

# 超高压处理对鸡全蛋液杀菌效果和品质的影响

张根生, 吕云雄, 遇世友, 王璇, 李德红, 刘俊杞  
(哈尔滨商业大学, 哈尔滨 150076)

**摘要:** **目的** 通过测定菌落总数、理化性质和感官品质, 研究超高压对鸡全蛋液杀菌效果及贮藏期的影响。**方法** 以市售鲜鸡蛋为原料制备全蛋液, 以沙门氏菌和大肠杆菌模拟高染菌情况 ( $>10^6$  CFU/mL), 研究 25 °C 下采用超高压 (压强为 150~400 MPa, 保压时间为 2.5~12.5 min) 对全蛋液微生物 (菌落总数、大肠杆菌菌落总数、沙门氏菌是否检出)、物理特性和感官品质的影响。**结果** 经超高压杀菌后, 蛋白质变性率、白度和粘度上升, 起泡性和感官评分下降; 在贮藏期间, 白度、起泡性和 pH 值不断下降, 粘度先上升后下降。**结论** 在 300 MPa, 7.5 min 条件下超高压杀菌, 鸡全蛋液符合 GB 2749—2015《食品安全国家标准 蛋与蛋制品》微生物限量要求和感官要求, 且对蛋液物理特性影响较小。经此条件杀菌的鸡全蛋液可在 4 °C 下贮藏 20 d。

**关键词:** 鸡全蛋液; 超高压; 杀菌; 贮藏

中图分类号: TB485.3; TS253.4+1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)05-0074-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.05.010

## Effect of Ultra-high Hydrostatic Pressure on the Bactericidal Effect and Quality of Liquid Whole Egg

ZHANG Gen-sheng, LYU Yun-xiong, YU Shi-you, WANG Xuan, LI De-hong, LIU Jun-qi

(Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

**ABSTRACT:** The work aims to study the influences of ultra-high hydrostatic pressure (UHHP) on the bactericidal effect and storage period of the liquid whole egg by measuring the total number of bacterial colonies, physicochemical properties and sensory quality. The liquid whole egg was prepared with the fresh eggs as raw material, and the high-yield bacteria ( $>10^6$  CFU/mL) were simulated by Salmonella and Escherichia coli. The effects of UHHP applied at 25 °C (pressure: 150~400 MPa, dwell time: 2.5~12.5 min) on liquid whole egg microorganisms (total number of bacterial colonies, total number of E. coli colonies, detection of Salmonella), physical properties and sensory quality were studied. After the UHHP sterilization, the protein denaturation rate, whiteness and viscosity increased, and the foaming property and sensory scores decreased. During storage, the whiteness, foaming property and pH constantly decreased, and the viscosity first rose and then decreased. For the UHHP sterilization under the conditions of 300 MPa and 7.5 min, the liquid whole egg meets the microbial limit requirement and sensory requirements of GB 2749—2015 "National Food Safety Standard: Egg and Egg Products", and has little influence on the physical properties of egg liquid. The liquid whole egg sterilized under such conditions can be stored at 4 °C for 20 d.

**KEY WORDS:** liquid whole egg; ultra-high hydrostatic pressure; sterilization; storage

收稿日期: 2019-10-18

基金项目: 哈尔滨商业大学食品工程学院研究生创新基金项目 (SP17CX001)

作者简介: 张根生 (1964—), 男, 硕士, 哈尔滨商业大学教授, 主要研究方向畜产品加工。

鸡蛋含有人体营养所需的所有氨基酸,也是水溶性和脂溶性维生素的来源<sup>[1]</sup>。鸡全蛋液(Liquid Whole Egg, LWE)指鲜鸡蛋去壳后的包含鸡蛋清和鸡蛋黄的液态鸡蛋。因其具有便于运输、储存和加工利用的优点,食品企业更倾向于使用 LWE 生产、加工食品<sup>[2]</sup>。失去蛋壳保护的 LWE 容易被微生物污染,主要微生物包括大肠杆菌属和沙门氏菌属,可导致疾病<sup>[3]</sup>。当前 LWE 加工中,通常使用巴氏杀菌法来杀灭微生物,但这会对蛋白质的功能特性和感官品质产生有害影响<sup>[4]</sup>,因此寻找一种既满足微生物限量要求,又尽可能对 LWE 品质影响较小,并且满足感官要求的杀菌方法成为当下关注的重点。

超高压(Ultra-High Hydrostatic Pressure, UHHP)作为一种新兴技术,通常采用水作为压强传递介质,使用 100~1000 MPa 的高压对密封食品进行加压杀菌<sup>[5-6]</sup>。UHHP 对杀灭大肠杆菌和沙门氏菌等微生物有显著效果<sup>[7-8]</sup>。并且高压不会改变共价键,故而对食品质量的关键成分(如维生素、风味化合物和色素)的破坏性较小<sup>[9]</sup>,感官和营养特性略有改变,可生产出非常接近“新鲜”的产品<sup>[10]</sup>,因此使用 UHHP 对 LWE 进行杀菌处理是一种很好的保鲜手段。然而,强度过高的 UHHP 处理可能导致 LWE 的蛋白质不可逆变性,从而影响物理特性和功能特性<sup>[11]</sup>。在近 10 年的研究中,马先红<sup>[12]</sup>发现 UHHP 可降低 LWE 中微生物约 6 lg(CFU/mL),该研究仅以生残菌数和感官作为评价指标,存在一定的局限性。杨瑞香<sup>[13]</sup>研究发现 UHHP 可降低蛋清液中大肠杆菌约 3.5 lg(CFU/mL),经过 300 MPa, 10 min UHHP 杀菌的蛋清液可在 4 °C 下贮藏 11 d。孙汉巨等<sup>[14]</sup>发现 UHHP 最高可杀灭鲜鸭蛋中 99.99% 的微生物,经 UHHP 杀菌后的鸭蛋液可室温保存 3 周。白洁等<sup>[15]</sup>发现经 400~500 MPa, 10 min UHHP 杀菌的 LWE,在 4 °C 下贮藏 4 周菌落总数仍小于 3 CFU/mL,未对杀菌工艺进行探究。凌欣等<sup>[16]</sup>研究了超高压对 LWE 色泽及微生物的影响,发现超高压处理能提高 LWE 的白度,有效控制微生物的生长,延长保质期。目前,对 UHHP 处理 LWE 品质变化研究较少,也未研究杀菌工艺,因此有必要系统研究 UHHP 对 LWE 的影响,找出可以保证产品微生物安全,又对 LWE 品质影响较小的杀菌条件。

研究探讨 UHHP 压强和保压时间对 LWE 在高染菌情况下(> 10<sup>6</sup> CFU/mL)的微生物杀灭效果、物理特性和感官品质影响,在达到微生物限量要求的基础上,结合物性和感官品质得出了最佳杀菌条件,并且研究经此条件杀菌的 LWE 在贮藏过程中的品质变化。

## 1 实验

### 1.1 材料与试剂

主要材料和试剂:鲜鸡蛋,购于哈尔滨市北京华联超市;大肠杆菌(*Enterobacter ludwigii*),由哈尔滨商业大学食品工程学院提供;沙门氏菌(*Salmonella Enteritidis* 24119),购于中国工业微生物菌种保藏管理中心;结晶紫中性红胆盐琼脂、煌绿乳糖胆盐肉汤和亚硫酸铋琼脂,购于青岛海博生物技术有限公司。

### 1.2 仪器与设备

主要仪器和设备:HCB-1800H 超净工作台,深圳科力易翔仪器设备有限公司;DHP-9082 电热恒温培养箱,上海百典设备有限公司;HHP-L2-600-L 超高压食品处理机,上海昔锐生物科技有限公司;DV2T 粘度计,美国博勒飞公司;JJ-1 精密增力电动搅拌机,天津市泰斯特仪器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 菌悬液的制备

微生物在静止期比在指数期更具耐受性,对研究灭菌工艺和工艺验证具有较好的参考价值<sup>[17]</sup>。故取大肠杆菌和沙门氏菌置于三角瓶中分别 37 °C 培养 20 h 和 16 h 以达到静止期,然后于 4 °C 冰箱中冷藏待用。

#### 1.3.2 LWE 的制备

LWE 的制备流程:鲜鸡蛋→挑选→乙醇(75%)清洗消毒→紫外照射杀菌(30 min)→去壳取蛋液→挑去系带→搅拌均匀(电动搅拌机 1000 r/min)→装袋(将 LWE 分装至无菌耐压包装袋,100 mL/袋)。

#### 1.3.3 染菌

在全蛋液实际生产加工中,不可避免会被少量微生物侵染,GB 2749—2015《食品安全国家标准 蛋与蛋制品》<sup>[18]</sup>规定全蛋液菌落总数最高不得超过 10<sup>6</sup> CFU/mL,为增强杀菌条件的适用性,该研究以菌落总数 10<sup>6</sup> CFU/mL 为初始菌数,模拟高染菌情况。大肠杆菌和沙门氏菌菌悬液中的细菌已处于静止期,菌落总数均约为 10<sup>8</sup> CFU/mL。分别吸取 0.5 mL 大肠杆菌和沙门氏菌的菌悬液,加入到 100 mL 的 LWE 中,搅拌均匀使 LWE 中菌落总数超过 10<sup>6</sup> CFU/mL<sup>[19]</sup>。

#### 1.3.4 菌落总数和致病菌限量的测定

菌落总数的测定参照 GB/T 4789.2—2016《食品卫生微生物学检验 菌落总数测定》<sup>[20]</sup>;沙门氏菌的测定参照 GB 4789.4—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 沙门氏菌检验》<sup>[21]</sup>;大肠杆菌的测定参照 GB 4789.3—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》<sup>[22]</sup>。

### 1.3.5 LWE 物性测定

#### 1.3.5.1 蛋白质变性率的测定

分别吸取 0.1 mL 的未经 UHHP 处理的新鲜蛋液和经过 UHHP 处理的 LWE 样品, 注入 100 mL 蒸馏水中, 将其稀释 1000 倍后, 用紫外分光光度计测定其在波长为 595 nm 时的吸光度, 计算 LWE 的蛋白质变性率<sup>[14]</sup>。

$$\text{蛋白质变性率} = \frac{A_0 - A_n}{A_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $A_0$  为未经 UHHP 处理的 LWE 样品的吸光度;  $A_n$  为经过 UHHP 处理的 LWE 样品的吸光度。

#### 1.3.5.2 白度的测定

使用分光测色仪进行测定, 分别记录  $L^*$  值,  $a^*$  值,  $b^*$  值, 按式 (2) 计算白度  $W$  值。

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

#### 1.3.5.3 起泡性的测定

参照 Chen 等<sup>[23]</sup>的方法进行适当修改, 配置 100 mL 体积分数为 5% 的混合液, 置于 250 mL 烧杯中, 用搅拌器以 2100 r/min 的转速搅打 1 min, 记录搅打后泡沫体积, 计算起泡性。

$$\text{起泡性} = \frac{V}{V_0} \times 100\%$$

式中:  $V_0$  为搅打后泡沫体积 (mL);  $V$  为混合液体积 (mL)。

#### 1.3.5.4 粘度的测定

使用布氏粘度仪, 选取 2 号转子, 在 25 °C 下以 200 r/min 测定全蛋液样品的粘度值。

#### 1.3.5.5 LWE 感官品质测定

检查方法及指标参照 GB 2749—2015《食品安全

国家标准 蛋与蛋制品》<sup>[18]</sup>, 作出适当修改, 平均评分四舍五入取整, 评分标准见表 1。

## 2 结果与分析

### 2.1 UHHP 对 LWE 微生物安全性影响

由表 2 可知, 在 250 MPa, 12.5 min; 300 MPa, 5.0~12.5 min; 350 MPa 和 400 MPa, 2.5~12.5 min 时未检出沙门氏菌, 在这些条件下符合 GB 29921—2013《食品安全国家标准 食品中致病菌限量》<sup>[24]</sup>对液蛋制品沙门氏菌不得检出的要求。Tóth 等<sup>[25]</sup>指出, UHHP 处理显著 ( $P < 0.05$ ) 减少了沙门氏菌数, 在 400 MPa 或更高压强下的处理可将沙门氏菌的活菌计数降低到不可检测的水平。

由表 3 可知, 在 300 MPa, 7.5~12.5 min; 350 MPa, 7.5~12.5 min; 400 MPa, 2.5~12.5 min 时, 大肠杆菌数低于 10 CFU/mL, 表明在这些条件下符合 GB 2749—2015《食品安全国家标准 蛋与蛋制品》<sup>[22]</sup>对 LWE 大肠杆菌菌落总数不得超过 10 CFU/mL 的要求。高压会对细胞造成多种损伤<sup>[17]</sup>, 当这些损伤积累超过细胞的修复能力时, 就会导致细胞死亡。若细胞受损较轻, 而且某些底物或基质中存在可用因素, 如食物(或生长培养基)中的维生素和氨基酸可使 UHHP 后的亚致死损伤细胞得到较好的恢复。可能是因为这些原因, 在较低压强下和较短时间内, 沙门氏菌和大肠杆菌仍然大量存在, 而在高压条件下 (300 MPa) 则减少, 甚至被完全杀灭。故选取符合微生物限量要求的杀菌条件进行后续的研究。

表 1 LWE 感官评价标准

Tab.1 Sensory evaluation criteria for LWE

评价结果	色泽 (25)	气味 (25)	气味 (25)	滋味 (25)
认可 (> 80)	透亮金黄色, 色泽均匀 (21~25)	有蛋腥味, 无其他异味 (21~25)	流动性接近鲜蛋 (21~25)	正常蛋腥味和滋味 (21~25)
可接受 (60~80)	黄色, 色泽均匀 (16~20)	蛋腥味较淡, 有轻微熟化 味道 (16~20)	流动性稍差, 有轻微 粘稠感 (16~20)	滋味和正常蛋液不同, 有轻微粘稠感 (16~20)
不可接受 (< 60)	深暗黄色, 色泽 不均匀 (< 15)	熟化味较重 ( < 15)	流动性差, 有明显粘稠感 或颗粒感 (< 15)	有较重粘稠感 (< 15)

表 2 压强和保压时间对 LWE 中沙门氏菌影响

Tab.2 Effect of pressure and dwell time on salmonella in LWE

保压时间/min	压强/MPa					
	150	200	250	300	350	400
2.5	+	+	+	+	-	-
5.0	+	+	+	-	-	-
7.5	+	+	+	-	-	-
10.0	+	+	+	-	-	-
12.5	+	+	-	-	-	-

注: “+”表示阳性; “-”表示阴性

表 3 压强大小和保压时间对 LWE 中大肠杆菌影响  
Tab.3 Effect of pressure and dwell time on *Escherichia coli* in LWE

CFU/mL

保压时间/min	压强/MPa					
	150	200	250	300	350	400
2.5	$4.8 \times 10^5$	$3.2 \times 10^5$	$8.0 \times 10^4$	$2.2 \times 10^4$	$9.6 \times 10^2$	-
5.0	$2.5 \times 10^5$	$1.1 \times 10^5$	$6.0 \times 10^3$	$2.0 \times 10^2$	$9.0 \times 10$	-
7.5	$8.0 \times 10^4$	$6.6 \times 10^4$	$5.0 \times 10^3$	2	-	-
10.0	$6.3 \times 10^4$	$3.9 \times 10^4$	$3.0 \times 10^3$	-	-	-
12.5	$4.5 \times 10^4$	$1.7 \times 10^4$	$8.0 \times 10^2$	-	-	-

注：“-”为阴性

由图 1 可知，压强和保压时间增加，残菌数（菌落总数）随之降低。在 300~400 MPa，2.5~12.5 min 条件下，最大可降低约 3.05 lg(CFU/mL)，残菌数符合 GB 2749—2015《食品安全国家标准 蛋与蛋制品》<sup>[24]</sup>对于 LWE 微生物限量可接受水平不得超过  $5 \times 10^4$  CFU/mL 的规定。Tóth 等<sup>[25]</sup>在 200~300 MPa 压强下处理 LWE，也得了出近似的结论。最高可将菌落总数降低至 3.74 lg(CFU/mL)。在 300 MPa、10 min 处理后，沙门氏菌和大肠杆菌未检出，然而仍有残菌数存活，这可能是存在其他耐压微生物。

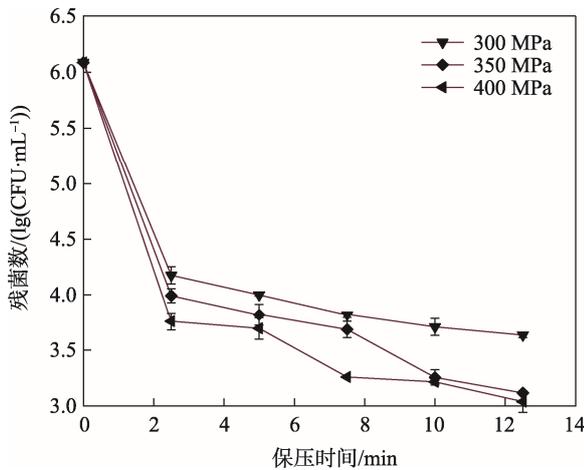


图 1 压强和保压时间对 LWE 菌落总数影响  
Fig.1 Effect of pressure and dwell time on the total number of bacterial colonies of LWE

## 2.2 UHHP 对 LWE 物理特性影响

### 2.2.1 UHHP 对蛋白质变性率影响

压强和温度的变化会诱导蛋白质变性<sup>[10]</sup>。蛋白质变性会影响 LWE 的粘度和滋气味，影响消费者的购买欲望。如图 2 所示，随着压强和保压时间的增加，蛋白质变性率也一直增加。蛋白质在高压作用下会变性，在超过 300 MPa 的压强下是不可逆的<sup>[25]</sup>，所以在 350 MPa 和 400 MPa 压强下，蛋白质变性率均超过了 30%。但随着保压时间的延长，蛋白质变性率上升较小，可能是由于高压在瞬间破坏蛋白质二级、三级结构的离子键和疏水键<sup>[26]</sup>，后续即使时间不断增

加，蛋白质变性率仍无明显变化。

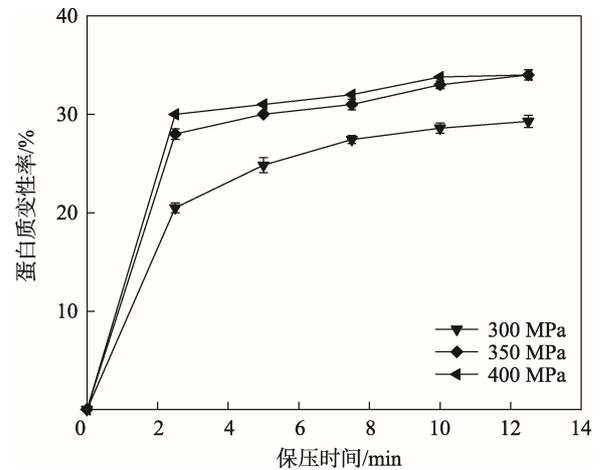


图 2 UHHP 对 LWE 蛋白质变性率的影响  
Fig.2 Effect of UHHP on protein denaturation rate of LWE

### 2.2.2 UHHP 对 LWE 白度影响

白度是反映 LWE 色泽品质的重要指标。如图 3 所示，压强和保压时间的增加也会引起 LWE 白度的增加。在保压时间在 5 min 之前白度快速增加，可能是因为高压下一方面蛋白质变性，对光的吸收和反射改变；另一方面蛋白质受压聚集，粒度增大，降低了透光性，使亮度增加，最终导致白度上升。Tóth 等<sup>[25]</sup>的研究也认为亮度上升是由蛋白质变性或凝聚造成的。此外，压强处理后水分子的重组，改变凝胶网络，也会使 LWE 外观更光泽和透明<sup>[27]</sup>。可能也正是水分子受压重组，导致了蛋白质变性率（测定时加 1000 倍蒸馏水稀释测定）变化在 2.5, 5 min 之后趋于平缓，而白度变化在 7.5 min 后才趋于平缓。

### 2.2.3 UHHP 对起泡性影响

泡沫是由大量的气泡高度填充而成的，这些气泡形成一个相互连接的结构，表现出弹性、塑性或粘性<sup>[28]</sup>。起泡性取决于其特殊结构和蛋白质的相互作用<sup>[29]</sup>。由图 4 可知，全蛋液起泡性随着压强和时间的增加而不断降低，尤其在 400 MPa 时下降明显，最低降至 20.05%。这与 Plancken 等<sup>[30]</sup>的研究结果不同，

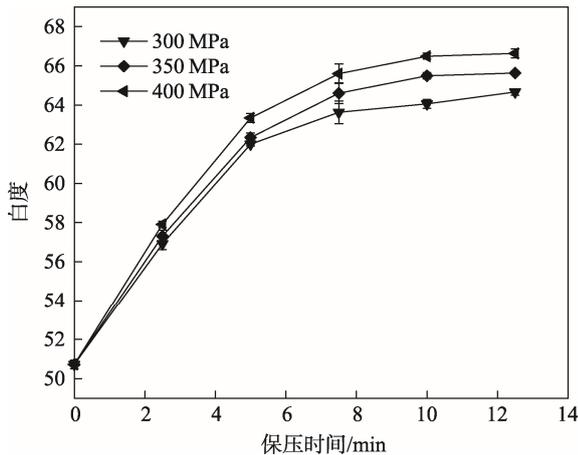


图3 UHHP对LWE白度的影响  
Fig.3 Effect of UHHP on the LWE whiteness

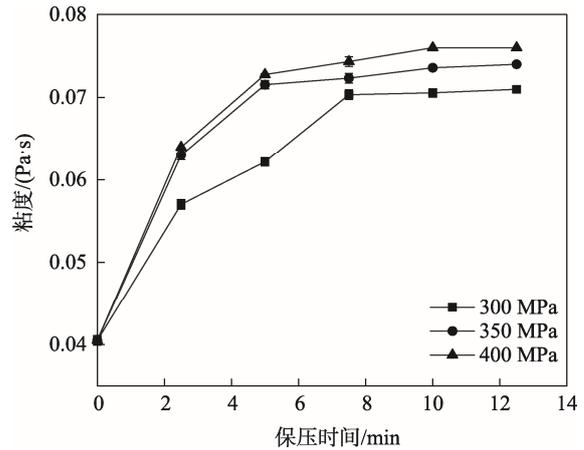


图5 UHHP对LWE粘度的影响  
Fig.5 Effect of UHHP on the LWE viscosity

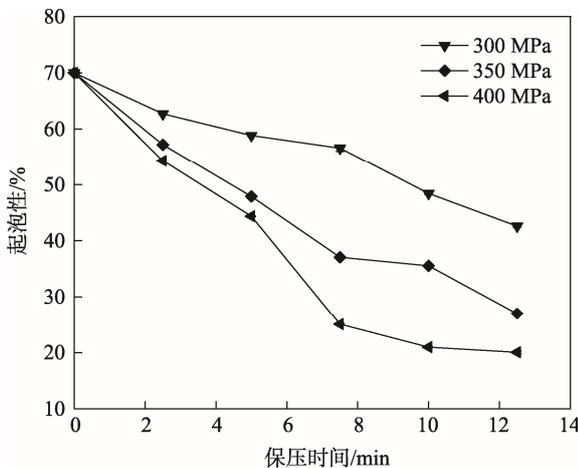


图4 UHHP对LWE起泡性的影响  
Fig.4 Effect of UHHP on foaming property of LWE

该研究称,超高压使得疏水基团和巯基(SH)基团暴露,从而增强了起泡性。这种差异可能是由于,一方面在蛋白质变性凝结后,会降低气泡填充效果,影响气泡薄膜、节点和边界的组成,另一方面该研究使用的UHHP设备为瞬间降压,发生空化现象<sup>[31]</sup>后,蛋白质凝结恢复较差,导致基团暴露较少,所以产生了相反结果。

### 2.2.4 UHHP对粘度影响

由图5可知,LWE的粘度随着压强和保压时间的上升而升高,UHHP使蛋白质变性和聚集,导致LWE产生高粘度,且蛋白质变性程度越高,LWE的稠度越高<sup>[2]</sup>。在同一保压时间下,压强越高,粘度增加得越多。对于同一压强下,随保压时间的增加,先迅速增加,在达到0.07 Pa·s左右后,增加趋势变得平缓。压强越大,达到平缓所需时间越少。可能是因为高压强迫使蛋白质凝结,增加LWE表面张力,导致粘度增大,但凝结量到一定程度后受保压时间影响较小,所以粘度趋于平缓。

## 2.3 UHHP对LWE感官品质影响

对消费者来说,食品最重要的属性是它的感官特征(如色泽、气味、组织状态和滋味)。这些因素决定了一个人对特定产品的偏好,类似的产品之间的细微差别可能对可接受性产生重大影响<sup>[27]</sup>。由图6可知,经UHHP处理后,感官评分先迅速下降,在保压2.5~7.5 min感官评分缓慢下降,这可能是由于蛋白质凝结,使得流动性降低。在10 min时再次骤降,可能是由于压强过高时间过长,使得LWE颜色较暗,有轻微熟化味。

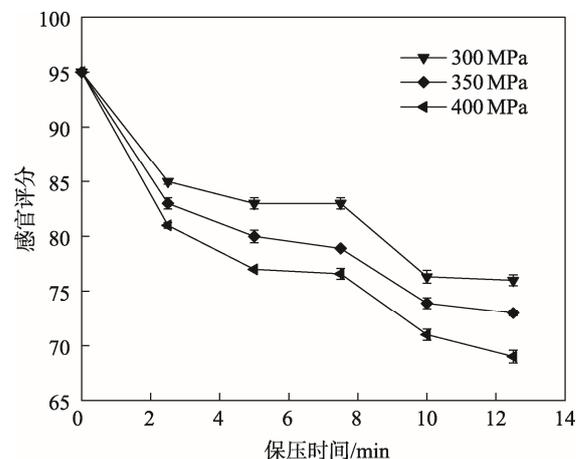


图6 UHHP对LWE感官评价的影响  
Fig.6 Effects of UHHP on sensory evaluation of LWE

为达到微生物限量要求,结合LWE物性和感官评价。同时尽量降低LWE物性,满足感官要求,故选取300 MPa,7.5 min的条件进行贮藏期研究。

## 2.4 贮藏时间对LWE的影响

### 2.4.1 贮藏时间对LWE微生物的影响

由表4可知,LWE经300 MPa,7.5 min UHHP杀菌后,在4℃下贮藏30 d未检出沙门氏菌和大肠

杆菌，在 GB 2749—2015《食品安全国家标准 蛋与蛋制品》<sup>[22]</sup>限量要求内。

表 4 致病菌的检测  
Tab.4 Detection of pathogenic bacteria CFU/mL

贮藏时间/d	沙门氏菌)	大肠杆菌
0	-	-
5	-	-
10	-	-
15	-	-
20	-	-
25	-	-
30	-	-
35	-	53

注：“-”表示阴性

由图 7 可知，随着贮藏时间的增加，LWE 中的菌落总数逐渐增加，在第 5 天时，发现菌落总数达到 3.60 lg(CFU/mL)，这可能是由于一方面未致死菌（如可耐受 400 MPa 的无毒李斯特菌<sup>[31]</sup>）和亚致死菌<sup>[32]</sup>在 LWE 获得足够营养、足够恢复时间后，生长繁殖；另一方面，高压损伤、破坏了 LWE 中溶菌酶<sup>[33]</sup>，降低了 LWE 自身灭菌能力。在贮藏 25 d 时，在抽检的 5 个样品中，有 4 个样品超过  $5 \times 10^4$  CFU/mL，超出 GB 2749—2015《食品安全国家标准 蛋与蛋制品》<sup>[22]</sup>允许范围。

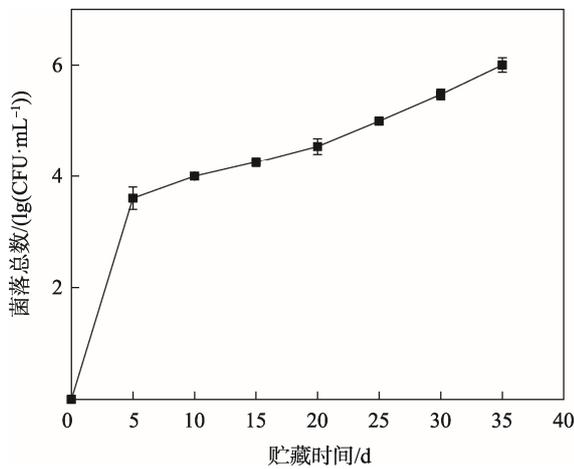


图 7 贮藏时间对 LWE 菌落总数的影响

Fig.7 Effect of storage time on the total number of bacterial colonies of LWE

综合表 4 和图 7，经 300 MPa，7.5 min UHP 杀菌的 LWE 可在 4 °C 下贮藏 20 d，符合国家微生物限量标准。

#### 2.4.2 贮藏时间对 LWE 物化性质影响

由图 8 可知，随着贮藏时间的增加，白度不断下降。在贮藏 35 d 内白度出现 2 次骤降，10 d 时骤降可能是由于细菌生长繁殖，引起蛋白质和酚类物质分

解，产生褐变<sup>[14]</sup>。30 d 骤降可能因为贮藏时间较长，已受损的蛋白质开始出现溶解变薄，在粒度较小的情况下，透光性不可避免地增加，进而降低亮度，最终使白度降低。在贮藏 20 d 时，LWE 的白度（57.00）与普通鲜蛋（50.72）接近，有较好的颜色和光泽。

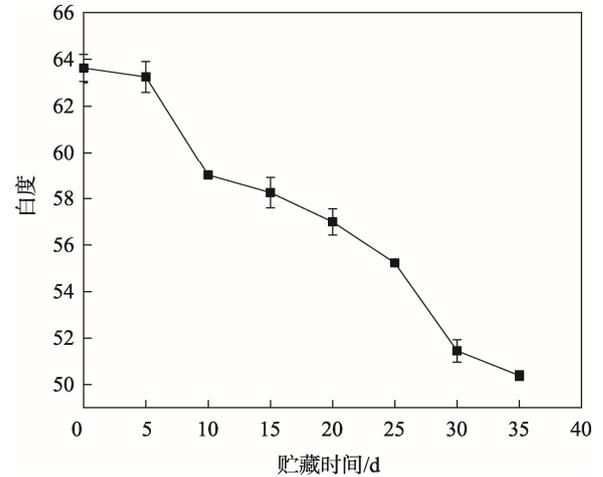


图 8 贮藏时间对 LWE 白度影响

Fig.8 Effect of storage time on LWE whiteness

起泡性一般与疏水基团、游离巯基、结合态巯基比等离子基团相关。由图 9 可知，起泡性随贮藏时间增加而不断降低，这一现象可能是由于负责维持蛋白质二级和三级结构的已受损离子键和疏水基团不断被微生物分解破坏，离子键的断裂、一些氢键以及疏水基团与静电相互作用而降低了起泡性，因此导致在贮藏 35 d 时起泡性急剧降低。在贮藏 20 d 时，虽然起泡性降为 46.80%，但仍具有一定发泡能力，在接受范围内。

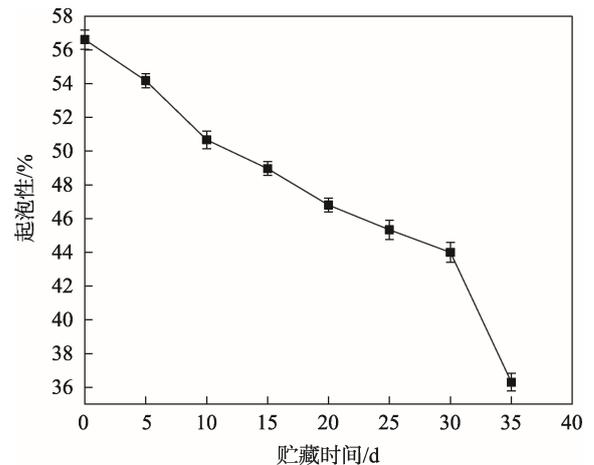


图 9 贮藏时间对 LWE 起泡性影响

Fig.9 Effect of storage time on the foaming property of LWE

由图 10 可知，随着时间的增加，粘度在 5~20 d 内增加，在 20 d 之后迅速下降。Rakonjac 等<sup>[34]</sup>在对鸡蛋贮藏期研究时也发现约在贮藏 20 d 内粘度会有

所增加。这可能是因为高压处理影响非共价键,导致蛋白质凝结聚集,在长时且低温的条件下静置,加强了凝结聚集效果,导致了粘度的上升。超过 20 d 后由于微生物的生长繁殖解离蛋白质,破坏了这种凝结聚集,所以出现了粘度下降的现象。在贮藏 20 d 时,降至 0.0945 Pa·s。

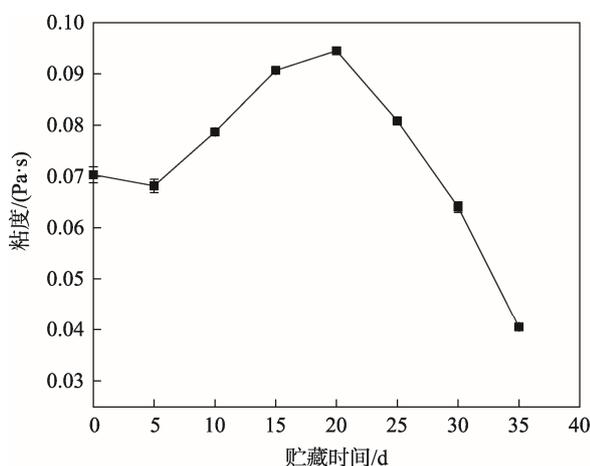


图 10 贮藏时间对 LWE 粘度影响

Fig.10 Effect of storage time on the LWE viscosity

由图 11 可知,在贮藏期间 pH 值随时间延长先增加后降低,产生这种现象的原因可能是由于蛋白质在高压下部分变性,使其部分结构变为絮状<sup>[35]</sup>,更有利于吸附周围环境中的  $H^+$ ,使得游离  $OH^-$  增加,整个体系中 pH 值上升。然而随着时间增加,微生物生长繁殖产酸降低了 pH 值,在 20 d 时 pH 值降至 7.55,与鲜蛋的 pH 值 (7.51) 较为接近。

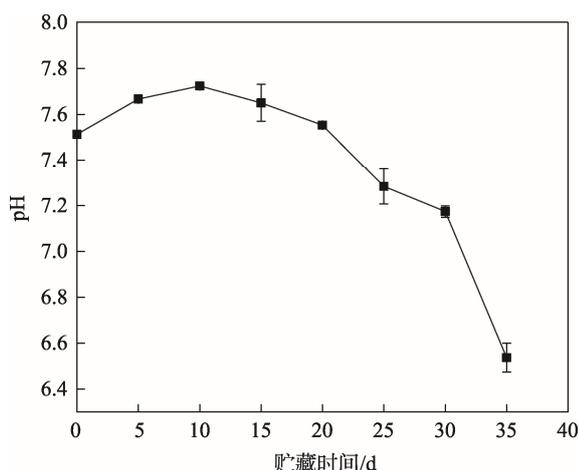


图 11 贮藏时间对 LWE pH 值的影响

Fig.11 Effect of storage time on pH value of LWE

### 3 结语

实验研究发现 LWE 经 300 MPa 和 350 MPa、超过 7.5 min,400 MPa、超过 2.5 min 的 UHP 杀菌后,

沙门氏菌未检出,大肠杆菌数低于 10 CFU/mL,残留数低于  $5 \times 10^4$  CFU/mL,符合国家标准。随着压强和保压时间的增加,LWE 的蛋白质变性率、白度和粘性增加,起泡性和感官评分下降。得到最佳灭菌条件为 300 MPa,7.5 min,该条件下 LWE 菌落总数约为  $2.9 \times 10^4$  CFU/mL,沙门氏菌未检出,大肠杆菌约为 2 CFU/mL,符合国家微生物限量标准,对 LWE 物性影响较小,并且有较好感官品质。在此条件杀菌,LWE 可在 4 °C 下贮藏 20 d 白度和起泡性随时间增加而降低,白度与鲜蛋的较为接近,仍具一定发泡能力;粘度和 pH 值随时间增加而先上升后下降,pH 值与鲜蛋较为接近。

### 参考文献:

- [1] SFACIOTTE R A P, BARBOSA M J B, WOSIACKI S R, et al. Efeito do Período de Armazenamento, Local e Tipo de Tratamento Sobre a Qualidade de Ovos Brancos para Consumo Humano[J]. PUBVET, 2014, 8: 2292—2450.
- [2] UYSAL R S, BOYACL I H, SOYKUT E A, et al. Effects of Heat Treatment Parameters on Liquid Whole Egg Proteins[J]. Food Chemistry, 2017, 216: 201—208.
- [3] RAKONJAC S, BOGOSAVLJEVIĆ-BOŠKOVIĆ S, PAVLOVSKI Z, et al. Laying Hen Rearing Systems: A Review of Major Production Results and Egg Quality Traits[J]. World's Poultry Science Journal, 2014, 70(1): 93—104.
- [4] TÓTH A, NÉMETH C, AYARI E, et al. Effects of Minimal Processing and Vitamin C Enrichment on Microbiological Safety and Viscosity of Liquid Egg White[J]. Journal of Engineering and Processing Management, 2019, 11(1): 46—50.
- [5] 巩雪, 常江, 孙智慧, 等. 扇贝超高压保鲜包装实验[J]. 包装工程, 2017, 38(7): 49—52.  
GONG Xue, CHANG Jiang, SUN Zhi-hui, et al. Experimental Study on the High-pressure Fresh-keeping Packaging of Scallop[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(7): 49—52.
- [6] 巩雪, 常江, 李丹婷. 超高压保鲜包装技术的研究进展[J]. 包装工程, 2014, 35(3): 97—101.  
GONG Xue, CHANG Jiang, LI Dan-ting. Development of Ultra High Pressure Fresh-keeping[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(3): 97—101.
- [7] TOLEDO D J, PULIDO R P, GRANDE M J, et al. Survival and High-Hydrostatic Pressure Inactivation of Foodborne Pathogens in Salmorejo, a Traditional Ready-to-Eat Food[J]. Journal of Food Science, 2015, 80(11): 2517—2521.
- [8] SANZ-PUIG M, VELÁZQUEZ-MOREIRA A, TORRES C, et al. Resistance Changes in Salmonella

- Enterica Serovar Typhimurium Treated by High Hydrostatic Pressure and Pulsed Electric Fields and Assessment of Virulence Changes by Using *Caenorhabditis Elegans* as A Test Organism[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2019, 51: 51—56.
- [9] RENDUELES E, OMER M K, ALVSEIKE O, et al. Microbiological Food Safety Assessment of High Hydrostatic Pressure Processing: A Review[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2011, 44(5): 1251—1260.
- [10] OEY I, PLANCKEN I V D, LOEY A V, et al. Does High Pressure Processing Influence Nutritional Aspects of Plant Based Food Systems[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2008, 19(6): 300—308.
- [11] NADERI N, HOUSE J D, POULIOT Y, et al. Effects of High Hydrostatic Pressure Processing on Hen Egg Compounds and Egg Products[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2017, 16(3): 707—720.
- [12] 马先红. 液态鸡蛋超高压杀菌工艺的研究[J]. *吉林化工学院学报*, 2010, 27(4): 32—35.  
MA Xian-hong. Study on the Ultra High Pressure Sterilization Technology of Liquid Egg[J]. *Journal of Jilin Institute of Chemical Technology*, 2010, 27(4): 32—35.
- [13] 杨瑞香. 鸡蛋蛋白液超高压冷杀菌效果研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2010: 1—40.  
YANG Rui-xiang. Study on Effects of Ultra-high Hydrostatic Sterilization on Liquid Egg White[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2010: 1—40.
- [14] 孙汉巨, 丁琦, 张冰, 等. 超高压对鸭蛋蛋液杀菌及物性影响[J]. *食品科学*, 2011, 32(3): 23—26.  
SUN Han-ju, DING Qi, ZHANG Bing, et al. Effect of Ultra-high Pressure on Sterilization and Physical Properties of Whole Duck Egg Liquid[J]. *Food Science*, 2011, 32(3): 23—26.
- [15] 白洁, 彭义交, 李玉美, 等. 超高压加工蛋液贮藏过程中微生物及品质变化研究[J]. *食品科技*, 2014, 39(11): 34—38.  
BAI Jie, PENG Yi-jiao, LI Yu-mei, et al. Effects of Ultra High Pressure Processing on Microorganisms and Quality Attributes of Liquid Egg During Storage[J]. *Food Science and Technology*, 2014, 39(11): 34—38.
- [16] 凌欣, 谢晖英, 方晗熙, 等. 超高压对液态蛋色泽及微生物的影响[J]. *农产品加工(上)*, 2018(5): 10—12.  
LING Xin, XIE Hui-ying, FANG Han-yi, et al. High Pressure Processing on the Colour and Microbe of Liquid Egg[J]. *Farm Products Processing*, 2018(5): 10—12.
- [17] HUANG H W, LUNG H M, YANG B B, et al. Responses of Microorganisms to High Hydrostatic Pressure Processing[J]. *Food Control*, 2014, 40: 250—259.
- [18] GB 2749—2015, 食品安全国家标准-蛋与蛋制品[S]. GB 2749—2015, National Food Safety Standard-Egg and Egg Products[S].
- [19] 张铭东, 张根生, 司森菲, 等. 盐和糖对巴氏杀菌蛋清液功能性质的影响[J]. *食品与机械*, 2014, 30(6): 7—9.  
ZHANG Ming-dong, ZHANG Gen-sheng, SI Miao-fei, et al. Effect of Salt and Sugar on Functional Properties of Pasteurized Egg White Liquid[J]. *Food & Machinery*, 2014, 30(6): 7—9.
- [20] GB/T 4789.2—2016, 食品卫生微生物学检验 菌落总数测定[S].  
GB/T 4789.2—2016, Microbiological Examination of Food Hygiene Determination of the Total Number of Colonies[S].
- [21] GB 4789.4—2016, 食品卫生微生物学检验 沙门氏菌检验[S].  
GB 4789.4—2016, Microbiological Examination of Food Hygiene Salmonella Examination[S].
- [22] GB 4789.3—2016, 食品卫生微生物学检验 大肠菌群计数[S].  
GB 4789.3—2016, Microbiological Examination of Food Hygiene Coliform Count[S].
- [23] CHEN Y, SHENG L, GOUDA M, et al. Impact of Ultrasound Treatment on the Foaming and Physicochemical Properties of Egg White During Cold Storage[J]. *LWT*, 2019, 113: 1—8.
- [24] GB 29921—2013, 食品安全国家标准-食品中致病菌限量[S].  
GB 29921—2013, National food Safety Standard-limit of Pathogenic Bacteria In Food[S].
- [25] TÓTH A, NÉMETH C, PALOTÁS P, et al. HHP Treatment of Liquid Egg at 200-350 MPa[C]// *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2017, 950(4): 1—6.
- [26] LI J, LI X, WANG C, et al. Characteristics of Gelling and Water Holding Properties of Hen Egg White/Yolk Gel with NaCl Addition[J]. *Food hydrocolloids*, 2018, 77: 887—893.
- [27] SINGH A, RAMASWAMY H. Effect of High Pressure Processing on Color and Textural Properties of Eggs[J]. *Journal of Food Research*, 2013, 2(4): 11—24.
- [28] WOUTERS A G B, ROMBOUTS I, FIERENS E, et al. Foaming and Air-water Interfacial Characteristics of Solutions Containing both Gluten Hydrolysate and Egg White Protein[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 77: 176—186.
- [29] LI X, LI J, CHANG C, et al. Foaming Characterization of Fresh Egg White Proteins as A Function of Different Proportions of Egg Yolk Fractions[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 90: 118—125.
- [30] PLANCKEN I V D, LOEY A V, HENDRICKX M E. Foaming Properties of Egg White Proteins Affected by

- Heat or High Pressure Treatment[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 78(4): 1410—1426.
- [31] BRUSCHI C, KOMORA N, CASTRO S M, et al. High Hydrostatic Pressure Effects on *Listeria Monocytogenes* and *L. innocua*: Evidence for Variability in Inactivation Behaviour and in Resistance to Pediocin bacHA-6111-2[J]. *Food Microbiology*, 2017, 64: 226—231.
- [32] KIMURA K, MORIMATSU K, INAOKA T, et al. Injury and Recovery of *Escherichia Coli* ATCC25922 Cells Treated by High Hydrostatic Pressure at 400—600 MPa[J]. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2017, 123(6): 698—706.
- [33] SHENG L, WANG J, HUANG M, et al. The Changes of Secondary Structures and Properties of Lysozyme Along with the Egg Storage[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016, 92: 600—606.
- [34] RAKONJAC S, BOGOSAVLJEVIĆ-BOŠKOVIĆ S, PAVLOVSKI Z, et al. Effect of Egg Storage Duration on the Rheology of Liquid Egg Products[J]. *Journal of Food Engineering*, 2015, 156: 45—54.
- [35] YAMAMOTO K. Food Processing by High Hydrostatic Pressure[J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2017, 81(4): 672—679.