

真空脉动技术对鸡蛋腌制效率及品质的影响

邹燕子¹ 巨浩羽¹ 耿亚慧¹ 刘鑫汉¹ 张卫鹏²

(1. 河北经贸大学生物科学与工程学院, 河北 石家庄 050061; 2. 北京工商大学人工智能学院, 北京 100048)

摘要: [目的] 提高咸鸡蛋腌制效率和品质。[方法] 将真空脉动技术应用于鸡蛋的腌制, 并与常压腌制(对照组)进行比较。选取真空保持时间、常压保持时间和腌制时间为影响因素, 以咸鸡蛋在腌制过程中的蛋增重率、蛋清含盐率、蛋黄含盐率、蛋黄指数和蛋黄色泽为指标进行单因素试验。[结果] 在真空度为 -90 kPa、饱和食盐水浸泡的条件下, 真空保持时间与常压保持时间脉动比 4:5 (真空保持时间 12 min, 常压保持时间 15 min), 腌制 48 h 的咸鸡蛋品质佳。该条件下蛋增重率、蛋清含盐率、蛋黄含盐率和蛋黄指数分别为 3.73%, 5.85%, 3.98%, 91.00%, 腌制速率比常压腌制快 9~15 倍; 后熟 36 h 时, 咸鸡蛋的蛋清含盐率、蛋黄含盐率、蛋黄指数和色泽 h^* 分别为 5.12%, 4.13%, 91.00%, 82.32。[结论] 与常压腌制相比, 真空脉动腌制不但能够大幅缩短腌制时间, 还能显著提高腌制品质。

关键词: 鸡蛋; 真空脉动技术; 真空; 腌制; 后熟

Effect of vacuum pulsation technology on egg pickling efficiency and quality

ZOU Yanzi¹ JU Haoyu¹ GENG Yahui¹ LIU Xinghan¹ ZHANG Weipeng²

(1. College of Bioscience and Engineering, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang, Hebei 050061, China; 2. College of Computer and Artificial Intelligence, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: [Objective] To improve the efficiency and quality of salted egg pickling. [Methods] Vacuum pulsation technology is applied to the pickling of eggs and compared with atmospheric pressure pickling (control group). Vacuum-holding time, atmospheric pressure holding time, and pickling time are selected as the influencing factors, and the egg weight gain rate, egg white salt content, egg yolk salt content, egg yolk index, and egg yolk color of salted eggs during pickling are used as indicators for single factor experiments. [Results] Under the conditions of a vacuum degree of -90 kPa and immersion in saturated salt water, with the pulsation ratio of vacuum-holding time to atmospheric pressure holding time of 4:5 (Vacuum-holding time is 12 min and atmospheric pressure holding time is 15 min) and the pickling time of 48 h, the salted eggs are of good quality. Under these conditions, the egg weight gain rate, egg white salt content, egg yolk salt content, and egg yolk index were 3.73%, 5.85%, 3.98%, and 91.00%, respectively, and the pickling rate is 9~15 times faster than that of atmospheric pressure pickling. After 36 h of ripening (post-pickling storage at low temperatures), egg white salt content, egg yolk salt content, egg yolk index, and color h^* of salted eggs are 5.12%, 4.13%, 91.00%, and 82.32, respectively. [Conclusion] Compared with atmospheric pressure pickling, vacuum pulsation pickling can not only greatly shorten the pickling time, but also significantly improve the curing quality.

Keywords: egg; vacuum pulsation technology; vacuum; pickling; ripening

鸡蛋可为人体提供所需的蛋白质、脂肪、维生素、矿物质等营养物质。2022 年中国鸡蛋年产量达到了 2 938 万 t, 约占全球鸡蛋产量的 33%^[1]。鸡蛋的消费分为鲜蛋消费和蛋制品消费, 从蛋制品消费来看, 日本、美国与欧盟的蛋制品消费在鸡蛋消费中的占比分别为 50%,

33%, 25%, 而在中国这一数据仅为 5%~7%^[2-3]。蛋制品有皮蛋、咸蛋、糟蛋等, 而咸蛋是主要的加工方式^[4-5]。目前咸蛋腌制方法有自然渗透、超声波、压力脉动技术等^[6-7]。自然渗透有草木灰法、盐泥涂布法、盐水浸渍法等^[8], 该类方法加工方式和原理相近, 设备简单、成本低

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 32202233, 32102141); 河北省高等学校科学技术研究项目(编号: BJK2023047)

通信作者: 巨浩羽(1989—), 男, 河北经贸大学副教授, 博士。E-mail: ju56238@163.com

收稿日期: 2024-05-17 **改回日期:** 2024-11-11

廉、通常适用于家庭作业或小规模生产,但是生产周期较长^[9-10],不易实现机械自动化。而且腌制过程难以控制,易受微生物污染、成品感官品质不一致。郑玉锴等^[11]提出将超声波技术应用于咸蛋的腌制,可明显促进 NaCl 的渗透与扩散,缩短咸蛋加工时间。赖宜萍等^[12]研究发现超声波预处理腌制的蛋内部含盐量分布均匀,腌制成熟周期较未处理过的咸蛋缩短了 33%。孙秀秀等^[13]在探究最佳间隔超声工艺中得到在 350 W, 20 kHz 的超声条件下超声 3 次,每次 30 min, 20 d 左右完成腌制。然而该方法不仅操作繁琐,经济成本大,效益不明显,且难以实现工业化生产。

压力脉动渗透技术是指利用渗透膜两侧的压力差加速渗透传质的过程,主要包括高压脉动和真空脉动。陈石头等^[14]将高压脉动压力技术应用于咸蛋加工,结果表明高压幅值为 110~130 kPa,高压时间与常压时间脉动比 1:1(高压保持时间 5 min,常压保持时间 5 min),能够大大促进咸蛋黄成熟,缩短加工时间。与盐水自然渗透相比,加工效率提高了 10 倍。王晓拓等^[15]研究表明,在高压幅值为 135 kPa,高压与常压脉动时间比 1:2(高压保持时间 7.5 min,常压保持时间 15.0 min),腌制时间 48 h 的条件下,能够促进盐溶液向蛋内渗透,缩短腌制时间。欧阳玲花等^[16]采用负压技术腌制鸭蛋,在真空度为 $-0.095 \sim -0.090$ MPa 保持 20 min 后破除真空,循环腌制 3 次的腌制条件下可缩短咸蛋加工时间,改善咸蛋品质。

真空脉动技术可以缩短咸蛋的腌制时间,然而现有的文献缺少对真空脉动技术腌制鸡蛋的过程研究。在真空脉动腌制过程中,真空条件能够排除腌制液和鸡蛋中的气体,常压条件有利于盐分渗透。研究拟采用真空脉动技术对鲜鸡蛋进行腌制,并探究真空保持时间、常压保持时间和腌制时间对咸鸡蛋增重率、蛋清含盐率和蛋黄含盐率及蛋黄指数的影响。旨在综合分析真空压力脉动影响咸鸡蛋加工速率的因素,在提高咸蛋品质的同时,优化真空脉动技术腌制禽蛋,以提高咸蛋的腌制效率,得出咸蛋品质最佳的工艺。

1 材料与方法

1.1 试验装置与仪器

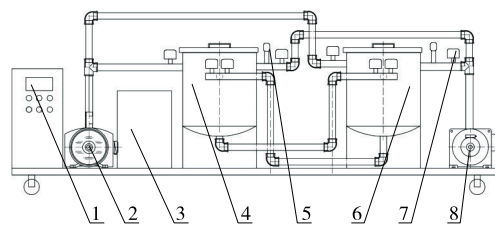
压力脉动试验装置(见图 1):河北经贸大学食品加工工程实验室自制;

电子数显盐度计:SSM 1000 型,广州广电计量检测股份公司;

分光测色计:NR-200 型,深圳市三恩时科技有限公司;

电子天平:MTB 1000D 型,深圳市美孚电子有限公司;

电动打蛋器:S-LD150 型,九阳股份有限公司。



1. 控制系统 2. 真空泵 3. 水箱 4. 腌制罐 A 5. 压力传感器 6. 腌制罐 B 7. 电磁阀 8. 空气压缩机

图 1 压力脉动试验装置结构简图

Figure 1 Structure of pressure pulsation test device

1.2 试验原料

新鲜鸡蛋:市售。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程

鲜蛋→检验破损→洗蛋→晾干→称重、标记→装入饱和食盐水的烧杯中→放入密闭腌制罐→进行压力脉动腌制→随机抽样检验

1.3.2 禽蛋腌制

(1) 真空脉动技术腌制:将鲜鸡蛋清洗、晾干,剔除破损蛋并称重后,置于饱和食盐水溶液(NaCl 质量分数 $\geq 25\%$)的烧杯中。将烧杯置于压力脉动装置中,在真空度为 -0.095 MPa、 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的条件下,分别考察真空保持时间、常压保持时间和腌制时间对咸鸡蛋品质的影响,具体试验参数设计参照文献^[15]和文献^[17],每个处理设计 3 个平行。其中,考察真空保持时间的试验中常压保持时间为 15 min,真空保持时间分别为 5, 7, 12, 15, 18 min,腌制时间为 48 h;考察常压保持时间的试验中真空保持时间为 12 min,常压保持时间分别为 5, 7, 10, 15, 20, 25 min,腌制时间为 48 h;考察腌制时间的试验中真空保持时间为 12 min,常压保持时间为 15 min,腌制时间分别为 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 72 h。

(2) 常压浸泡腌制:将鲜鸡蛋清洗、晾干,剔除破损蛋并称重后,置于饱和食盐水溶液(NaCl 质量分数 $\geq 25\%$)的烧杯中。用保鲜膜密封后在 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ 下腌制 30 d,每隔 6 d 进行取样,测定蛋增重率、蛋清含盐率、蛋黄含盐率、蛋黄指数和蛋黄色泽。

1.3.3 后熟 腌制完成的咸蛋进行真空包装,在 $4 \sim 8^\circ\text{C}$ 冷藏后分别后熟 12, 24, 36, 48, 60, 72 h,测定蛋增重率、蛋清含盐率、蛋黄含盐率、蛋黄指数和蛋黄色泽。

1.3.4 指标测定

(1) 蛋增重率:用蛋的增重率来反映盐溶液的渗透量。按式(1)计算蛋增重率^[18]。

$$W = (m_1 - m_0) / m_0 \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

W——增重率,%;

m_1 ——腌制后蛋的质量, g;

m_0 ——初始蛋的质量, g。

(2) 蛋清含盐率(egg white salt content, WSC)和蛋黄含盐率(egg yolk salt content, YSC):将蛋清和蛋黄分离,使用电打蛋器将蛋清搅拌成稀水状,蛋黄研磨充分,分别取样 10 g。用去离子水稀释 100 倍后,采用电子数显盐度计测定含盐率,以测量结果的 100 倍作为检测值。

(3) 蛋黄指数:参照文献[19],按式(2)计算蛋黄指数。

$$I = (H/D) \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

I ——蛋黄指数, %;

H ——蛋黄高度, mm;

D ——蛋黄直径, mm。

(4) 蛋黄色泽:参照文献[20]使用分光测色计测量蛋黄在腌制过程中颜色的变化。按式(3)计算色调角。

$$h^* = \tan^{-1}(b^*/a^*) \times \frac{180}{\pi}, \quad (3)$$

式中:

h^* ——色调角;

a^* ——绿/红值;

b^* ——蓝/黄值。

(5) 感官评价:在试验中选取 10 个咸蛋,煮熟后由 6~10 人组成的评价小组参照表 1 中的评分细则进行评价,结果取其平均值。

表 1 感官评价评分细则表^[21-22]

Table 1 Sensory evaluation scoring rules

指标	评价标准	满分
蛋清	蛋白细嫩,无明显斑点,咸度适中	3.5
蛋黄	橙红色有油色,蛋黄松沙,煮熟后蛋黄起油或者者有油析出,咸淡适中	3.5
口感	有咸蛋固有的香味和滋味,无异味,口感细腻	3.0

1.4 数据分析

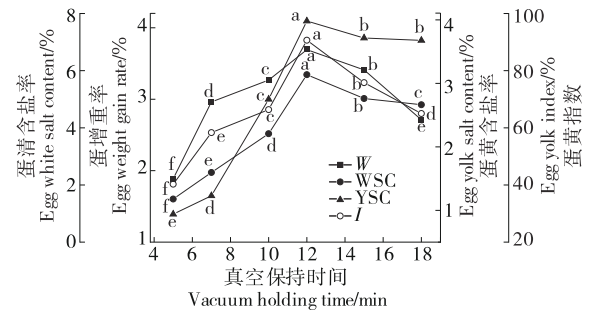
利用 IBM SPSS Statistics 22 进行单因素方差分析(ANOVA)和 Duncan 多重比较显著性分析,显著性水平为 $P < 0.05$ 。采用 Excel、Origin 2022 绘图分析软件(64 Bit, Origin Lab)进行数据处理与绘图。

2 结果与分析

2.1 真空脉动腌制

2.1.1 真空保持时间对咸鸡蛋品质的影响 由图 2 可知,在常压保持时间为 15 min,腌制时间为 48 h 的条件下, W 、WSC、YSC 和 I 随着真空保持时间的延长先增大后缓慢减小。在真空保持时间为 12 min 时, W 、WSC、YSC 和 I 分别为 3.73%, 5.85%, 3.98%, 91.00%, 此时的盐传质速率最

快。真空保持时间过长或者过短均不利于盐溶液向蛋内进行渗透和扩散。这是由于随着真空保持时间的增加,前期鸡蛋内外存在渗透压差,可以提高盐的传质速率,当渗透压差逐渐达到平衡后,且长时间处于真空状态下,对促进盐溶液的继续渗入影响并不明显。因此,真空保持时间选择 12 min 比较适宜。

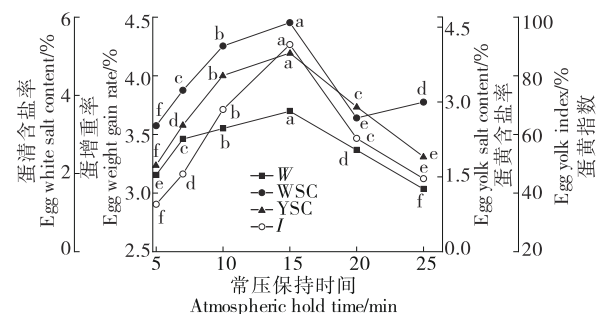


同一指标字母不同表示不同真空保持时间的样品之间差异显著 ($P < 0.05$)

图 2 真空保持时间对咸鸡蛋品质的影响

Figure 2 Effect of vacuum holding time on the quality of salted eggs

2.1.2 常压保持时间对咸鸡蛋品质的影响 由图 3 可知,在真空保持时间为 12 min,腌制时间为 48 h 的条件下,常压保持时间为 5~15 min 时, W 、WSC、YSC 和 I 随着常压保持时间的延长而增加。而常压保持时间为 15~25 min 时,随着常压保持时间的增加, W 、WSC、YSC、 I 呈下降的趋势。在常压保持阶段,刚开始由于鸡蛋内部存在的压力大于外部的压力,水分和气体加速渗出,为 NaCl 分子的渗入留出足够的空间,同时由于水分和气体的渗出,使得鸡蛋外壳的孔道不易被堵塞,也有利于盐分的渗入。但是常压保持时间过长,鸡蛋内外渗透压一致,此时 NaCl 分子主要是通过蛋壳及蛋壳膜进行渗透扩散,扩散速度缓慢。因此,常压保持时间选择 15 min 比较适宜。



同一指标字母不同表示不同常压保持时间的样品之间差异显著 ($P < 0.05$)

图 3 常压保持时间对咸鸡蛋品质的影响

Figure 3 Effect of atmospheric pressure holding time on the quality of salted eggs

2.1.3 腌制时间对咸鸡蛋品质的影响 由图4可知,在真空保持时间与常压保持时间的脉动比为4:5(真空保持时间12 min,常压保持时间15 min)的条件下,*W*、*WSC*、*YSC*和*I*均随着腌制时间的延长而逐渐增加。在0~24 h时,*W*、*WSC*、*YSC*和*I*上升速率快,但是随着腌制时间的延长,后期逐渐趋于平缓。随着腌制时间的延长,蛋清和蛋黄中的盐分含盐率差异加大,*I*随着腌制时间的延长逐渐趋近于1,这是由于NaCl的渗入使得蛋黄球、蛋黄颗粒破裂,促进了蛋黄凝胶并提高其凝胶强度,同时脱水作用又让蛋黄球变得更加紧实。因此,腌制时间的长短不仅直接影响到盐溶液向蛋内的渗透和扩散,而且对蛋黄指数也有影响。由表2可以看出,腌制时间过长,蛋清和蛋黄的感官品质均有所下降。在真空保持时间与常压保持时间的脉动比为4:5(真空保持时间12 min,常压保持时间15 min)的条件下腌制48 h时,感官评价最高,故腌制时间选择48 h为宜。

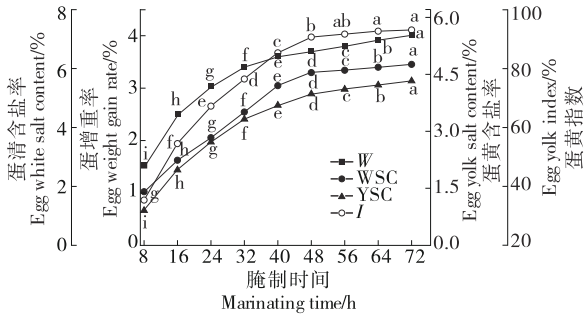


图4 腌制时间对咸鸡蛋品质的影响

Figure 4 Effect of pickling time on the quality of salted eggs

表2 腌制时间对咸鸡蛋感官品质的影响†
Table 2 Effect of pickling time on the organoleptic quality of salted eggs

腌制时间/h	蛋清	蛋黄	口感	总评
8	1.60±0.10 ^f	1.20±0.16 ^e	1.20±0.12 ^e	4.30±0.86 ^d
16	2.10±0.12 ^{de}	1.32±0.13 ^{de}	1.26±0.09 ^e	5.06±0.27 ^d
24	2.26±0.17 ^d	1.54±0.11 ^d	1.26±0.09 ^e	5.62±0.18 ^{cd}
32	2.52±0.13 ^c	1.74±0.17 ^c	1.38±0.13 ^{de}	7.72±0.15 ^{bc}
40	3.14±0.11 ^b	3.10±0.11 ^a	1.78±0.26 ^c	8.92±0.36 ^{ab}
48	3.42±0.08 ^a	3.28±0.16 ^a	2.92±0.16 ^a	9.62±0.29 ^a
56	3.20±0.19 ^{ab}	3.20±0.16 ^a	2.52±0.31 ^b	6.88±0.36 ^c
64	2.30±0.20 ^{cd}	2.72±0.19 ^b	1.86±0.17 ^c	6.40±0.25 ^c
72	1.92±0.08 ^e	2.82±0.15 ^b	1.66±0.15 ^d	6.50±1.91 ^c

† 同列字母不同表示不同腌制时间样品之间差异显著($P<0.05$)。

2.2 真空脉动腌制后熟时间对咸鸡蛋品质的影响

在真空保持时间与常压保持时间的脉动比为4:5(真空保持时间12 min,常压保持时间15 min)的条件下,腌制48 h后,于4~8 ℃下分别后熟12,24,36,48,60,72 h,其各项指标随后熟时间的变化如图5、表3所示。

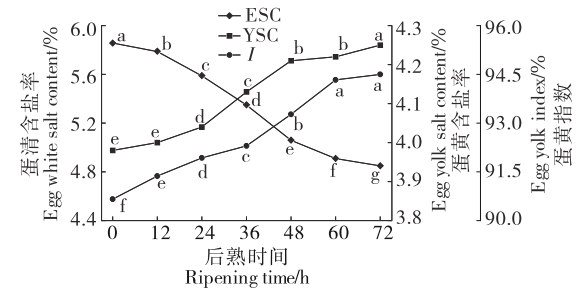


图5 后熟时间对咸鸡蛋品质的影响

Figure 5 Effect of ripening time on the quality of salted eggs

表3 后熟时间对咸鸡蛋色泽的影响†
Table 3 Effect of ripening time on the color of salted eggs

后熟时间/h	L^*	a^*	b^*	h^*
0	48.79±2.00 ^a	17.96±0.07 ^a	46.72±1.08 ^{cd}	68.97±0.90 ^d
12	35.56±2.60 ^{bcd}	11.13±1.11 ^b	44.08±4.85 ^{cd}	75.80±0.85 ^b
24	29.82±10.10 ^d	10.73±0.98 ^b	38.37±16.50 ^d	72.49±5.79 ^c
36	52.89±2.99 ^a	11.21±0.95 ^b	83.06±5.29 ^a	82.32±0.23 ^a
48	32.61±3.02 ^{cd}	9.29±0.35 ^c	53.84±2.88 ^{bc}	80.18±0.83 ^a
60	37.29±3.04 ^{bc}	8.97±1.10 ^c	60.59±8.36 ^b	81.57±0.36 ^a
72	41.61±4.10 ^b	9.24±1.25 ^c	60.00±9.14 ^b	81.22±0.39 ^a

† 同列字母不同表示不同后熟时间的样品之间差异显著($P<0.05$)。

由图4可知,随着后熟时间的延长,*WSC*呈下降趋势。*YSC*和*I*随着后熟时间的延长逐渐增大。这是由于蛋清与蛋黄存在盐分浓度差,蛋清溶液中的盐分缓慢渗透进蛋黄,使得蛋黄含盐率增加。同时渗入蛋黄的食盐使得蛋黄球、蛋黄颗粒破碎,促进蛋黄凝胶并提高了凝胶强度。因此,*I*也随着后熟时间的延长而增大。

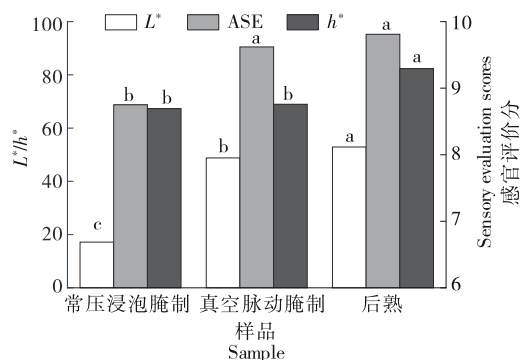
由表3可知,蛋黄的 L^* 随着后熟时间的延长呈波浪式变化,在后熟36 h时达最大值,可能是因为随着后熟时间延长,蛋黄的含水率发生变化使得其变暗后变亮,同时 a^* 和 b^* 也发生相应的变化,而 h^* 随着后熟时间的延长先逐渐增大后缓慢减小。

在后熟36~72 h时,*YSC*稍高,*WSC*有所降低,蛋黄松沙细嫩,有油渗出,香气浓厚,咸蛋适中。根据色泽指标,

在后熟36 h时,此时的 L^* 、 h^* 值最高,分别为52.89,82.32。蛋黄色泽明亮,呈诱人橘红色。因此,后熟时间选择36 h为宜。

2.3 真空脉动腌制咸鸡蛋的品质分析

由图5可以看出,在真空保持时间与常压保持时间的脉动比为4:5(真空保持时间12 min,常压保持时间15 min)的条件下,腌制48 h的咸鸡蛋WSC、YSC、 I 分别为5.85%,3.98%,91.00%,相较于在常压条件下腌制30 d的咸鸡蛋WSC、YSC、 I 为5.12%,1.23%,91.00%,WSC和 I 相差不大,而真空脉动腌制条件下YSC的含量相较常压腌制下的更高,此时的蛋黄更有滋味。由图6可知,真空腌制的咸鸡蛋的蛋黄色泽比常压腌制的更明亮,感官评分更高,而两种腌制方法下 h^* 相差并不明显。真空后熟36 h后色泽 h^* 比常压腌制和真空腌制更为明亮橘红,同时感官评分也更高。因此,使用真空技术腌制的咸鸡蛋品质优于常压腌制,并且真空腌制后熟36 h后蛋黄更加油润有味,色泽橘红。



同一指标字母不同表示不同腌制时间的样品之间差异显著($P < 0.05$);常压浸泡腌制:在常压条件下腌制30 d;真空脉动腌制:真空保持时间与常压保持时间的脉动比为4:5(真空保持时间12 min,常压保持时间15 min),真空度为-90 kPa的饱和盐溶液中腌制48 h;后熟:真空保持时间与常压保持时间的脉动比为4:5(真空保持时间12 min,常压保持时间15 min)腌制48 h后,4~8℃冷藏的条件下后熟36 h

图6 不同腌制方法下的指标变化

Figure 6 Indicator changes under different pickling methods

3 结论

探究了不同真空保持时间、常压保持时间和腌制时间对鸡蛋腌制传质效率和品质的影响。结果表明,在真空度为-90 kPa的饱和食盐水的条件下,真空保持时间与常压保持时间的脉动比为4:5(真空保持时间12 min,常压保持时间15 min),腌制48 h的咸鸡蛋品质佳。蛋增重率、蛋清含盐率、蛋黄含盐率和蛋黄指数分别为3.73%,5.85%,3.98%,91.00%。在此条件下后熟36 h后的蛋白细

嫩有滋味,蛋黄松软流油,呈现诱人的橘红色。将真空脉动技术应用于咸鸡蛋的加工,在真空的状态下能够排除腌制液和鸡蛋内的气体,可以加速NaCl分子补充空位,并且常压的状态由于浓度梯度也能够使NaCl迅速渗透至鸡蛋中,从而提高腌制的效率和品质。

参考文献

- [1] 朱宁. 2022年蛋鸡产业发展形势及2023年展望[J]. 中国畜禽种业, 2023, 19(4): 37-41.
- [2] 范梅华, 王晓峰. 变革调整期, 我国蛋品加工行业高质量发展方向探讨[J]. 中国禽业导刊, 2021, 38(11): 2-13.
- [3] 郑东磊, 霍嘉颖, 李述刚, 等. 我国禽蛋加工研究现状、问题及趋势[J]. 中国禽业导刊, 2023, 40(12): 13-18.
- [4] 万茜, 刘良忠, 李丁宁, 等. 我国蛋品资源的开发利用与研究进展[J]. 武汉工业学院学报, 2010, 29(4): 8-12.
- [5] 袁宇涵, 王岩, 张亮, 等. 蛋制品加工技术与副产物综合利用研究进展[J]. 中国调味品, 2022, 47(10): 192-197.
- [6] 敖礼林, 陈兆虎. 咸蛋制作工艺[J]. 农村百事通, 2018(5): 44-46.
- [7] GAUTRON J, DOMBRE C, NAU F, et al. Review: production factors affecting the quality of chicken table eggs and egg products in Europe[J]. Animal, 2022, 16: 100425.
- [8] 王一亭, 庞敏. 咸鸭蛋腌制机理与方法的研究[J]. 现代食品, 2020(22): 52-54.
- [9] 周光宏. 畜产品加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 308-309.
- [10] ZHOU G H. Technology of animal products processing

- [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002: 308-309.
- [10] 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 F Z. The pickling mechanism of salted eggs and their processing methods[J]. Agricultural Products Processing, 2009 (5): 24-25.
- [11] 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, 24 (3): 73-76.
- ZHENG Y Q, LIU S T, CHEN G R, et al. Application of ultrasonic wave to the production of salted duck eggs and its mechanism[J]. Journal of Fuzhou University (Natural Science Edition), 1996, 24(3): 73-76.
- [12] 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): 134-135, 142.
- LAI Y P, LING X Y, ZHU R B, et al. Application of ultrasonic technology in production of salted eggs[J]. Food & Machinery, 2011, 27(1): 134-135, 142.
- [13] 孙秀秀, 何立超, 杨海燕, 等. 间歇超声辅助加快咸蛋腌制速度工艺优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(22): 204-211.
- SUN X X, HE L C, YANG H Y, et al. Intermittent ultrasound assisted in speeding up the pickling speed of salted eggs[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(22): 204-211.
- [14] 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, 22(S2): 163-166.
- CHEN S T, GAO Z J. Study on the process of salted eggs under pulsed pressure[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(S2): 163-166.
- [15] 王晓拓, 高振江. 脉动压力技术腌制鸡蛋工艺优化[J]. 食品科学, 2010, 31(8): 97-101.
- WANG X T, GAO Z J. Orthogonal array design for optimization of pulse pressure processing of salted eggs[J]. Food Science, 2010, 31(8): 97-101.
- [16] 欧阳玲花, 杜金平, 何家林, 等. 负压快速腌制咸蛋研究[J]. 食品科技, 2015, 40(9): 38-40.
- OUYANG L H, DU J P, HE J L, et al. Research on quickly salted eggs by negative pressure technology[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(9): 38-40.
- [17] 季玲, 刘会平, 杨晓兴, 等. 减压技术快速腌制松花蛋工艺条件的优化[J]. 现代食品科技, 2013, 29(5): 1 029-1 035.
- JI L, LIU H P, YANG X X, et al. Fast preparation of preserved eggs by low-pressure technology[J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(5): 1 029-1 035.
- [18] 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, 26(S2): 394-398.
- WANG X T, GAO Z J, WANG Y W, et al. Influences of preserved preparations on salted eggs under pulsed pressure[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(S2): 394-398.
- [19] 刘蒙佳, 周强, 刘禹. 腌制条件对咸鸭蛋品质的影响及熟化工艺研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(1): 50-53.
- LIU M J, ZHOU Q, LIU Y. Effect of curing conditions on quality of salted duck eggs and research on the maturation process[J]. China Condiment, 2019, 44(1): 50-53.
- [20] 袁诺, 张清, 白洁, 等. 脉动压力技术对卤蛋腌制效率和品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(15): 164-170.
- YUAN N, ZHANG Q, BAI J, et al. Effect of pulsed pressure on pickling efficiency and quality attributes of marinated eggs [J]. Food Science, 2020, 41(15): 164-170.
- [21] SOUZA C J F, GARCIA-ROJAS E E. Effects of salt and protein concentrations on the association and dissociation of ovalbumin-pectin complexes[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 47: 124-129.
- [22] 崔楠, 鲍志杰, 林松毅, 等. 咸蛋黄快速腌制过程中理化性质变化规律[J]. 农业工程学报, 2021, 37(23): 280-287.
- CUI N, BAO Z J, LIN S Y, et al. Changes of physicochemical properties of salted egg yolk during rapid curing development [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(23): 280-287.