的存在形式是影响其氧化分解的重要因素。研究表明,脂质的氧化程度主要依赖于磷脂的含量及组成,相比甘油酯,磷脂中多不饱和脂肪酸的含量比较高<sup>[33]</sup>。对于饱和脂肪酸,从表中可以看出,己酸、辛酸等短链脂肪酸是主要的饱和游离脂肪酸;而中链脂肪酸含量较少;棕榈油酸、亚油酸是蛋黄内主要的不饱和游离脂肪酸,在腌制过程中逐渐增加。

表 6 不同腌制条件对蛋黄游离脂肪酸组成的影响

Table 6 Effects of different conditions on free fatty acids of egg yolk  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$

游离脂肪酸组成 Free fatty acids composition	腌制时间 Salting time/d				
	0	20	25	30	35
己酸(C6:0)	1.089	1.972	2.794	3.226	3.019
Caproic acid(C6:0)					
辛酸(C8:0)	0.977	1.389	1.516	1.783	2.022
Octanoic acid(C8:0)					
癸酸(C10:0)	0	0	0.104	0.166	0.215
Capric acid(C10:0)					
十一酸(C11:0)	0.317	0.335	0.341	0.329	0.402
Undecanoic acid(C11:0)					
肉豆蔻酸(C14:0)	0.075	0.189	0.201	0.225	0.217
Myristic acid(C14:0)					
棕榈酸(C16:0)	0	0.077	0.069	0.082	0.078
Palmitic acid(C16:0)					
硬脂酸(C18:0)	0	0.105	0.131	0.144	0.151
Stearic acid(C18:0)					
花生酸(C20:0)	0	0.217	0.267	0.306	0.312
Arachidic acid(C20:0)					
肉蔻油酸(C14:1)	0	0.031	0.028	0.053	0.041
Meat Chloe oleic acid(C14:1)					
棕榈油酸(C16:1)	2.031	2.886	3.022	3.153	3.086
Palmitoleic acid(C16:1)					
反油酸(11t-C18:1)	0	0.221	0.219	0.288	0.306
Elaidic acid(11t-C18:1)					
反油酸(9t-C18:1)	0	0.105	0.126	0.155	0.143
Elaidic acid(9t-C18:1)					
油酸(9c-C18:1)	1.316	2.051	2.442	2.798	2.887
Oleic acid(9c-C18:1)					
油酸(11c-C18:1)	0.559	0.615	0.607	0.769	0.895
Oleic acid(11c-C18:1)					
亚油酸(C18:2)	3.037	4.167	3.795	4.129	5.152
Linoleic acid(C18:2)					
花生四烯酸(C20:4)	0.118	0.366	0.531	0.587	0.651
Arachidonic acid(C20:4)					
饱和脂肪酸质量分数 Saturated fatty acid content	2.458	4.284	5.423	6.261	6.416
不饱和脂肪酸质量分数 Unsaturated fatty acids content	7.061	10.442	10.77	11.932	13.161
反式脂肪酸质量分数 Trans fatty acid content	0	0.326	0.345	0.443	0.449

注: 腌制温度为 25℃; 腌制用盐量为 25 g/(100 g)。

Note: Curing temperature was 25℃ and the salt dosage was 25 g/(100 g)。

### 3 结 论

1) 不同的腌制温度(4~35℃)、腌制时间(0~35 d)、腌制用盐量(20~30 g/(100 g))对咸鸭蛋蛋黄中脂质的分解氧化有显著的影响( $P<0.05$ )。具体表现为,随着腌制温度的升高、腌制时间的延长,蛋黄指数、脂质含量、蛋黄皂化值均显著增加( $P<0.05$ );腌制用盐量的增加(15~30 g/(100 g))对蛋黄中脂质的皂化值有显著的( $P<0.05$ )促进作用(205.73~245.69 mg/g)。随着腌制温度的升高(4~35℃),蛋黄中脂质氧化显著增加( $P<0.05$ )。

2) 腌制用盐量对蛋黄 TBARS (硫代巴比妥酸 thiobarbituric acid) 有显著的促进作用( $P<0.05$ )。脂质二次氧化动力学分析表明,增加腌制液中盐浓度能够显著降低( $P<0.05$ )蛋黄中脂质氧化初始氧化反应的活化能,从而促进蛋黄中脂质氧化。

3) 在腌制过程中,咸鸭蛋蛋黄的脂质组成不断改变,随着腌制时间的延长(0~35 d),饱和脂肪酸不断增加,不饱和脂肪酸不断减少;对于不饱和和游离脂肪酸,在腌制过程中由 7.061 mg/g 增加至 13.161 mg/g。

4) 综合试验结果可以得出,咸鸭蛋的腌制工艺可确定为:腌制温度 25℃、腌制用盐量 25 g/(100 g)、腌制时间为 25 d。

### [参 考 文 献]

- [1] 陶志云, 胡艳, 朱春红. 鸭蛋中总氨基酸和游离氨基酸含量的比较分析[J]. 江苏农业科学, 2013(41): 297—299. Tao Zhiyun, Hu Yan, Zhu Chunhong. Analysis of total amino acids and free amino acids in duck eggs[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2013(41): 297—299. (in Chinese with English abstract)
- [2] Xiao H B, Xiu-Wen H E, Zhao J H, et al. Study on determination of doxycycline content in duck egg white using SSPA and synchronous fluorescence spectroscopy[J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2013, 32(7): 10—14.
- [3] 潘康, 冯泉, 李蓉, 等. 盐水法和包灰法腌制咸蛋理化性质的比较[J]. 食品与生物技术学报, 2011, 30(4): 542—548. Pan Kan, Feng Xiao, Li Rong, et al. Study on chemical and physical properties of duck egg of saline salting and plant ash salting[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2011, 30(4): 542—548. (in Chinese with English abstract)
- [4] 荣建华, 张正茂, 冯磊, 等. 咸蛋盐水腌制动力学研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 263—266. Rong Jianhua, Zhang zhengmao, Feng Lei, et al. Pickling dynamics of salted eggs[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(2): 263—266. (in Chinese with English abstract)
- [5] Thammarat Kaewmanee, Soottawat Benjakul, Wonnop Visessanguan. Effect of NaCl on thermal aggregation of egg white proteins from duck egg[J]. Food Chemistry, 2011, 125(2): 706—712
- [6] Zhao J H, Yuan H C, Xiao H B, et al. Determination of gentamicin content in duck egg white by using derivative synchronous fluorescence spectrum and GA[J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2014, 25(4): 735—740.

- [7] Thammarat Kaewmanee, Soottawat Benjakul, Wonnop Visessanguan. Changes in chemical composition, physical properties and microstructure of duck egg as influenced by salting[J]. Food Chemistry, 2008, 112(3): 560—569.
- [8] Thammarat Kaewmanee, Soottawat Benjakul, Wonnop Visessanguan. Effect of NaCl on thermal aggregation of egg white proteins from duck egg[J]. Food Chemistry, 2011, 125(2): 706—712.
- [9] Fuentes V, Estévez M, Ventanas J, et al. Impact of lipid content and composition on lipid oxidation and protein carbonylation in experimental fermented sausages[J]. Food Chemistry, 2014, 147(6): 70—77.
- [10] Kaewmanee Thammarat, Soottawat Benjakul Wonnop Visessanguan. Effect of salting processes on chemical composition, textural properties and microstructure of duck egg[J]. J Sci Food Agric, 2009, 89(4): 625—633.
- [11] Shan-Li H E, Luo H Y. The Research of Zinc and Calcium Content in The Duck Egg before and after Salting[J]. Food Research & Development, 2013.
- [12] 徐应芬, 张太明, 罗克典. 咸鸭蛋的营养及鉴别方法[J]. 现代农村科技, 2015: 32—33.  
Xu Yingfen, Zhang Taiming, Luo Kedian. The study of egg nutrition with the method of identification[J]. Modern agricultural science and technology, 2015: 32—33. (in Chinese with English abstract)
- [13] Medina-Meza I G, Barnaba C, Barbosa-Cánovas G V. Effects of high pressure processing on lipid oxidation: A review[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2013: 1—10.
- [14] M N, Nair, S P, Suman, S, Li, et al. Lipid oxidation-induced oxidation in emu and ostrich myoglobins[J]. Meat Science, 2014, 96(2): 984—993.
- [15] Kaewmanee T, Benjakul S, Visessanguan W. Changes in chemical composition, physical properties and microstructure of duck egg as influenced by salting[J]. Food Chemistry, 2009, 112(3): 560—569.
- [16] 赖宜萍, 林向阳, 朱榕壁, 等. 超声波辅助咸蛋快速腌制方法[J]. 食品与机械, 2011, 27(1): 134—142.  
Lai Yiping, Lin Xiangyang, Zhu Rongbi, et al. Application of ultrasonic technology in production of salted eggs[J]. Food & Machinery, 2011, 27(1): 134—142. (in Chinese with English abstract)
- [17] 林向阳, 赖宜萍, 朱榕壁, 等. 咸蛋腌制过程中超声波预处理参数优化[J]. 中国食品学报, 2011, 11(6): 68—75.  
Lin Xiangyang, Lai Yiping, Zhu Rongbi, et al. The optimization of ultrasonic pretreatment's parameter during curing of salted eggs[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2011, 11(6): 68—75. (in Chinese with English abstract)
- [18] Ganesan P, Kaewmanee T, Benjakul S, et al. Comparative Study on the Nutritional Value of Pidan and Salted Duck Egg[J]. Korean journal for food science of animal resources, 2014, 34(1): 1—6.
- [19] Jin G, Zhang J, Yu X, et al. Lipolysis and lipid oxidation in bacon during curing and drying-ripening[J]. Food Chemistry, 2010, 123(2): 465—471.
- [20] Zhang J, Jin G, Wang J, et al. Effect of intensifying high-temperature ripening on lipolysis and lipid oxidation of Jinhua ham[J]. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 2011, 44(2): 473—479.
- [21] Savage G P, Dutta P C, Mcneil D L. Fatty acid and tocopherol contents and oxidative stability of walnut oils[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1999, 76(9): 1059—1063.
- [22] Coutron-gambotti C, Gandemer G. Lipolysis and oxidation in subcutaneous adipose tissue during dry-cured ham processing[J]. Food Chemistry, 1999, 64(1): 95—101.
- [23] Calligaris S, Manzocco L, Nicoli M C. Modelling the temperature dependence of oxidation rate in water-in-oil emulsions stored at sub-zero temperatures[J]. Food Chemistry, 2007, 101(3): 1019—1024.
- [24] Y S, C O, F F, et al. High-Level Secretory Production of Phospholipase A 1 by Saccharomyces cerevisiae and Aspergillus oryzae[J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 2014, 65(1): 94—101.
- [25] 王石泉, 王树才, 张益鹏, 等. 超声波-脉动压联用快速腌制咸鸭蛋的工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 286—292.  
Wang Shiquan, Wang Shucai, Zhang Yipeng, et al. Parameter optimization for quickly salted egg by using ultrasonic-pulsed pressure technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(23): 286—292. (in Chinese with English abstract)
- [26] Gandemer G. Lipids in muscles and adipose tissues, changes during processing and sensory properties of meat products[J]. Meat Science, 2002, 62(3): 309—321.
- [27] Frankel E N. Lipid oxidation: mechanisms, products and biological significance[J]. Journal of The American Oil Chemists' Society, 1984, 61(12): 1908—1917.
- [28] St Angelo A J. Lipid oxidation in foods[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1996, 36(3): 175—224.
- [29] Aidos I, Lourenco S, Van der Padt A, et al. Stability of crude herring oil produced from fresh byproducts: influence of temperature during storage[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(9): 3314—3320.
- [30] Andrés A I, Cava R, Ventanas J, et al. Lipid oxidative changes throughout the ripening of dry-cured Iberian hams with different salt contents and processing conditions[J]. Food Chemistry, 2004, 84(3): 375—381.
- [31] Higgins F M, Kerry J P, Buckley D J, et al. Effects of  $\alpha$ -tocopherol acetate supplementation and salt addition on the oxidative stability (TBARS) and warmed-over flavour (WOF) of cooked turkey meat[J]. British Poultry Science, 1999, 40(1): 59—64.
- [32] Kanner J, Herel S, Jaffe R. Lipid peroxidation of muscle food as affected by NaCl[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1991, 39(6): 1017—1021.
- [33] Feng Y, Chen Z, Ning L, et al. Changes in fatty acid composition and lipid profile during koji fermentation and their relationships with soy sauce flavour[J]. Food Chemistry, 2014, 158(11): 438—444.

## Effect of pickling temperature and concentration of salt solution on lipid of duck egg yolk

Long Men<sup>1</sup>, Song Ye<sup>2</sup>, Du Qingfei<sup>1</sup>, Zhou Di<sup>1</sup>, Cai Huazheng<sup>1</sup>, Zhan Ge<sup>1\*</sup>

(1. School of Bio & Food Engineering, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China; 2. National Center of Meat Quality and Safety Control, Key Lab of Food Processing and Quality Control, Ministry of Agriculture, Food Safety and Nutrition Collaborative Innovation Center, College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** Salted duck egg is a kind of Chinese-style pickled egg with a long shelf life. Its pleasant and fragrant taste is preferred by most of the people in China and other Southeast Asian countries. Salted duck egg is normally made by pickling the duck eggs in 20.0%-30.0% NaCl solution at room temperature (30°C) for 30 days. Lipid is one of the important structural and functional compositions for duck eggs; it has a very important impact on the quality of the duck egg, and has close relationship with the nutrition value and flavor and texture of duck eggs. The lipid oxidation also plays a role in the human body health, and is closely related to many diseases of the human body. The prooxidant effect of NaCl will enhance the oxidation of duck egg lipid during pickling. In that case, the objective of this paper was to research the oxygenolysis of the lipid of duck egg. The effects of different pickling temperatures, concentrations of NaCl solution and pickling time on duck yolk lipid oxygenolysis were investigated by using the methods that determined yolk index, lipid content of yolk, saponification value of yolk, thiobarbituric acid(TBARS) value of yolk, fatty acids composition and free fatty acid content in this paper. The result showed that yolk index, lipid content, saponification value of yolk and free fatty acid content all significantly increased, and phospholipid content decreased with the increase of pickling temperature and time ( $P<0.05$ ). As the concentration of salt solution increased, saponification value of yolk significantly increased ( $P<0.05$ ), yolk index and lipid content of yolk didn't change obviously, and free fatty acid content decreased because of oxygenolysis. The increase of pickling temperature would accelerate lipid oxidation, and meanwhile could reduce the amount of final products of lipid oxidation. With the concentration of salt solution increasing, the TBARS value of yolk increased. Dynamics analysis showed that the activation energy of initial lipid oxidation reaction decreased as the concentration of salt solution increased, which accelerated lipid oxidation. The changes of fatty acid composition were that the saturated fatty acids content increased, especially those with small molecular weight, and the unsaturated fatty acids content decreased on account of oxygenolysis, in which the decrease of the amount of those with small molecular weight, e.g. myristic acid and palmitoleic acid, was more than those with large molecular weight, e.g. arachidonic acid and linoleic acid. The amount of the saturated free fatty acids and unsaturated free fatty acids both increased after pickling. The increase of the amount of the free fatty acids was because of the oxygenolysis of phospholipids and neutral lipid. The saturated free fatty acids were mainly made of short-chain fatty acids, e.g. caproic acid and octanoic acid, and had little in quantity for the medium-chain fatty acids. Palmitoleic acid and linoleic acid took a greater proportion in the unsaturated free fatty acids, and their contents increased during the pickling period. This paper may provide a theoretical reference for the effect of pickling condition on the oxygenolysis of the lipid of duck egg yolk.

**Key words:** fatty acid; models; salts; salted duck egg yolk; lipid oxidation; two-step oxidation