

# 超声波-脉动压联用快速腌制咸鸭蛋的工艺参数优化

王石泉, 王树才<sup>\*</sup>, 张益鹏, 张 融

(华中农业大学工学院, 武汉 430070)

**摘 要:** 咸鸭蛋的腌制周期很长, 一般夏季 20~30 d、春秋季节 40~50 d。为了提高咸蛋的腌制效率, 采用超声波-脉动压联用技术, 选取高压幅值、高压脉动比和超声波作用时间为影响因素, 通过单因素和正交试验, 测定咸蛋腌制过程中蛋清含盐量和蛋黄含盐量的变化, 对超声波-脉动压联用技术在咸蛋快速腌制中的工艺参数进行优化。结果表明: 采用质量分数为 24% 食盐溶液, 在恒温 30℃ 条件下腌制 3 d, 综合咸蛋品质和食盐传质速率得出最佳工艺参数: 高压幅值为 140 kPa, 高压脉动比为 4 min:16 min, 超声波作用时机应在第 1 天, 超声波脉动比为 2 min:10 min, 超声波作用时长为 132 min, 可以腌制出效果较好的咸蛋, 蛋白食盐含量为 4.61%, 蛋黄食盐含量为 2.12%, 而含盐量差值只有 2.49%。感官评定此组咸蛋具有蛋白细嫩、咸味适中; 蛋黄松沙、含油、咸味可口的特点。同时生产周期比传统腌制方法缩短了 90%, 可为咸蛋的工业化生产提供技术参考。

**关键词:** 超声波应用, 盐, 优化, 脉动压, 快速腌制, 咸鸭蛋

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.23.039

中图分类号: S851.34+7.31

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-23-0286-07

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 Shucui, 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)

## 0 引 言

目前, 中国的咸鸭蛋腌制周期很长。夏季 20~30 d、春秋季节 40~50 d<sup>[1]</sup>。因此, 缩短咸蛋的腌制时间成为国内学者很关心的一个问题。国内学者为了缩短腌制周期, 运用碱洗鸭蛋壳<sup>[2-3]</sup>、涂膜腌制<sup>[4]</sup>、添加剂腌制<sup>[5-7]</sup>、循环水腌制<sup>[8]</sup>、脉动压力腌制<sup>[9-10]</sup>、替代物<sup>[11]</sup>等方法腌制咸蛋。超声波技术<sup>[12-13]</sup>虽可使腌制周期大幅缩短, 但容易造成蛋黄蜂窝和蛋壳破裂, 是否可以在腌制期间利用超声波直接促进氯化钠的渗入以进一步缩短腌制时间还有待于研究<sup>[14]</sup>; 恒压腌制鸭蛋法<sup>[15]</sup>, 虽在加压阶段可以提高食盐的传质速率, 但一旦鸭蛋内外压力达到平衡, 也就等同于常压腌制。

本试验拟采用在腌制期间联用超声波和脉动压, 促进食盐的渗透; 利用超声振荡特有的空化作用<sup>[16]</sup>, 使蛋清蛋白质颗粒的相互聚合减少, 从而降低蛋清黏

度, 增强盐分及风味物质的渗透; 利用脉动压在加压阶段能加速盐分通过蛋壳膜渗透到蛋清中, 而卸压阶段由于鸭蛋内部压力大于外界压力, 加速水分和气体渗出, 同时保证气孔畅通, 从而缩短鸭蛋腌制时间。本课题选取超声波和脉动压力参数, 先通过单因素试验确定参数水平, 再进行正交试验得出最优工艺参数组合。为咸蛋的工业化生产提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

鲜鸭蛋(华中农业大学菜市场); 精制食盐(湖北盐业集团有限公司); 硝酸银( $\text{AgNO}_3$ ) (国药集团化学试剂有限公司); 铬酸钾( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) (国药集团化学试剂有限公司)。

### 1.2 仪器与设备

EJ-200 高速分散均质机: 上海标本模型厂; FA2004B 电子分析天平(精度 $\pm 0.001 \text{ g}$ ): 上海越平科学仪器有限公司; 电热恒温干燥箱: 浙江省余姚市检测仪器厂; 快速腌制试验装置: 华中农业大学自制<sup>[17]</sup>; 游标卡尺( $0.02 \text{ mm}$ ): 深圳市元中科技有限公司。

鸭蛋快速腌制试验装置, 主要由压力腌制容器、空气压缩机、超声波发生装置、加热装置和控制系统组成, 如图 1 所示。

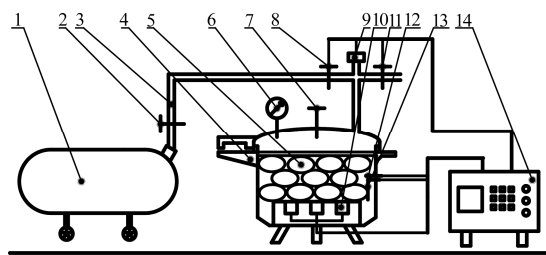
收稿日期: 2013-04-15 修订日期: 2013-10-28

基金项目: 国家自然科学基金(31071578)

作者简介: 王石泉(1987—), 男, 江西萍乡人, 研究方向为农业电气与自动化。武汉 华中农业大学工学院, 430070。

Email: wsq@webmail.hzau.edu.cn

<sup>\*</sup>通信作者: 王树才(1966—), 男, 湖北安陆人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为食品加工技术与装备。武汉 华中农业大学工学院, 430070。Email: wsc01@mail.hzau.edu.cn



1. 空气压缩机 2. 阀门 3. 气管 4. 压力腌制容器 5. 新鲜鸭蛋  
6. 压力表 7. 安全阀 8. 进气阀 9. 压力变送器 10. 超声波震子  
11. 出气阀 12. 温度变送器 13. 加热管 14. 控制箱  
1. Air compressor 2. Valve 3. Trachea 4. Pressure pickled vessel  
5. Fresh duck eggs 6. Gauge 7. Safety valve 8. Intake valve  
9. Pressure transmitters 10. Ultrasound transducer 11. Outlet valve  
12. Temperature transmitter 13. Heating pipe 14. Control box

图 1 咸蛋快速腌制试验装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus for fast salting eggs

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 超声波-脉动压联用咸蛋腌制工艺

新鲜鸭蛋→感官鉴定→检验(照蛋)→洗蛋→晾干→标记→将鸭蛋放入压力腌制容器→注入配制好的腌制料液→密封→使用脉动超声波→循环使用脉动压力→抽样检查

脉动压力是指压力容器内的压力在高压和常压之间交替；高压脉动比是指高压时间与常压时间的比值，如图 2 中，可知此时的高压幅值是 120 kPa，高压脉动比是 8 min:16 min。脉动压力一直存在于整个腌制周期中。

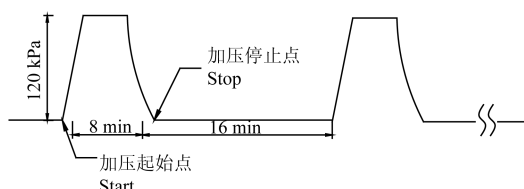


图 2 脉动压力示意图

Fig.2 Schematic diagram of pulsed pressure

为了避免超声波用于鸭蛋腌制过程中出现蜂窝和蛋壳破裂的现象，采用了脉动加超声波的技术，超声波频率 45 kHz<sup>[13]</sup>、超声强度为 0.89 W/cm<sup>2</sup>（超声波超声波震子功率为 160 W，不锈钢容器的投影面积是 179 cm<sup>2</sup>，单层摆放 10 枚鸭蛋）。超声波脉动比是指超声波工作时间与间隙时间的比值，如图 3 中的超声波脉动比是 2 min:10 min。



图 3 脉动超声波示意图

Fig.3 Schematic diagram of pulsed ultrasonic

#### 1.3.2 蛋清、蛋黄氯化钠浓度检测

采用莫尔法测定蛋清和蛋黄的含盐量，硝酸银 (AgNO<sub>3</sub>) 的浓度为 0.1 mol/L，以铬酸钾 (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>) 作为滴定指示剂。计算蛋黄和蛋清的含盐量，其计算公式<sup>[18]</sup>为

$$n = \frac{0.05844 \times c \times V \times k}{m} \times 100$$

式中， $n$  氯化钠质量分数，%； $c$  硝酸银的浓度，mol/L； $V$  所消耗的硝酸银的体积数，mL； $k$  稀释倍数； $m$  蛋清或蛋黄的质量，g。

1) 蛋白含盐量：蛋白含盐量在 3.5%~5%（质量分数）左右时，为咸蛋适宜的口味，超过 5%时较咸，低于 2.5%则较淡，不适合大众口味<sup>[19]</sup>，但在咸蛋黄生产中一般不关心蛋白含盐量。

2) 蛋黄含盐量：蛋黄含盐量在 1.3%以上时，蛋黄油露松沙，色泽诱人<sup>[20]</sup>。

3) 含盐量差值：蛋清氯化钠含量与蛋黄氯化钠含量之差可得含盐量差值。含盐量差值可以反映出蛋清和蛋黄之间的咸味差异。含盐量差值过大，反映出咸蛋存在蛋清过咸而蛋黄咸味淡的问题。

#### 1.3.3 感官指标及其评价

在试验中选取 6 个鸭蛋在 100 kPa、121℃下保压 10 min 蒸熟，由 4 人组成评价小组。具体评分细则见表 1<sup>[10]</sup>。

表 1 感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation criteria

评价指标 Evaluation index	评价标准 Evaluation standard	满分 Full credit
蛋白 Egg white	蛋白白净，无斑点，细嫩， 咸度适中	1.5 2.0
蛋黄 Egg yolk	蛋黄较结实，含油，松沙可口 咸度适中	2.5 1.0
口感 Taste	咸淡适中，松沙可口、细嫩	3.0

### 1.4 试验步骤

#### 1.4.1 单因素试验

取一定数量的鲜鸭蛋，在 24% 盐溶液和恒温 30℃ 条件下<sup>[21]</sup>进行腌制，分别对超声波脉动比、作用时长、作用时机、高压幅值、高压保持时间、常压保持时间及腌制时间进行单因素试验，测定其蛋清含盐量、蛋黄含盐量及蛋清蛋黄含盐量差值，选择最佳值。

##### 1) 超声波脉动比对咸蛋的影响

将检验合格的鸭蛋放在 24% 盐溶液中，在不同的超声波脉动比 0:10 min（即没有超声波的作用）、0.5 min:10 min、1 min:10 min、2:10、3 min:10 min，超声波作用时机第 1 天，超声波作用时长 2 h，高压幅值 120 kPa，高压脉动比为 8 min:16 min，的条

件下, 恒温 30℃ 腌制 3 d, 测定其蛋清含盐量和蛋黄含盐量。

## 2) 超声波作用时长对咸蛋的影响

超声波脉动比为 2 min:10 min, 其他条件同上, 考察超声波作用时长 1、1.5、2、2.5、3 h 对咸蛋的影响。

## 3) 高压幅值对咸蛋的影响

超声波脉动比为 2 min:10 min, 其他条件同上, 考察高压幅值 90、120、150、180 kPa 下对咸蛋的影响。

## 4) 高压脉动比对咸蛋的影响

超声波脉动比为 2 min:10 min, 其他条件同上, 考察高压脉动比 4 min:16 min、8 min:16 min、16 min:16 min、24 min:16 min、48 min:16 min 对咸蛋的影响。

## 5) 腌制时间对咸蛋的影响

超声波脉动比为 2 min:10 min, 其他条件同上, 考察腌制时间 1、2、3 d 对咸蛋的影响。

## 6) 超声波作用的时机对咸蛋的影响

超声波脉动比为 2 min:10 min, 其他条件同上, 考察腌制时机第 1 天、第 2 天、第 3 天对咸蛋的影响。

### 1.4.2 正交试验

在 24% 盐溶液、恒温 30℃、超声波作用时机第 1 天、超声波脉动比 2 min:10 min 的条件下腌制 3 d, 选择单因素试验最佳高压幅值、高压脉动比和超声波作用时长作为各参数的中值, 围绕中值各取 3 水平, 以咸蛋腌制质量为目标, 用  $L_9(3^4)$  进行正交试验, 因素水平设计见表 2。

表 2 正交试验表  
Table 2 Experimental orthogonal table

水平 Level	因素 Factors		
	高压幅值 A Pressure amplitude/kPa	高压脉动比 B High pressure pulsation ratio (min·min <sup>-1</sup> )	超声波时长 C Ultrasonic acting time/min
1	120	4:16	108
2	140	8:16	120
3	160	12:16	132

## 2 结果与分析

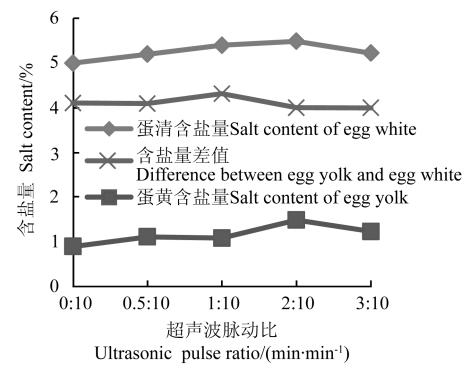
### 2.1 超声波脉动比对咸蛋的影响

为了避免超声波用于鸭蛋腌制过程中出现蜂窝和蛋壳破裂的现象, 采用了脉动加超声波的技术。通过前期的超声波预试验发现超声波脉动比和作用时间对咸蛋会产生很大的影响。

蛋清、蛋黄含盐量随超声波脉动比的变化曲线见图 4。由图 4 可知, 蛋清、蛋黄含盐量均随着超声波脉动比出现波形曲线。而且, 超声波脉动比为 2 min:10 min 时蛋黄的含盐量出现了一个波峰, 说明超声波对蛋黄产生了积极的作用, 超声波可以促进蛋

黄 NaCl 的渗透。而对蛋清 NaCl 的渗透速率没有蛋黄的高。从含盐量差值曲线可以看出, 超声波有减少蛋清和蛋黄含盐量之差的作用。这是由于超声波透过蛋壳将能量直接作用到蛋黄上, 使蛋黄更加容易腌制。

试验过程中发现超声波脉动比 3 min:10 min 腌制的鸭蛋中有一个鸭蛋的蛋白出现蛋黄的颜色。而其余的都没有发现蜂窝和蛋壳破裂的现象。虽然超声波脉动比为 2 min:10 min 时, 蛋清含盐量超过 5%, 但是蛋黄含盐量比较高, 特别适合于生产咸蛋黄的企业, 所以超声波脉动比取 2 min:10 min 比较适宜。



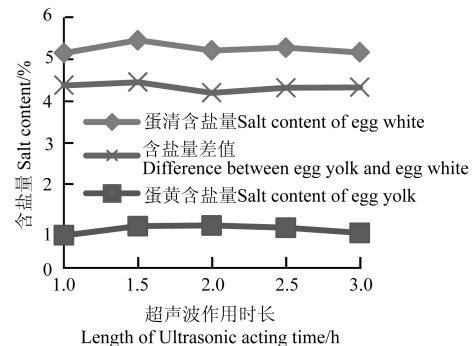
注: 超声波作用时机第 1 天, 超声波作用时长 2 h, 高压幅值 120 kPa, 高压脉动比为 8 min:16 min, 恒温 30℃ 腌制 3 d。  
Note: The first day of using ultrasonic for 2 h, pulse pressure amplitude is 120 kPa, high pressure holding time/ atmospheric pressure holding time ratio is 8 min:16 min, salting 3 days at 30℃.

图 4 超声波脉动比对咸蛋的影响

Fig.4 Effect of ultrasonic pulsation ratio on salted egg

### 2.2 超声波作用时长对咸蛋的影响

蛋清、蛋黄含盐量随超声波时长的变化曲线见图 5。超声波作用时长为 2.5 和 3 h 时, 出现了蛋白泛黄的鸭蛋。而作用时长为 2 h 的鸭蛋蛋黄的含盐量较高, 且含盐量差值最小, 所以超声波作用时长选择 2 h 比较合适。在正交试验中超声波作用时长的水平选择为 1.8、2、2.2 h。



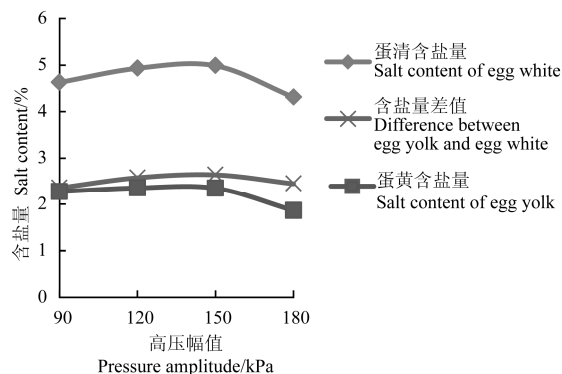
注: 超声波脉动比为 2 min:10 min, 超声波作用时机第 1 天, 高压幅值 120 kPa, 高压脉动比为 8 min:16 min, 恒温 30℃ 腌制 3 d。  
Note: Ultrasonic pulsation ratio is 2 min:10 min, acting time is at the first day, pulse pressure amplitude is 120 kPa, high pressure holding time/ atmospheric pressure holding time ratio is 8 min:16 min, salting 3 days at 30℃.

图 5 超声波作用时长对咸蛋的影响

Fig.5 Effect of ultrasonic acting time on salted egg

### 2.3 高压幅值对咸蛋的影响

蛋清、蛋黄含盐量随高压幅值的变化曲线见图 6。在 120 到 160 kPa 的范围内，虽然蛋清的含盐量超过 5%，但是可以在较短时间内使蛋黄含盐量达到要求，所以我们取高压幅值 120 到 160 kPa 比较适宜。



注：超声波脉动比为 2 min:10 min，超声波作用时机第 1 天，高压脉动比为 8 min:16 min，恒温 30℃ 腌制 3 d。

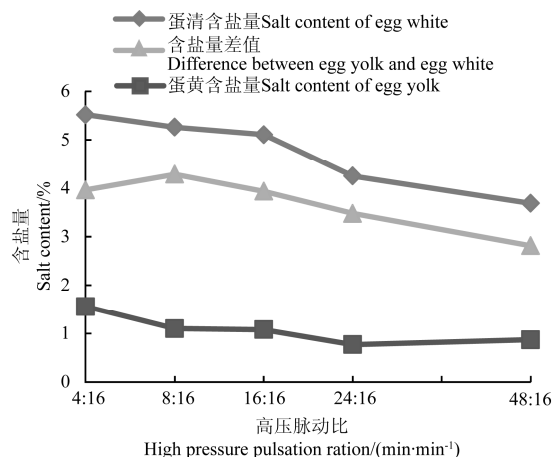
Note: Ultrasonic pulsation ratio is 2 min:10 min, acting time point is at the first day, high pressure holding time/ atmospheric pressure holding time ratio is 8 min:16 min, salting 3 days at 30℃.

图 6 高压幅值对咸蛋的影响

Fig.6 Effect of pulse pressure amplitude on salted egg

### 2.4 高压脉动比对咸蛋的影响

蛋清含盐量、蛋黄含盐量随高压脉动比的变化曲线如图 7 所示。从图可以看出随着高压脉动比的增大，蛋清和蛋黄的含盐量逐渐减少。这是因为在 3 d 的时间里高压作用的次数随着高压脉动比的增大在减少，交替加压和泄压的次数也在减少。但是交替次数增多的话，耗电量会增大，所以高压脉动比宜在 4 min:16 min 到 12 min:16 min 之间。



注：超声波脉动比为 2 min:10 min，超声波作用时机第 1 天，高压幅值 120 kPa，恒温 30℃ 腌制 3 d。

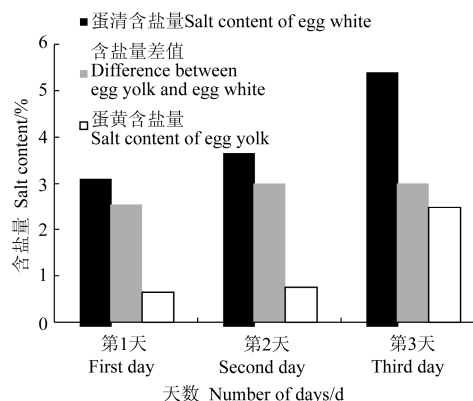
Note: Ultrasonic pulsation ratio is 2 min:10 min, acting time is at the first day, pulse pressure amplitude is 120 kPa, salting 3 days at 30℃.

图 7 高压脉动比对咸蛋的影响

Fig.7 Effect of high pressure holding time/ atmospheric pressure holding time ratio on salted egg

### 2.5 腌制时间对咸蛋的影响

蛋清含盐量、蛋黄含盐量随腌制时间的变化曲线见图 8。腌制时间是影响咸蛋腌制的一个重要因素，腌制时间的长短直接影响到蛋清含盐量和蛋黄含盐量。由感官评价可得，在该条件下腌制时间 3 d，咸蛋蛋黄出油高，松沙可口，蛋白咸味在大众可接受范围 5% 左右。所以腌制时间取 3 d 左右比较适宜。



注：超声波脉动比为 2 min:10 min，超声波作用时机第 1 天，高压幅值 120 kPa，高压脉动比为 8 min:16 min，恒温 30℃。

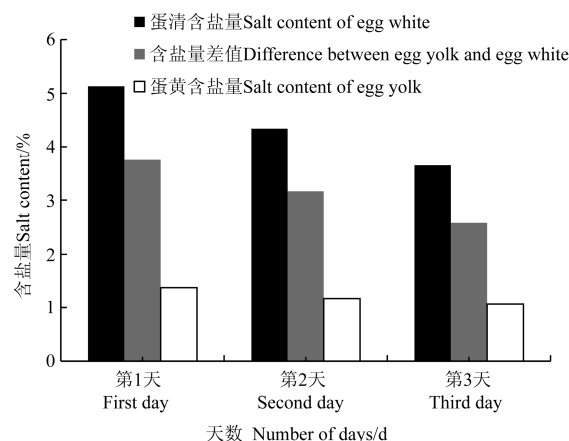
Note: Ultrasonic pulsation ratio is 2 min:10 min, acting time is at the first day, pulse pressure amplitude is 120 kPa, high pressure holding time/ atmospheric pressure holding time ratio is 8 min:16 min, salting temperature is 30℃.

图 8 腌制时间对咸蛋的影响

Fig.8 Effect of time of salting egg on salted egg

### 2.6 超声波作用时机对咸蛋的影响

蛋清含盐量、蛋黄含盐量随腌制时间的变化曲线见图 9。可见超声波作用时间点对咸蛋的含盐量成负相关关系。超声波作用的时间点应该在第 1 天作用，才会起到很好的效果。



注：超声波脉动比为 2 min:10 min，高压幅值 120 kPa，高压脉动比为 8 min:16 min，恒温 30℃ 腌制 3 d。

Note: Ultrasonic pulsation ratio is 2 min:10 min, pulse pressure amplitude is 120 kPa, high pressure holding time/ atmospheric pressure holding time ratio is 8 min:16 min, salting for 3 days at 30℃.

图 9 超声波作用时机对咸蛋的影响

Fig.9 Effect of ultrasonic acting time point on salted egg

## 2.7 正交试验结果与分析

通过表 3 可知,不同的因素对不同的指标影响程度是不一样的。所以我们采用了直观分析法得到综合的优化方案。具体过程如下:

因素 A (高压幅值): 对于蛋黄含盐量而言,取  $A_2$  较优;对于蛋清含盐量  $A_2$  为 4.45%,咸味适合;而且感官评价时,  $A_2$  为 7.17%、 $A_3$  为 7.27%,两者相差不大,故选取  $A_2$ 。

因素 B (高压脉动比): 对于后 2 个指标都是

取  $B_1$  好,而且对和感官评定, B 因素是第二重要的因素,在确定优水平时应重点考虑;所以对于 3 个指标来说  $B_1$  为最佳水平。

因素 C (超声波时长): 对于 3 个指标都是取  $C_3$  好,故选取  $C_3$ 。

综合上述的分析,优方案为  $A_2B_1C_3$ ,即气压幅值为 140 kPa,高压脉动比为 4 min:16 min,超声波时长为 132 min。

表 3 正交试验结果  
Table 3 Results of orthogonal experimental

试验号 Test number	因素 Factors			蛋清含盐量 Salt content of egg white/%	蛋黄含盐量 Salt content of egg yolk/%	感官评定 Sensory evaluation/%
	高压幅值 A Pressure amplitude/kPa	高压脉动比 B High pressure pulsation ration/min	超声波时长 C the ultrasonic acting time/min			
1	120 (1)	4:16 (1)	108 (1)	5.83	1.74	7.5
2	120	8:16 (2)	120 (2)	5.26	1.10	5.5
3	120	12:16 (3)	132 (3)	5.58	1.99	7.3
4	140 (2)	4:16	120	5.52	1.56	6
5	140	8:16	132	4.33	2.23	9.2
6	140	12:16	108	3.50	1.68	6.3
7	160 (3)	4:16	132	4.23	1.95	8.6
8	160	8:16	108	2.58	1.13	5.1
9	160	12:16	120	4.80	1.48	8.1
蛋清 Egg white	$k_1$	5.56	5.19	3.97	因素主次 Primary and secondary factor 优方案 Optimization scheme	ACB $A_2C_3B_2$
	$k_2$	4.45	4.06	5.20		
	$k_3$	3.87	4.63	4.72		
蛋黄 Egg yolk	$k_1$	1.61	1.75	1.52	因素主次 Primary and secondary factor 优方案 Optimization scheme	CAB $C_3A_2B_1$
	$k_2$	1.82	1.49	1.38		
	$k_3$	1.52	1.72	2.05		
感官 Sense	$k_1$	6.77	7.37	6.30	因素主次 Primary and secondary factor 优方案 Optimization scheme	CBA $C_3B_1A_3$
	$k_2$	7.17	6.60	6.53		
	$k_3$	7.27	7.23	8.37		

通过试验验证在气压幅值为 140 kPa,高压脉动比为 4 min:16 min,超声波时长为 132 min 的条件下,采用 24% 食盐溶液恒温 30℃ 腌制,蛋清含盐量达到 4.61%、蛋黄含盐量达 2.12%,感官评定良好,3 d 可以腌制出成熟的咸蛋。

## 3 结 论

1) 在其他腌制条件相同的情况下,脉动压和超声波联用处理的鸭蛋食盐的渗透速率明显高于未处理过的鸭蛋。与传统腌制方法相比较,脉动压和超声波联用处理后的咸蛋蛋白和蛋黄的含盐量差值小,蛋白细嫩,颜色纯白;蛋黄松沙,出油率高。同时生产周期比传统腌制方法缩短了 90%,有利于咸蛋的工业化生产。

由于试验采用的压力容器体积有限,不能进行大批量的腌制试验。后期可以将腌制装置进行比例

放大成可以机械化、自动化生产的高效中式蛋制品加工设备。为生产企业缩短腌制时间,提高资金周转率,克服传统腌制工艺中咸淡度无法控制的难题。

2) 从单因素试验可知:各种脉动比的超声波对蛋黄含盐量均有显著的促进作用,效果随作用时长显著增加,作用时间点为第一天最佳;而脉动压对蛋清和蛋黄的含盐量都有很大的促进效果,高压幅值在 120~160 kPa 范围效果最佳,在总腌制时间相同的条件下,高压脉动比的增加会减弱脉动压的作用效果。

3) 通过正交试验和验证试验可知:采用自行设计的鸭蛋快速腌制试验装置,用 24% 食盐溶液恒温 30℃ 腌制,在高压幅值 140 kPa,高压脉动比 4 min:16 min,超声波作用时机应在第 1 天,超声波脉动比为 2 min:10 min,超声波作用时长为 132 min 的条件下,3 d 可以腌制出效果较好、成熟的咸蛋。

## [参 考 文 献]

- [1] 任发政. 咸蛋的腌制机理及其加工方法[J]. 农产品加工, 2009(5): 24—25.  
Ren Fazheng. The salting mechanism and processing methods of salted egg[J]. Farm Products Processing, 2009(5): 24—25. (in Chinese with English abstract)
- [2] 李帅俊, 凌刚. 咸鸭蛋的快速腌制技术及改善其品质的研究[J]. 食品工业科技, 2006, 27(2): 95—96, 100.  
Li Shuaijun, Ling Gang. A quick method for salted duck eggs and its quality improvement[J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 27(2): 95—96, 100. (in Chinese with English abstract)
- [3] 蒲跃进, 徐小娟, 梁振华, 等. 鸭蛋清洗对咸蛋加工的影响[J]. 食品科技, 2012(6): 76—79.  
Pu Yuejin, Xu Xiaojuan, Liang Zhenhua, et al. Effect on cleaning for salt duck egg processed[J]. Food Science, 2012(6): 76—79. (in Chinese with English abstract)
- [4] Chi S P, Tseng K H. Physicochemical properties of salted pickled yolk from duck and chicken eggs[J]. Food Science, 1998, 33(10): 507—513.
- [5] 徐明生, 董开发, 鄢建芬, 等. 香辛料对咸蛋腌制的影响[J]. 肉类研究, 2000(4): 38—39.  
Xu Mingsheng, Dong Kaifa, Yan Jianfen, et al. The influence of the spices on the quality of salted egg[J]. Meat Research, 2000(4): 38—39. (in Chinese with English abstract)
- [6] 刘良忠, 文友先, 张声华, 等. 几种食品添加剂与香辛料对咸蛋加工的影响[J]. 食品工业科技, 2003(1): 48—50.  
Liu Liangzhong, Wen Youxian, Zhang Shenghua, et al. The influence of various food additives and natural spices on the process of salted eggs[J]. Science and Technology of Food Industry, 2003(1): 48—50. (in Chinese with English abstract)
- [7] 王晓拓, 高振江, 王雅维, 等. 腌制剂对脉动压腌制咸鸡蛋的影响[J]. 农业工程学报, 2010(S2): 394—398.  
Wang Xiaotuo, Gao Zhenjiang, Wang Yawei, et al. Influences of preserved preparations on salted eggs under pulsed pressure[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010(S2): 394—398. (in Chinese with English abstract)
- [8] 蒲跃进, 杜金平, 梁振华, 等. 循环水腌制咸蛋工艺研究[J]. 中国家禽, 2010(16): 25—27.  
Pu Yuejin, Du Jinping, Liang Zhenhua, et al. Study on processing of salted egg with circulating water[J]. China Poultry, 2010(16): 25—27. (in Chinese with English abstract)
- [9] 陈石头, 高振江. 脉动压力腌制禽蛋的试验研究[J]. 农业工程学报, 2006(S2): 163—166.  
Chen Shitou, Gao Zhenjiang. Study on the process of salted eggs under pulsed pressure[J]. (in Chinese with English abstract), 2006(S2): 163—166. (in Chinese with English abstract)
- [10] 王晓拓, 高振江. 脉动压技术腌制鸡蛋工艺优化[J]. 食品科学, 2010(8): 97—101.  
Wang Xiaotuo, Gao Zhenjiang. Orthogonal array design for optimization of pulse pressure processing of salted eggs[J]. Food Science, 2010(8): 97—101. (in Chinese with English abstract)
- [11] 吴玲, 孙静, 乐立强, 等. KCl 部分替代 NaCl 腌制咸蛋效果的比较研究[J]. 食品科学, 2011(13): 5—10.  
Wu Ling, Sun Jing, Le Liqiang, et al. Effect of potassium chloride as partial sodium chloride substitution in salted duck eggs[J]. Food Science, 2011(13): 5—10. (in Chinese with English abstract)
- [12] 郑玉锴, 刘树滔, 陈躬瑞, 等. 超声波技术在咸蛋腌制中的应用及其机理初探[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 1996(3): 73—76.  
Zheng Yuqing, Liu Shutao, Chen Gongrui, et al. The applications and the preliminary mechanisms of ultrasonic technology in salting eggs[J]. Journal of Fuzhou University: Natural Science Edition, 1996(3): 73—76. (in Chinese with English abstract)
- [13] 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(1): 134—135.  
Lai Yiping, Lin Xiangyang, Zhu Rongbi, et al. Application of ultrasonic technology in production of salted eggs[J]. Food and Machinery, 2011(1): 134—135. (in Chinese with English abstract)
- [14] 林向阳, 赖宜萍, 朱榕壁, 等. 咸蛋腌制过程中超声波预处理技术参数优化[J]. 中国食品学报, 2011(6): 68—76.  
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(6): 68—76. (in Chinese with English abstract)
- [15] 刘国庆, 江力, 钱晓勇, 等. 咸鸭蛋快速腌制工艺优化研究[J]. 食品科学, 2008(12): 234—237.  
Liu Guoqing, Jiang Li, Qian Xiaoyong, et al. Optimization of processing technology of salted duck eggs[J]. Food Science, 2008(12): 234—237. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王静, 韩涛, 李丽萍. 超声波的生物效应及其在食品工业中的应用[J]. 北京农学院学报, 2006(1): 67—75.  
Wang Jing, Han Tao, Li Liping. Study and applications of ultrasound wave in biological and food technology[J]. Journal of Beijing Agricultural College, 2006(1): 67—75. (in Chinese with English abstract)
- [17] Wang Shiquan, Wang Shucai, Ma Meihu. Design of the highly active salting egg can's control system based on ARM[C]// Yichang, IEEE Computer Society, 2011: 2991—2994.
- [18] GB/T 12457-2008. 食品中氯化钠的测定[S].
- [19] 武秀香, 岑宁, 杨章平. 咸蛋快速腌制工艺有关问题探讨[J]. 中国家禽, 2011(3): 56—57.  
Wu Xiuxiang, Cen Ning, Yang Zhangping. The related issues of quick pickled salted egg crafts[J]. China Poultry, 2011(3): 56—57. (in Chinese with English abstract)

- [20] 陈石头. 脉动压力腌制咸蛋实验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2007.  
Chen Shitou. Study on the Salted Eggs under Pulsed Pressure[D]. Bei jing: China Agricultural University, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [21] 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(2): 263—266.  
Rong Jianhua, Zhang Zhengmao, Feng Lei, et al. Pickling dynamics of salted eggs. Pickling dynamics of salted eggs[J]. 2007(2): 263—266. (in Chinese with English abstract)

## Parameter optimization for quickly salted egg by using ultrasonic-pulsed pressure technology

Wang Shiquan, Wang Shucal<sup>\*</sup>, Zhang Yipeng, Zhang Rong  
(College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** The pickled cycle of salted duck eggs is a very long time. It usually takes twenty days to thirty days (in spring and summer) and forty days to fifty days (in autumn and winter) to make the salted duck eggs. Therefore, reducing the time of making salted eggs became the issue which domestic scholars were concerned about. The quality of salted duck eggs has the characteristics of moderate salinity, deliciousness, pure protein, delicate, crispy yolk, and the flow of yolk oil. Ultrasonic technology and pulsed pressure technology was applied to accelerate the process of salting duck eggs. We fabricated a rapid salted experimental apparatus of a duck's egg, which mainly contained the pressure vessel, the air compressor, the circulating system, heating devices, and control systems. The effects of the pulse pressure amplitude, the high pressure holding time/atmospheric pressure holding time ratio, and the ultrasonic acting time on the salt contents of egg white (EWSC) and salt contents of egg yolk (EYSC) were studied by single factor methods: the efficiency of water cycle pulse ratio on the salted eggs, the efficiency of water cycle time on salted eggs, the efficiency of high pressure value on salted eggs, the efficiency of high pressure pulsation ration on salted eggs, the efficiency of salting time on eggs, and an orthogonal array design methods. The experiment based on a single factor showed that: the various water cycles it played a significant role in increasing salt content of a egg yolk with the time point 1 d, which showed the best efficiency; pulsating pressure has a great promotion effect on the salt content in the egg white and yolk with the range of 120-160 kPa. Under the same condition of salted time, the increase of pressure pulsating will reduce the effect of pulsating pressure. The orthogonal experimental results showed that during the three day salting with a 24% salt solution under 30°C. To obtain optimal quality of salted eggs and the optimum mass transfer rate, a solution was obtained under the following conditions: pulse pressure amplitude was 140 kPa, and high pressure holding time/atmospheric pressure holding time ratio was 4 min:16 min, the ultrasonic acting time point was the first day's, Ultrasonic pulsation ratio was 2 min:10 min, and the ultrasonic acting time was 132 min. The protein content was 4.61%, the egg yolk salt content was 2.12%, and the difference of salt was only 2.49%. Delicate protein, moderate salty; crispy yolk and the flow yolk oil were evaluated by a sensory method. The production cycle of the traditional salted eggs method was shortened by 90%, and it was conducive to the industrial production of salted duck egg. Because the applied pressure vessel volume is limited, it cannot be used for large quantities of salted duck egg tests. In the future, the egg-salting device can be scaled into the mechanization and automation of production of efficient Chinese egg products processing equipment that can quickly salt duck egg without pollution.

**Key words:** ultrasonic application, salts, optimization, pulsed pressure technology, fast salted, salted duck egg

(责任编辑: 刘丽英)