

# 不同贮藏条件下鸡蛋清中主要蛋白质特性的变化

刘美玉<sup>1,2</sup>, 任发政<sup>2</sup>, 连昭慧<sup>3</sup>, 郭慧媛<sup>2\*</sup>

(1. 河北工程大学农学院, 邯郸 056021; 2. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083;  
3. 江西科技师范大学, 南昌 330038)

**摘要:** **目的** 探讨贮藏条件对鸡蛋品质的影响及品质变化机制。 **方法** 研究 25 °C 室温贮藏、4 °C 冷藏及 50%CO<sub>2</sub>+9%O<sub>2</sub>+41%N<sub>2</sub> 三元气体包装室温贮藏条件下, 鸡蛋清卵白蛋白、卵黏蛋白、溶菌酶的品质变化。 **结果** 实验结果表明: 在 35 d 贮藏期间, 室温组蛋清 S-卵白蛋白含量从初始值 14.867% 迅速增至 94.345%; 卵黏蛋白含量从 2.931 mg/g 降至 0.341 mg/g; 溶菌酶含量从 1.488 mg/mL 增加到 4.851 mg/mL, 溶菌酶活力从 30166.7 U/mL 降低到 15933.3 U/mL。冷藏组和气调组均能有效降低卵白蛋白 N-构型向 S-构型转化的速度, 降低 S-卵白蛋白含量 ( $P < 0.01$ ); 抑制卵黏蛋白分解, 保持卵黏蛋白含量 ( $P < 0.01$ ), 阻止溶菌酶变性和卵黏蛋白-溶菌酶复合体解离, 保持溶菌酶含量 ( $P < 0.01$ ), 并维持溶菌酶活力 ( $P < 0.01$ ), 三者综合作用可以减缓蛋清稀化的进程。 **结论** 4 °C 冷藏和气调包装室温贮藏均能保持蛋清蛋白质的特性。

**关键词:** 贮藏条件; 鸡蛋清; 卵白蛋白; 卵黏蛋白; 溶菌酶

## Characteristic change of main proteins in egg-white at different storage conditions

LIU Mei-Yu<sup>1,2</sup>, REN Fa-Zheng<sup>2</sup>, LIAN Zhao-Hui<sup>3</sup>, Guo Hui-Yuan<sup>2\*</sup>

(1. College of Agriculture, Hebei University of Engineering, Handan 056021, China; 2. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 3. Jiangxi Science & Technology Normal University, Nanchang 330038, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the influence of storage conditions on egg quality and get the mechanism of quality change. **Methods** Properties of egg-white ovalbumin, ovomucin and lysozyme were analyzed during storage at 25 °C, 4 °C and modified atmosphere packaging (MAP) with gas concentration of 50% CO<sub>2</sub>+9% O<sub>2</sub>+41% N<sub>2</sub>. **Results** It showed that at 25 °C, the content of S-ovalbumin and lysozyme increased from 14.867% to 94.345%, and 1.488 to 4.851 mg/mL, respectively, while ovomucin content and lysozyme activity reduced from 2.931 to 0.341 mg/g, and 30166.7 to 15933.3 U/mL, respectively. At 4 °C and 25 °C MAP, the conversion rate of N-ovalbumin to S-ovalbumin was significantly slowed ( $P < 0.01$ ), the decomposition of ovomucin was inhibited ( $P < 0.01$ ) and the denaturation of lysozyme and separation of ovomucin-lysozyme complex were all prevented ( $P < 0.01$ ). Moreover, lysozyme activity was well maintained ( $P < 0.01$ ), the desaturation of egg white was alleviated by synthetic action of above. **Conclusion** The storage conditions of 4 °C and 25 °C MAP (50% CO<sub>2</sub>+9% O<sub>2</sub>+41% N<sub>2</sub>) can maintain a good quality of egg white.

**KEY WORDS:** storage conditions; egg-white; ovalbumin; ovomucin; lysozyme

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD28B08)、河北省现代农业科技奖励性后补助项目(2014-12)

**Fund:** Supported by the National Science & Technology Pillar Program during the 12th Five-year Plan Period (2012BAD28B08) and Hebei Province Modern Agricultural Science and Technology Award Grants Program (2014-12)

\*通讯作者: 郭慧媛, 博士, 副教授, 主要研究方向为畜产品加工。E-mail: guohuiyuan99@gmail.com

\*Corresponding author: GUO Hui-Yuan, Ph.D, Associate Professor, College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, No.17, Tsinghua East Road, Haidian District, Beijing 100083, China. E-mail: guohuiyuan99@gmail.com

## 1 引言

在室温贮藏条件下, 鸡蛋品质会发生一系列理化变化, 如哈夫单位(HU)降低、pH 值升高、热凝固性降低和易被细菌侵染等<sup>[1]</sup>, 其中蛋清变稀最为直观, 成为鸡蛋腐败变质的标志<sup>[2]</sup>。蛋清是一种以蛋白质为分散相、水为分散质的胶体溶液, 蛋白质约占 11%~13%<sup>[3]</sup>, 蛋清稀化对蛋白质存在状态有显著影响, 变化最明显的是卵白蛋白、卵黏蛋白和溶菌酶<sup>[4]</sup>。采用合适的贮藏保鲜方法可保持鸡蛋 HU、减缓蛋清稀化进程<sup>[5]</sup>。鸡蛋保鲜的方法有冷藏法、气调法、涂膜法、液浸法等, 其中冷藏法可操作性强, 被广泛采用; 气调法符合“天然无添加”的消费观念<sup>[6]</sup>, 已被人们接受。国内外研究鸡蛋贮藏保鲜方法时较多关注 HU、蛋黄指数等新鲜度指标变化, 而较少关注鸡蛋蛋白质变化。本文以室温贮藏为对照, 研究冷藏和气调包装室温贮藏过程中蛋清卵白蛋白、卵黏蛋白、溶菌酶的变化, 从鸡蛋保鲜角度解释蛋清变稀的机制。

## 2 材料与方 法

### 2.1 材料与试剂

鸡蛋: 海兰褐鸡产后 d 2 的新鲜蛋(德青源健康养殖生态园)。

CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> 三元混合气(纯度 99.9%, 北京千禧京城气体有限公司); 铝箔包装袋(150 mm×120mm, PE-铝箔-PET 结构, 厚度 110 μm, 北京金海地塑料包装有限公司); 溶菌酶标准品(81821U/mg, 美国 sigma 公司); 溶壁微球菌标准菌株(CGMCCC 1.634, 中国科学院微生物研究所)。

pH7.5 磷酸缓冲剂: 6.85 g NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O 和 21.55 g Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 溶解于 500 mL 去离子水中, 稀释 20 倍, 调 pH 值至 7.5。

沉淀剂: 0.5 mol/L NaCl 加 0.1 mol/L CH<sub>3</sub>COONa, 调 pH 值至 4.7。

双缩脲溶液: 0.9 g CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 与 3.65 g C<sub>4</sub>O<sub>6</sub>H<sub>2</sub>KNa·4H<sub>2</sub>O 溶解于 250 mL 去离子水中, 30 g NaOH 溶解于 300 mL 去离子水中, 临用时两者 1:1 混合。

0.2 mol/L pH6.2 磷酸盐缓冲液; 0.1 mol/L NaCl 溶液; 0.5 mol/L NaCl 溶液; 2 mol/L HCl 溶液; 0.9% NaCl 溶液; 胰蛋白胨; 酵母提取物; 琼脂粉; 甘油, 试剂均为市售。

### 2.2 仪器与设备

UV2102PC 型紫外可见分光光度计(上海尤尼克仪器有限公司); Lyn×4000 低温高速离心机(Thermo Fisher Scientific); LXJ-IIIB 型离心机(上海安亨科学仪器厂); SPX-25-C 智能型恒温恒湿培养箱(上海琅珂实验设备有限公司); CJJ78-1 磁力搅拌器(金坛市白塔新宝仪器厂); KD-8B 型电热恒温水槽(上海精宏实验设备有限公司); CJ-2D 型超净工作台(天津市泰斯特仪器有限公司); ZD-88 全温培养摇床(常州恒德仪器制造有限公司); DNP-9082 型电热恒温培养箱(上海精宏实验设备有限公司); XT-400 真空充气包装机(广东惠州信泰包装器材有限公司); YP1002N 电子天平(上海精密仪器有限公司); TP-214 电子分析天平(DenveInstrument, USA); TZL-5009 漩涡混合器(苏州珀西瓦尔实验设备有限公司)。

### 2.3 实验方法

#### 2.3.1 实验分组与条件

选择蛋壳洁净、大小均匀的新鲜鸡蛋, 分别称重编号、随机分组, 每组 72 枚, 置于蛋托上。各组实验条件如下:

- (1) 室温组不包装, 25 °C 恒温恒湿培养箱中贮藏;
- (2) 冷藏组不包装, 4 °C 冰箱中贮藏;
- (3) 气调组 50%CO<sub>2</sub>+9%O<sub>2</sub>+41%N<sub>2</sub> 三元气体充气包装于铝箔袋内, 每袋 4 枚鸡蛋(设 3 次重复), 25 °C 恒温恒湿培养箱中贮藏。各组环境相对湿度控制在(70±5)%左右。d<sub>0</sub>、7、14、21、28、35 取样, 每次每组测 12 枚鸡蛋; 用分蛋器将蛋黄、蛋清分开, 每 4 枚鸡蛋清混合作为一个重复。蛋清低温低速彻底混合, 纱布过滤, 备用。

#### 2.3.2 S-卵白蛋白含量的测定方法

取 5.0 g 蛋清, 加 25 mL pH7.5 磷酸缓冲剂, 磁力搅拌 5 min, 分别取 5.0 mL 置于 2 支试管中。一试管 75 °C 水浴 30 min 后冷却, 另一试管不加热。每管各加 10 mL 沉淀剂, 混匀, 分别倒入 2 支 50 mL 离心管中, 静置 10min; 转速 12000g 条件下离心 5 min, 各取 2.0 mL 上清液(空白参比管用 2.0 mL 去离子水), 与 4.0 mL 双缩脲溶液混合, 室温下静置 30 min。分别测定 540 nm 处的吸光度<sup>[7,8]</sup>。按下式计算:

$$S\text{-卵白蛋白}(\%) = \frac{OD_{540(\text{加热})}}{OD_{540(\text{未加热})}} \times 100$$

#### 2.3.3 蛋清卵黏蛋白含量的测定方法

将蛋清加入 3 倍体积 0.1 mol/L NaCl, 4 °C 下低

速搅拌 50 min; 用 2 mol/L HCl 调混合液 pH 值至 6.0, 继续搅拌 30 min, 4 °C 下静置过夜; 次日将静置好的混合液在 4 °C、15000×g 条件下离心 15 min; 弃去上清液, 沉淀用 0.5 mol/L NaCl 重悬, 调 pH 值至 6.0, 4 °C 搅拌 1 h 后, 静置 4 h; 继续在 4 °C、15000 g 下离心 15 min; 沉淀用蒸馏水洗 3 次, 每次清洗后扔按上述条件离心, 沉淀部分冻干、称重, 置于 -20 °C 贮藏<sup>[9,10]</sup>。

#### 2.3.4 蛋清溶菌酶含量的测定方法

##### (1) 标准曲线的制备

精确称 5.0 mg 溶菌酶标准品, 用 0.9% 氯化钠定容于 50 mL 容量瓶中, 并稀释成 0、10、20、30、40、50、60、80 和 100 μg/mL, 测定其在 281 nm 处的吸光度(0.9% 氯化钠为空白参比液)。以溶菌酶的不同浓度为横坐标, OD<sub>281</sub> 为纵坐标绘制标准曲线, 求出回归方程。

##### (2) 溶菌酶含量测定

取蛋清 1 mL, 用 0.9% 氯化钠稀释 50 倍, 乙酸调溶液至 pH 4.5, 77 °C 水浴 10 min, 取出静置 1 h。转速 4500 g 离心 15 min, 取上清, 测定其在 281 nm 处的吸光度。由标准曲线回归方程计算蛋清稀释液液溶菌酶的含量, 再乘以稀释倍数即为蛋清溶菌酶的含量<sup>[11,12]</sup>。

#### 2.3.5 蛋清溶菌酶活力的测定方法

##### (1) LB 液体培养基

胰蛋白胨 10 g, 酵母提取物 5 g, NaCl 10 g, 加去离子水定容至 1 L。调节 pH 值为 7.4。121 °C、20 min 高压蒸气灭菌, 冷却至室温备用。暂时不用可 4 °C 保存。

##### (3) LB 琼脂斜面

在上述 LB 液体培养基中加入琼脂粉 22 g, 即得 LB 固体培养基, 将其制成斜面。

##### (4) 菌种复苏

吸取 0.5 mL 的 LB 液体培养基, 滴入装有溶壁微球菌标准菌株冻干粉的安瓿瓶中, 轻轻振荡, 使冻干菌体溶解呈悬浮状。将菌体悬浮液划线接种于 LB 琼脂斜面, 37 °C 下培养 18~48 h。

##### (5) 甘油菌制备

挑取适量复苏菌体至 LB 液体培养基中, 置于摇床内扩大培养, 摇床转速 110 r/min、37 °C 培养 10~24 h。菌种培养好后 4200 g 离心 10 min, 弃上清液, 取沉淀(菌体)加入 1/10 体积灭过菌的 30% 甘油, 分装于 1.5 mL 离心管内, 冻存于 -20 °C 备用。

##### (6) 底物的制备

取适量甘油菌用 0.2 mol/L pH 6.2 磷酸盐缓冲液悬浮, 调节 OD<sub>450</sub> 在 1.3 左右, 2~8 °C 放置备用。

##### (7) 蛋清溶菌酶活力的测定

分别取测溶菌酶含量时用的蛋清稀释液和底物菌液适量, 于 25 °C 水浴中保温, 二者反应体系为 0.5 mL:2.5 mL, 用 0.2 mol/L pH 6.2 磷酸盐缓冲液做空白参比液, 记录反应 15 s 和 75 s 时的吸光度值。以每分钟 OD<sub>450</sub> 值下降 0.001 为 1 个活力单位(U)<sup>[13,14]</sup>, 每毫升蛋清溶菌酶活力计算如下:

$$\text{酶活力}/(\text{U}/\text{mL}) = \frac{[\text{OD}_{450}(\#15\text{s}) - \text{OD}_{450}(\#75\text{s})] \times 1000 \times \text{稀释倍数}}{\text{样品体积}}$$

#### 2.3.6 数据处理

采用 SAS8.2 统计软件对试验数据进行一维方差分析, Duncan's 法在  $P=0.01$  水平进行差异显著性检验。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同贮藏条件对 S-卵白蛋白含量的影响

鸡蛋在不同条件下贮藏 35 d, 蛋清 S-卵白蛋白含量的变化如表 1 所示。随着贮藏时间延长, 室温组 S-卵白蛋白含量从初始值 14.867% 迅速增至 94.345%; 冷藏组和气调组 S-卵白蛋白含量增加很缓慢, 分别增至 26.989% 和 25.781%。同一时间各组之间 S-卵白蛋白含量变化比较, 从 d 7 开始冷藏组、气调组与室温组比较均出现显著性差异( $P<0.01$ ), 而冷藏组和气调组比较差异不显著, 以后均保持此趋势; 直到 d 35 冷藏组和气调组之间才出现显著性差异( $P<0.01$ )。

表 1 不同贮藏条件下 S-卵白蛋白含量的变化(%)  
Table 1 Changes in S-ovalbumin content of egg white in different storage condition (%)

试验组	贮藏天数(d)					
	0	7	14	21	28	35
室温组	14.867±0.122 <sup>Aa</sup>	32.420±0.166 <sup>Ab</sup>	69.217±0.157 <sup>Ac</sup>	79.017±0.570 <sup>Ad</sup>	90.539±0.201 <sup>Ae</sup>	94.345±0.104 <sup>Af</sup>
冷藏组	14.867±0.122 <sup>Aa</sup>	14.501±0.133 <sup>Ba</sup>	21.081±0.162 <sup>Bb</sup>	22.787±0.150 <sup>Bc</sup>	25.037±0.365 <sup>Bd</sup>	26.989±0.216 <sup>Be</sup>
气调组	14.867±0.122 <sup>Aa</sup>	15.017±0.416 <sup>Ba</sup>	21.533±0.479 <sup>Bb</sup>	22.056±0.174 <sup>Bb</sup>	24.248±0.401 <sup>Bc</sup>	25.781±0.225 <sup>Cd</sup>

注: 在  $P=0.01$  显著水平, 同行小写字母是组内比较, 同列大写字母是组间比较。下同。

温度和 pH 值是蛋清 N-卵白蛋白转化为 S-卵白蛋白的主要因素, 高温、高 pH 值促进 S-卵白蛋白的形成<sup>[15,16]</sup>。高温下 S-构型转化速率加快、反应常数增加, 同时加速蛋内 CO<sub>2</sub> 逸出、蛋清 pH 值上升; 相反, 高 pH 值又加速了 N-构型向 S-构型转化<sup>[17]</sup>。Omana 等<sup>[18]</sup>也认为贮藏期间 S-卵白蛋白增加是因为蛋清 pH 值升高。Alleoni 等<sup>[19]</sup>研究贮存时间和温度对蛋清卵白蛋白的影响, 结果为 8 °C 下贮存 7、14、21 d, S-卵白蛋白含量分别为 18%、26%、34%; 25 °C 贮存 7、14 d 分别为 56%、69%, 与本试验结果相似; 本文研究贮藏温度和气调包装对鸡蛋品质的影响时, 表明 4 °C 冷藏蛋清 pH 值上升缓慢, 贮藏 30 d pH8.95(初始 pH 值为 8.69), 气调包装室温贮藏 30 d pH 值维持在 7.33~7.51 之间<sup>[20]</sup>。故冷藏和气调贮藏均能延缓 S-卵白蛋白形成, 且气调贮藏的效果略优于冷藏。

S-卵白蛋白易于形成较小的乳化液滴, 能有限改善卵白蛋白的乳化活性, 却降低了其乳化稳定性; S-卵白蛋白增加蛋白凝胶的浑浊度, 其凝胶硬度低于自然卵白蛋白的凝胶硬度<sup>[21,22]</sup>, 故对蛋清变稀有一定贡献, 卵白蛋白 S-构型转化是蛋清蛋白质劣化的原因之一。

### 3.2 不同贮藏条件对卵黏蛋白含量的影响

不同贮藏条件下蛋清卵黏蛋白含量见表 2。在 35 d 贮藏期间, 室温组卵黏蛋白含量从初始值 2.931 mg/g 迅速降低到 0.341 mg/g; 冷藏组和气调组卵黏蛋白含量降低缓慢, 分别降至 1.842 mg/g 和 1.564 mg/g。同一时间各组之间卵黏蛋白含量变化比较, 从 d 7 开始冷藏组、气调组与室温组比较均差异显著 ( $P < 0.01$ ), 而冷藏组和气调组比较无显著性差异, 以后均保持此趋势; 到 d 35 冷藏组与气调组之间也出现显著性差异 ( $P < 0.01$ )。

卵黏蛋白是一种与鲜蛋清凝胶性质有关的蛋白

质<sup>[23]</sup>。蛋清凝胶不仅含卵黏蛋白, 还含卵白蛋白、溶菌酶等, 但卵黏蛋白是蛋清凝胶状结构的关键性成分<sup>[24]</sup>。Toussant 等<sup>[25]</sup>由低哈夫单位的鸡蛋中提取卵黏蛋白得率显著降低, Wang 等<sup>[26]</sup>发现贮藏蛋品质降低、pH 值增加的过程中伴随着卵黏蛋白含量减少, 皆与本研究结果相似。Sellers 等和 Chang 等<sup>[27,28]</sup>认为卵黏蛋白分子上维持凝胶结构的碳水化合物侧链间非共价键受 pH 值等因素影响, 促使卵黏蛋白分解。冷藏和气调贮藏能很好地控制蛋清 pH 值升高<sup>[20]</sup>, 故冷藏和气调贮藏均能抑制卵黏蛋白降解, 减缓蛋清变稀的进程。

### 3.3 不同贮藏条件对蛋清溶菌酶含量的影响

#### 3.3.1 溶菌酶标准曲线

用溶菌酶标准品配制不同浓度梯度溶菌酶溶液, 每毫升溶液中的溶菌酶含量与 281nm 处吸光度呈线性关系, 标准曲线如图 1 所示。标准曲线回归方程  $Y=0.0027X-0.0013$ ,  $r^2=0.9994$ 。据回归方程和稀释倍数计算蛋清溶菌酶含量。

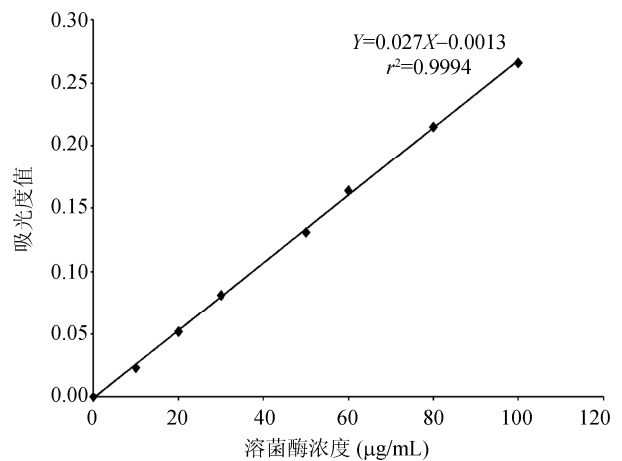


图 1 溶菌酶标准曲线

Fig. 1 Standard curve of lysozyme

表 2 不同贮藏条件下蛋清卵黏蛋白含量的变化(mg/g)

Table 2 Changes in ovomucin content of egg white in different storage condition (mg/g)

试验组	贮藏天数(d)					
	0	7	14	21	28	35
室温组	2.931±0.112 <sup>Aa</sup>	2.364±0.163 <sup>Ab</sup>	1.182±0.098 <sup>Ac</sup>	0.727±0.071 <sup>Ad</sup>	0.496±0.025 <sup>Ad</sup>	0.341±0.023 <sup>Ad</sup>
冷藏组	2.931±0.112 <sup>Aa</sup>	2.820±0.151 <sup>Ba</sup>	2.624±0.211 <sup>Ba</sup>	2.569±0.070 <sup>Ba</sup>	2.074±0.133 <sup>Bb</sup>	1.842±0.091 <sup>Cb</sup>
气调组	2.931±0.112 <sup>Aa</sup>	2.718±0.101 <sup>Bab</sup>	2.603±0.101 <sup>Bab</sup>	2.388±0.142 <sup>Bbc</sup>	1.822±0.078 <sup>Bd</sup>	1.564±0.059 <sup>Be</sup>

### 3.3.2 溶菌酶含量变化

不同贮藏条件下蛋清溶菌酶的含量变化见表3。贮藏期间各组溶菌酶含量均升高,其中室温组增加迅速,从初始值1.488 mg/mL变为4.851 mg/mL;冷藏组和气调组溶菌酶含量增加很缓慢,分别增至1.654 mg/mL和1.585 mg/mL。同一时间各组之间溶菌酶含量比较,d 7时冷藏组与气调组比较无差异显著性,但二者均与室温组呈显著性差异( $P<0.01$ ),以后均保持此趋势;气调组比冷藏组增长更缓慢,到d 35二者之间也出现显著性差异( $P<0.01$ )。

溶菌酶约占蛋清蛋白质总量的3.5%,以卵黏蛋白-溶菌酶复合体形式存在于浓厚蛋白中,此复合体是蛋清粘度的基础<sup>[29]</sup>。卵黏蛋白 $\beta$ 亚基唾液酸残基末端的负电荷与溶菌酶赖氨酸的正电荷之间有很强的静电作用,pH 7.4时卵黏蛋白-溶菌酶的相互作用最强,1.97 g溶菌酶能结合2 g卵黏蛋白,而在碱性条件下相互作用减弱<sup>[30]</sup>。鸡蛋贮藏过程中pH值迅速升高,促使卵黏蛋白-溶菌酶复合体解离,溶菌酶释放出来,故随贮藏时间延长,溶菌酶含量会增多,其含量多少依赖于卵黏蛋白-溶菌酶复合体降解速度。

有人认为,“溶菌酶含量的增加仅为贮藏期间水分挥发,溶菌酶含量相对增加”,但研究表明,鸡蛋在25℃下贮藏30 d失重率增加5.043%<sup>[20]</sup>,则失水对溶菌酶含量增加的贡献率仅占约0.405%。测定溶菌

酶含量用的是等电点沉淀法,无法使卵黏蛋白-溶菌酶复合体中的溶菌酶沉淀下来,故推测溶菌酶含量增加主要由卵黏蛋白-溶菌酶复合体解离造成的。

pH值在酸性范围内变动时,溶菌酶二级结构几乎不变,但在碱性环境中稳定性差,易变性<sup>[31]</sup>,促使卵黏蛋白-溶菌酶复合体解离。作者前期研究表明25℃下贮藏d 6蛋清pH值升到9.55,而冷藏和气调贮藏d 30蛋清pH值与鲜蛋比变化不大(近中性)<sup>[20]</sup>。Kato<sup>[32]</sup>认为溶菌酶的变性至少是蛋白变稀的部分原因。故冷藏和气调贮藏均能防止溶菌酶变性,抑制卵黏蛋白-溶菌酶复合体解离,延缓蛋清稀化进程。

### 3.4 不同贮藏条件对溶菌酶活力的影响

不同条件蛋清溶菌酶活力的变化如表4。贮藏过程中,室温组溶菌酶活力在前14 d迅速降低,从初始值30166.7 U/mL降至18066.7 U/mL;14 d后溶菌酶活力下降变慢,到d 35溶菌酶活力降至15933.3 U/mL。同一时间各组之间溶菌酶活力变化比较,从d 7开始,冷藏组、气调组与室温组比较溶菌酶活力均出现显著性差异( $P<0.01$ ),而冷藏组与气调组比较无差异显著性;冷藏组比气调组降低更缓慢,从d 21开始冷藏组与气调组之间出现显著性差异( $P<0.01$ ),以后均保持此趋势。

表3 不同贮藏条件下蛋清溶菌酶含量的变化(mg/mL)

Table 3 Changes in lysozyme content of egg white in different storage condition (mg/mL)

试验组	贮藏天数(d)					
	0	7	14	21	28	35
室温组	1.488±0.077 <sup>Aa</sup>	2.096±0.093 <sup>Ab</sup>	2.922±0.097 <sup>Ac</sup>	3.748±0.127 <sup>Ad</sup>	4.253±0.164 <sup>Ac</sup>	4.851±0.427 <sup>Af</sup>
冷藏组	1.488±0.077 <sup>Aa</sup>	1.491±0.061 <sup>Ba</sup>	1.467±0.071 <sup>Ba</sup>	1.496±0.086 <sup>Ba</sup>	1.557±0.061 <sup>Bb</sup>	1.654±0.077 <sup>Bc</sup>
气调组	1.488±0.077 <sup>Aa</sup>	1.486±0.0924 <sup>Ba</sup>	1.486±0.092 <sup>Ba</sup>	1.501±0.070 <sup>Ba</sup>	1.533±0.057 <sup>Bb</sup>	1.585±0.114 <sup>Cc</sup>

表4 不同贮藏条件下蛋清溶菌酶活力的变化(U/mL)

Table 4 Changes in lysozyme activity of egg white in different storage condition (U/mL)

试验组	贮藏天数(d)					
	0	7	14	21	28	35
室温组	30166.7±1361.4 <sup>Aa</sup>	26400.0±1900.0 <sup>Ab</sup>	18066.7±568.6 <sup>Ac</sup>	17533.3±680.7 <sup>Ac</sup>	17266.7±737.1 <sup>Ac</sup>	15933.3±832.7 <sup>Ac</sup>
冷藏组	30166.7±1361.4 <sup>Aa</sup>	30600.0±1300.0 <sup>Aa</sup>	30500.0±1212.4 <sup>Ba</sup>	30800.0±624.50 <sup>Ca</sup>	31200.0±125.3 <sup>Ca</sup>	27266.7±1059.9 <sup>Cb</sup>
气调组	30166.7±1361.4 <sup>Aa</sup>	28133.3±2891.9 <sup>Aa</sup>	26000.0±2306.5 <sup>Bab</sup>	22700.0±818.5 <sup>Bb</sup>	21833.3±568.6 <sup>Bb</sup>	21700.0±1389.2 <sup>Bb</sup>

pH6.0~7.0、25℃条件下溶菌酶活性最强<sup>[33]</sup>; Ford 等<sup>[34]</sup>研究表明酸性条件下溶菌酶对热稳定, pH 3、96℃加热 15 min, 溶菌酶结构不被破坏, 活力仍保持 87%, 但碱和氧化剂可抑制溶菌酶的活性。Goyal 等<sup>[35]</sup>认为 4℃条件下有利于保持溶菌酶的活性, 25~65℃下溶菌酶活性随温度升高而增强, 到 65℃时活性最强, 温度继续升高活性下降。前期研究结果为鸡蛋 25℃贮藏时蛋清 pH 值急速上升, d 12 达到高峰(pH 9.74), 之后有缓慢下降趋势, 并维持较高值水平(pH9.4 以上)<sup>[20]</sup>, 故室温组前期溶菌酶活力下降很快, 后期变慢。4℃冷藏组贮藏期间 pH 值变化很小, 气调组 pH 值始终维持在中性<sup>[20]</sup>。因此, 冷藏组、气调组能保持很高的溶菌酶活力, 对鸡蛋保鲜效果好。

#### 4 结 论

鸡蛋在 25℃室温下贮藏 35 d, 蛋清卵白蛋白 N-构型转化为 S-构型的速度很快, S-卵白蛋白含量从初始值 14.867%急剧增至 94.345%; 卵黏蛋白分解, 其含量从 2.931 mg/g 迅速降至 0.341 mg/g; 由于卵黏蛋白-溶菌酶复合体的解离, 使溶菌酶含量从 1.488 mg/mL 显著增加到 4.851 mg/mL, 而溶菌酶活力从 30166.7 U/mL 明显降低到 15933.3 U/mL。在这 3 种蛋白质变化的综合作用下, 蛋清逐渐变稀, 鸡蛋品质变劣。

与室温贮藏比较, 4℃冷藏和 50%CO<sub>2</sub>+9%O<sub>2</sub>+41%N<sub>2</sub> 三元气体包装室温贮藏均能有效降低 N-构型向 S-构型转化的速度, S-卵白蛋白含量增加缓慢( $P<0.01$ ); 抑制卵黏蛋白的分解, 卵黏蛋白含量减少缓慢( $P<0.01$ ); 阻止溶菌酶的变性和卵黏蛋白-溶菌酶复合体解离, 溶菌酶含量升高缓慢( $P<0.01$ ), 并且溶菌酶活力下降缓慢( $P<0.01$ ), 从而维持了蛋清凝胶结构, 减缓了蛋清稀化的进程。

冷藏和气调贮藏比较, 蛋清卵白蛋白、溶菌酶的含量以及溶菌酶活力变化差异不显著, 二者均能很好地保持蛋清蛋白质的性质。

#### 参考文献

- [1] Schafer A, Drewes W, Schwagele F. Effect of storage temperature and time on egg white protein [J]. *Nahrung*, 1999, 43(2): 86-89.
- [2] Silversides FG, Budgell K. The relationships among measures of egg albumen height, pH and whipping volume [J]. *Poult Sci*, 2004, 83(10): 1619-1623.
- [3] 李灿鹏, 吴子健. 蛋品科学与技术[M]. 北京: 中国质检出版社、中国标准出版社, 2013.
- [4] Li CP, Wu ZJ. The science and technology of egg [M]. Beijing: China Zhijian Publishing House & Standards Press of China, 2013.
- [4] Lucisano M, Hidalgo A, Comelli E M, *et al.* Evolution of chemical and physical albumen characteristics during the storage of shell eggs [J]. *J AgricFood Chem*, 1996, 44: 1235-1240.
- [5] Jones DR, Musgrove MT. Effects of extended storage on egg quality factors [J]. *Poult Sci*, 2005, 84(11): 1774-1781.
- [6] Rocculi P, Tylewicz U, Pekoslawska A, *et al.* MAP storage of shell hen eggs, Part I: effect on physico-chemical characteristics of the fresh product [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2009, 42(3): 758-762.
- [7] Smith MB, Nguyen L. Measuring the age of stored eggs [J]. *CSIRO Food Res Qual*, 1984, 44(4): 94-96.
- [8] 黄群, 马美湖, 金永国, 等. 贮存条件对蛋清 S-卵白蛋白形成的影响[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(5): 288-292.
- [8] Huang Q, Ma MH, Jin YG, *et al.* Effect of storage condition on S-ovalbumin formation in albumen [J]. *T CSAE*, 2009, 3(25): 242-247.
- [9] Wang J, Wu J. Effect of operating conditions on the extraction of ovomucin [J]. *Proc Biochem*, 2012, 47: 94-98.
- [10] Omana DA, Wu JP. A new method of separating ovomucin from egg white [J]. *J Agric Food Chem*, 2009a, 57: 3596-3603.
- [11] 侯启瑞, 王金玉, 谢凯舟, 等. 测定鸡蛋蛋清中溶菌酶含量和活力标准方法的建立[J]. *中国畜牧杂志*, 2010, 46(3): 49-52.
- [11] Determination of lysozyme content in the egg white and establishment its vigor standard methods [J]. *Chin Jo Anim Sci*, 2010, 46(3): 49-52.
- [12] 赵玉萍, 杨严俊. 溶菌酶测定方法的改进[J]. *食品科学*, 2002, 23(3): 116-119.
- [12] Zhao YP, Yang YJ. Improvement of lysozyme measurement [J]. *Food Sci*, 2002, 23(3): 116-119.
- [13] Bezemer JM, Radersma R, Grijpma DW, *et al.* Zero-order release of lysozyme from poly(ethylene glycol)/poly(butylene terephthalate) matrices [J]. *J Contrd Rdease*, 2000, 64: 179-192.
- [14] 石军英, 郭雄军, 陈劲春. 鸡蛋溶菌酶生产过程活力动态监控 [J]. *食品科技*, 2008, 33(11): 10-13.
- [14] Shi JY, GuoXJ, Chen JC. Dynamic monitoring of egg lysozyme bioactivity during preparation in an industrial scale [J]. *Food Sci Technol*, 2008, 33(11): 10-13.
- [15] Smith MB, Back JF. Studies on ovalbumin II. the formation and

- properties of S-ovalbumin, a more stable form of ovalbumin[J]. Australian J Bio Sci, 1965, 18(2): 365–377.
- [16] Hammershoj M, Larsen LB, Andersen AB, *et al.* Storage of shell eggs influences the albumen gelling properties [J]. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie, 2002, 35(1): 62–69.
- [17] Smith MB, Back JF. Modification of ovalbumin in stored eggs detected by heat denaturation [J]. Nature, 1962, 193: 878–879.
- [18] Omana DA, Yue L, KavNNV, *et al.* Proteomic analysis of egg white proteins during storage[J]. Proteomics, 2011, 11: 144–153.
- [19] Alleoni ACC, Antunes AJ. Albumen foam stability and S-ovalbumin contents in eggs coated with whey protein concentrate[J]. BrazPoul Sci, 2004, 6(2): 105–110.
- [20] 刘美玉, 连海平, 任发政. 贮藏温度和气调包装对鸡蛋保鲜效果的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(12): 378–382.  
Liu MY, LianHP, RenFZ. Effects of modified atmosphere packaging on egg preservation at different storage temperature [J]. T CSAE, 2011, 27(12): 378–382.
- [21] Shitamori S, Kojima E, Nakamura R. Changes in the heat-induced gelling properties of ovalbumin during its conversion to sovalbumin [J]. Agric Bio Chem, 1984, 48: 1529–1544.
- [22] Egelanddal B. Heat-induced gelling in solutions of ovalbumin [J]. J Food Sci, 1980, 45: 570–573.
- [23] Brooks J, Hale H. The mechanical properties of the thick white of the hen's egg [J]. Biochim Biophys Acta, 1959, 32: 237–250.
- [24] Offengenden M, Wu J. Egg white ovomucin gels: structured fluids with weak polyelectrolyte properties [J]. RSC Adv, 2013, 3(3): 910–913.
- [25] Toussant MJ, Latshaw JD. Ovomucin content and composition in chicken eggs with different interior quality [J]. J Sci Food Agric, 1999, 79(12): 1666–1670.
- [26] Wang J, Omana DA, Wu J. Effect of shell eggs storage on ovomucin extraction [J]. Food Bioproc Technol, 2011, 5(6): 2280–2284.
- [27] Sellers LA, Allen A, Morris ER, *et al.* Mucus glycoprotein gels role of glycoprotein polymeric structure and carbohydrate side-chains in gel-formation [J]. Carbohydr Res, 1988, 178(1): 93–110.
- [28] Chang Y, Chen TC, Lee G, *et al.* Rheological, surface and colorimetric properties of egg albumen gel affected by pH[J]. Int Food Prop, 1999, 2: 101–111.
- [29] Kato A, Imoto T, Yagishita K. The binding groups in ovomucin-lysozyme interaction [J]. Agric Bio Chem, 1975: 1237–1240.
- [30] Robinson D, Monsey J. Changes in the composition of ovomucin during liquefaction of thick egg white [J]. J Sci Food Agric, 1972, 23(1): 29–38.
- [31] Laurents D, Baldwin R. Characterization of the unfolding pathway of hen egg white lysozyme [J]. Biochem, 1997, 36: 1496–1504.
- [32] Kato A, Wakinaga T, Matsudomi N, *et al.* Changes in lysozyme during egg-white thinning [J]. Agric Bio Chem, 1978, 42: 175–176.
- [33] Laurents D, Baldwin R. Characterization of the unfolding pathway of hen egg white lysozyme [J]. Biochem, 1997, 36: 1496–1504.
- [34] Ford LO, Johnson LN, Machin PA, *et al.* Crystal structure of a lysozyme-tetrasaccharide lactone complex [J]. J Mollar Biology, 1974, 8: 349.
- [35] Goyal MK, Roy I, Amin A, Banejee UC, *et al.* Stabilization of lysozyme by benzyl alcohol: surface tension and thermodynamic parameters[J]. J Pharm Sci, 2010, 99: 4149–4161.

(责任编辑: 金延秋)

### 作者简介



刘美玉, 博士, 副教授, 主要研究方向为畜产品贮藏保鲜。  
E-mail: lmy200751@13.com



郭慧媛, 博士, 副教授, 主要研究方向为畜产品加工。  
E-mail: guohuiyuan99@gmail.com