

储藏温度对鸡蛋蛋黄乳化性的影响

何钟瑜¹, 霍银强², 汤尚文², 邱宁^{1,2}, 孙浩浩¹, 朱方莉¹, 孟雅祺¹

(1. 华中农业大学食品科技学院, 湖北武汉 430070) (2. 湖北文理学院化学工程与食品科学系, 湖北襄阳 441000)

摘要: 本研究通过测定鸡蛋在不同温度(4℃、25℃和37℃)储藏15 d后蛋黄的表面疏水性(H₀)、乳化活性(EA)和乳化稳定性(ES)、Zeta 电位、粒径分布、蛋白质溶解度、圆二色谱(CD)等指标变化, 评估储藏温度对蛋黄蛋白质结构和乳化性的影响。结果表明, 随着储藏温度的降低, H₀、Zeta 电位绝对值和 EA 均显著降低($p<0.05$), 粒径显著升高($p<0.05$), 相比对照组(3.22±0.03), 在4℃储藏15 d后的蛋黄 H₀ 下降至 1.09±0.04; ES 的变化受温度的影响不显著, 而蛋白质溶解度仅在低温条件下显著下降($p<0.05$); CD 的结果显示随着储藏温度的升高, α -螺旋和 β -折叠含量逐渐降低, 无规卷曲含量逐渐升高。本研究发现储藏温度显著影响着蛋黄的乳化性($p<0.05$), 虽然高温储藏会加速鸡蛋品质劣化, 高温储藏蛋黄乳化活性(0.63±0.01)优于低温储藏蛋黄乳化活性(0.42±0.02), 这为鸡蛋在不同温度储藏条件下蛋黄产品的开发提供理论参考。

关键词: 蛋黄; 储藏温度; 乳化性; 蛋白质

文章编号: 1673-9078(2019)09-147-152

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.9.018

The Effect of Storage Temperature on the Emulsifying Properties of Hen Egg Yolks

HE Zhong-yu¹, HUO Yin-qiang², TANG Shang-wen², QIU Ning^{1,2}, SUN Hao-hao¹, ZHU Fang-li¹, MENG Ya-qi¹

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China) (2. Department of Chemical Engineering and Food Science, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441000, China)

Abstract: To assess the effect of storage temperature on egg yolk protein structures and emulsifying abilities, the hen eggs were stored at different temperatures (4℃, 25℃, 37℃) for 15 days, the egg yolks were taken out and evaluated by measuring the surface hydrophobicity (H₀), emulsifying activity (EA), emulsifying stability (ES), zeta-potential, particle size distribution, protein solubility and circular dichroism (CD). The results showed that when the storage temperature decreased, H₀, zeta-potential absolute value and EA declined significantly ($p<0.05$), accompanied by a significant increase in particle size distribution ($p<0.05$). Compared to the control (3.22±0.03), the H₀ of hen egg yolks stored at 4℃ was 1.09±0.04. The changes of ES were not significant, while the protein solubility significantly ($p<0.05$) decreased merely under low temperature storage. From the results of circular dichroism, α -helix and β -sheets gradually descended, nevertheless random gradually ascended, when storage temperature elevated. Our study revealed that storage temperature had great impact on the emulsifying properties of egg yolks ($p<0.05$). Although hen eggs suffered from severer deterioration under high temperature storage, the EA of egg yolks stored at high temperature was higher than that stored at low temperature. These results provide a theoretical reference to the egg yolk product development when hen eggs are stored at different temperatures.

Key words: egg yolks; storage temperature; emulsifying properties; proteins

蛋黄主要由浆质和颗粒组成, 蛋黄浆质含有 10% 卵黄球蛋白和 72% 低密度脂蛋白 (LDL); 蛋黄颗粒由高密度脂蛋白 (HDL), 卵黄高磷蛋白和低密度脂蛋白 (LDL) 组成^[1]。据报道, 蛋黄中的脂蛋白能够

收稿日期: 2019-04-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31772043); 武汉市科技项目 (20160201010079); 湖北文理学院共建研究开发项目 (F51805)

作者简介: 何钟瑜 (1995-), 女, 硕士, 研究方向: 食品工程

通讯作者: 邱宁 (1977-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 畜产品加工及质量控制

吸附到水油界面对乳化起作用, 是蛋黄优良乳化活性的主要原因, 尤其是低密度脂蛋白^[2]。因此, 鸡蛋蛋黄作为一种天然乳化剂, 广泛应用于沙拉酱和蛋黄酱的生产^[3]。鸡蛋在储藏期间其品质会发生显著劣化, 包括蛋清 pH 和蛋黄 pH 升高, 蛋黄指数和粘度的降低以及蛋白质和脂质的氧化, 且储藏温度越高鸡蛋品质越容易发生劣化^[4-7]。然而, 蛋黄的乳化性作为蛋黄的优良功能特性之一也可能受储藏温度影响。

蛋白质的结构决定其功能特性, 而其结构变化易受储藏条件影响^[8]。Sheng 等^[9]研究了在 22℃ 储藏 50

d 期间卵白蛋白的结构及功能变化, 结果表明卵白蛋白的结构从有序变得更加无序, 其色氨酸残基逐渐暴露在更加疏水的环境中, 并导致其乳化性和起泡性下降。孙等^[10]研究发现蛋黄在-18℃冷冻储藏 30 d 后乳化性下降, 其原因可能是蛋黄的浆质与颗粒发生了相互作用, 导致分子聚集。此外, 还有很多其他食品蛋白质结构与功能构效关系研究。例如, Sun 等^[11]研究了储藏条件对花生蛋白乳化性的影响, 研究发现随着储藏温度的升高和储藏时间的延长, 花生蛋白的乳化性显著下降, 并且相关性分析显示, β -转角的含量与其乳化性显著相关。Valmor 等^[12]研究发现黄豆在采收后不同温度(11、18、25 和 32℃)储藏 12 个月后的水油吸附能力显著($p<0.05$)升高, 这可能是因为蛋白质在储藏期间变性或者结构发生破坏, 暴露更多疏水基团, 有利于蛋白质吸附在水油界面。因此, 蛋白质的储藏温度影响着其功能特性变化。然而蛋黄在不同温度储藏条件下的乳化特性变化鲜见报道。

本试验以蛋黄为研究对象, 研究鸡蛋蛋黄分别在 4℃、25℃ 和 37℃ 储藏 15 d 后的乳化性变化, 分析蛋黄在不同温度储藏条件下乳化性变化的机制, 为不同温度储藏条件下蛋黄产品的开发与应用提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

新鲜鸡蛋(海兰褐壳蛋), 购自九峰山养殖场; 大豆油, 益海嘉里金龙鱼油。

Mastersizer 2000 激光粒度仪, 英国马尔文仪器有限公司; NanoDrop 2000C 紫外分光光度计, 赛默飞世尔科技公司; XHF-DY 高速剪切分散机, 宁波新芝生物科技股份有限公司; J-1500 圆二色谱仪, 日本 JASCO 公司; RF5301 荧光分光光度计, 日本岛津公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品的准备

将鸡蛋分别在 4℃、25℃ 和 37℃ 的条件下储藏 15 d。每种蛋黄样品随机挑选 9 枚鸡蛋, 将鸡蛋蛋壳打碎, 用分蛋器除去蛋清, 并用滤纸吸掉蛋黄表面残留的蛋清。用注射器针头刺破蛋黄膜后, 吸取蛋黄液, 放入烧杯后立即用冰冷却, 冷藏于 4℃ 冰箱用于各项指标的测定。

1.2.2 乳化活性及乳化稳定性的测定

蛋黄乳化性的方法是根据 Molina 等^[13]的方法并

稍作修改。将蛋黄液配制成 60 mL 0.5% (W/V) 的溶液, 加入 40 mL 大豆油混合, 在 10000 r/min 的条件下用高速剪切分散机乳化均质 1 min 后, 分别在 0 min 与 10 min 时从底部吸取 100 μ L 乳液, 加入到 30 mL 0.1% (W/V) 的 SDS 溶液中用涡旋震荡 10 s 混合均匀后, 在 500 nm 处测定吸光度, 以相同的 SDS 溶液作空白液, 乳化活性 EA 用 0 min 的吸光度 A_0 表示。计算公式如下:

$$EA = A_0$$

$$ES = \frac{A_0 \times \Delta T}{A_0 - A_{10}}$$

EA 为乳化活性; ES 为乳化稳定性, min; ΔT 为时间间隔, 其中时间间隔为 10 min; A_0 为 0 min 的吸光度值; A_{10} 为 10 min 的吸光度值。

1.2.3 乳液粒径的测定

按照 1.2.2 制备新鲜蛋黄乳液样品, 并用 1% SDS 溶液稀释 3 倍后用 Mastersizer 2000 激光粒度仪测定粒径分布。测定前将样品用大量的蒸馏水稀释避免多重散射效应, 设定激光遮光度范围为 5%~10%。粒径分布测定主要是基于光散射原理, d_{43} 是指体积加权平均粒径。计算公式如下:

$$d_{43} = \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3}$$

注: n_i 是粒径为 d_i 的粒子数。

1.2.4 乳液 Zeta 电位的测定

采用 Nano-ZS 型激光光散射仪测量按照 1.2.2 制备的新鲜蛋黄乳液的 Zeta 电位。测定前, 用超纯水将新鲜制备的蛋黄乳液稀释 100 倍后注入 Zeta 电位皿中, 在 25℃ 下进行测定。

1.2.5 蛋白质溶解度的测定

采用考马斯亮蓝法测定蛋白质溶解度。使用 BSA 制作标准曲线。用 0.5 M NaCl 溶液将蛋黄液稀释至浓度约为 2.5% (W/V), 取 24 mL 在室温下用磁力搅拌器搅拌 1 h。取 4 mL 样品用于确定初始蛋白质含量。取 50 μ L 的样品加入 3 mL 考马斯亮蓝 G250 试剂, 立即用涡旋震荡器混合均匀 10 s, 放置 10 min 后在 595 nm 测定吸光度, 以相同体积蒸馏水做空白对照。将剩余的溶液在 4℃, 10000 r/min 的条件下离心 20 min 后, 取上清液, 测定方法同上。则蛋白质的溶解度可以表示为:

$$\text{蛋白质溶解度 (\%)} = \frac{\text{上清液中蛋白质含量}}{\text{原样品中蛋白质含量}} \times 100\%$$

1.2.6 表面疏水性的测定

蛋黄表面疏水性的测定是根据 Chang 等^[14]的方法并作修改, 采用 8-苯胺基-1-萘磺酸(ANS)作为荧光探

针。用 10 mmol/L, pH 7.2 的磷酸盐缓冲溶液将 0.10 g 蛋黄样品稀释在 0.005~0.2 (*W/V*) 之间。取不同浓度的稀释样品 4 mL 加入 20 μ L 的 ANS, 涡旋震荡 10 s 后反应 30 min。采用 RF 5301 荧光分光光度仪在 395 nm 的激发波长和 475 nm 的发射波长下测定样品的荧光强度(FI)。通过线性回归分析的初始斜率为 H_0 , 所有的荧光值除以 10000 后用于数据分析和作图。

1.2.7 圆二色谱测定蛋白质二级结构

根据 Yang^[15]的方法测定了蛋黄蛋白质二级结构。用 10 mmol/L, pH 7.2 的磷酸盐缓冲液将蛋黄液配置成蛋白质浓度为 0.1 mg/mL 的稀释液, 采用 J-1500 圆二色谱仪记录 CD 图谱。测定参数为: 0.1 cm 比色皿, 分辨率为 1.0 nm, 谱带宽度为 1.0 nm, 灵敏度为 20 m deg, 响应时间为 0.5 s, 扫描速度为 100 nm/min。根据 Chen-Yang 原理计算 α 螺旋、 β 折叠和无规卷曲等二级结构的百分含量。

1.2.8 数据分析

本实验所有指标的测定均做 3 次平行, 结果以平均值 $\pm$ 标准差表示, 采用 IBM SPSS Statistics 23 对数据进行方差分析, $p<0.05$ 表示差异显著。采用 Origin Pro 8.5 软件进行作图。

2 结果与讨论

2.1 表面疏水性

蛋白质的表面疏水性 (H_0) 反映了疏水性氨基酸残基暴露在蛋白质表面的程度^[16]。图 1 为蛋黄在不同温度储藏条件下储藏 15 d 的表面疏水性值变化。由图 1 的结果可知, 新鲜蛋黄的 H_0 为 3.22 ± 0.03 , 蛋黄在所有温度储藏条件下储藏 15 d 后表面疏水性显著降低 ($p<0.05$), 蛋黄在 4℃ 储藏 15 d 后的 H_0 下降至 1.09 ± 0.04 。有研究表明 H_0 的减少可能是因为蛋白质表面的疏水基团发生了氧化^[17]。蛋黄在储藏期间会发生蛋白质氧化和脂质氧化^[6,7], 在本研究中 H_0 的减少可能是因为脂质过氧化产物与蛋白质表面疏水基团发生了氧化反应。此外, 有研究表明蛋黄经冷冻后, 乳化容量、乳化活性和可溶性蛋白含量显著降低, 这可能是因为是在冷冻时蛋黄浆质和颗粒发生了相互作用, 产生分子间和分子内聚集^[10]。鸡蛋在冷冻后会出现“橡皮蛋”的性状, 这说明低温储藏也能够加强蛋黄凝胶化程度^[18]。在本研究中蛋黄在冷藏期间的表面疏水性显著下降也可能是因为发生了蛋白质凝聚, 包埋了疏水性残基。此外, 随着储藏温度的升高蛋黄蛋白质降解的越剧烈^[19], 蛋黄蛋白质经碱性蛋白酶适度水解后疏水基团暴露, 表面疏水性升高^[20]。在本研究中, 随着

储藏温度的升高, H_0 显著升高, 这可能是因为蛋黄在高温储藏条件下, 能够激活某些蛋白酶和抑制某些抗蛋白酶的活性, 使得蛋白质降解的更加剧烈, 而蛋白质的降解导致蛋白质表面疏水基团的暴露, 最终使得高温储藏条件下蛋黄表面疏水性的降低有所缓和。

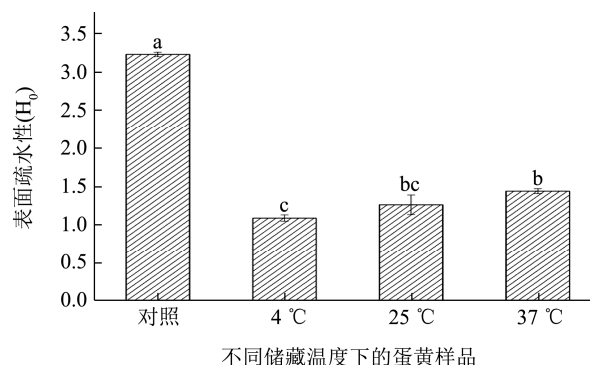


图1 在不同温度 (4 °C、25 °C 和 37 °C) 储藏条件下储藏 15 d 后蛋黄的表面疏水性变化

Fig.1 Changes in the H_0 of egg yolk stored at different temperatures (4 °C, 25 °C and 37 °C) for 15 days

注: 不同小写字母表示差异显著性 ($p<0.05$)。下同。

2.2 乳化活性和乳化稳定性

蛋白质的乳化活性 (EA) 和乳化稳定性 (ES) 分别反映了蛋白质促进乳液形成和稳定乳液的能力^[21]。图 2 为蛋黄在不同温度储藏条件下储藏 15 d 的乳化活力和乳化稳定性变化。如图 2a 所示, 新鲜蛋黄的 EA 为 0.74 ± 0.01 , EA 在所有储藏温度下储藏 15 d 后都降低, 且储藏温度越低下降越显著 ($p<0.05$)。EA 的变化趋势与 H_0 保持一致。ES 在所有储藏温度下都下降, 但温度对 ES 的影响不显著 (图 2b)。蛋白质的乳化性由蛋白质吸附在油滴表面的能力和蛋白质分子间的相互作用所决定。蛋黄在不同温度储藏后乳化活性的降低可能是因为储藏期间蛋白质氧化引起蛋白质分子结构和表面电荷的变化, 从而影响了蛋白质在油水界面的结构重排。Zhang 等^[22]人的研究表明乳化性和蛋白质的 H_0 呈正相关, H_0 的增加会促进蛋白质在油滴表面的吸附。在本研究中, 随着储藏时间的延长, 疏水基团的减少可能减弱蛋白质之间的疏水相互作用和静电排斥作用。因此蛋黄在不同温度储藏条件下储藏 15 d 后乳化活性下降。此外, 蛋黄蛋白质二级结构从有序变得无序 (见 2.6 表 1), 分子结构遭到破坏也可能是导致其乳化性降低的原因之一。低温储藏乳化活性的显著降低也可能是因为低温储藏导致蛋黄蛋白质凝集, 使 H_0 进一步降低。然而, 值得注意的是, 随着储藏温度的升高, 蛋黄的乳化性显著升高, 蛋黄在 37 °C 储藏 15 d 后的 EA 相比对照仅下降了 14.86%。

这可能是因为高温储藏条件下蛋黄蛋白质降解更剧烈^[19], 而蛋白质水解成多肽会提高其表面疏水性^[20], 从而在一定程度上延缓乳化性能的下降。

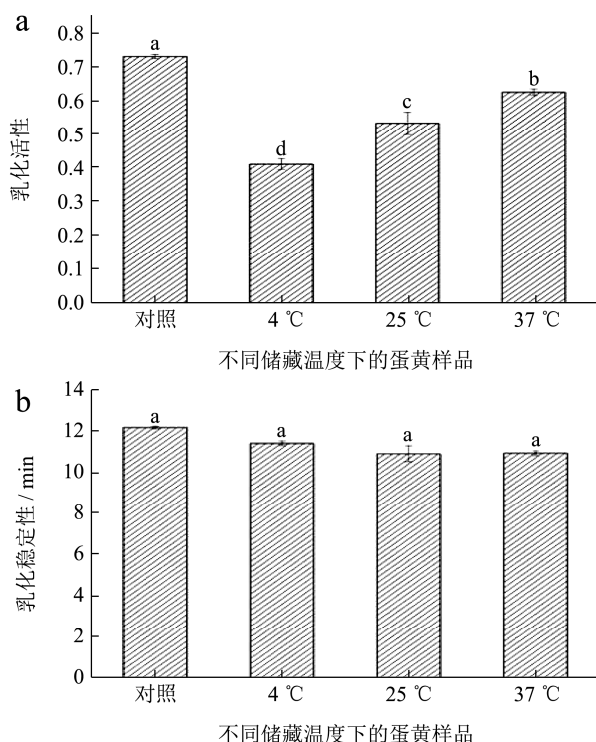


图2 在不同温度(4 °C、25 °C和37 °C)储藏条件下储藏15 d后蛋黄的EA和ES变化

Fig.2 Changes in the EA and ES of egg yolk stored at different temperatures (4 °C, 25 °C and 37 °C) for 15 days

注: a: EA; b: ES。

2.3 Zeta 电位

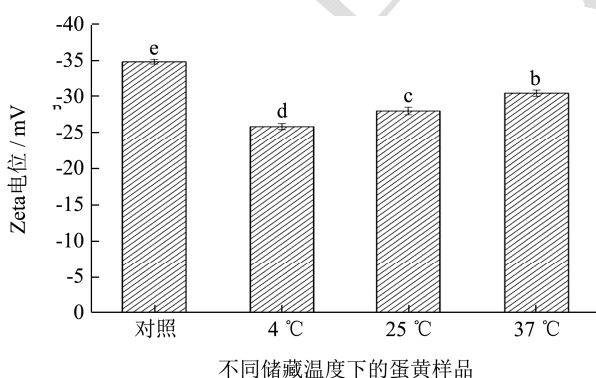


图3 不同温度(4 °C、25 °C和37 °C)储藏条件下储藏15 d后的蛋黄乳液 Zeta 电位变化

Fig.3 Changes in the Zeta-potential of egg yolk emulsion when eggs were stored at different temperatures (4 °C, 25 °C and 37 °C) for 15 days

Zeta 电位反映了乳液液滴间静电排斥力的大小, 因此 Zeta 电位越高, 乳液越稳定。侯俊杰等^[23]发现 Zeta 电位较高的体系带有的同种电荷量越高, 乳液液

滴间静电排斥力越大, 乳液处于相对稳定状态不易发生聚集; 而 Zeta 电位较低的体系, 乳液液滴间静电排斥力越低, 容易发生聚沉。图3为蛋黄在不同温度储藏条件下储藏15 d后蛋黄乳液 Zeta 电位变化。如图所示, 新鲜蛋黄制备的乳液 Zeta 电位为 -34.77 ± 0.33 mV, 所有蛋黄乳液的 Zeta 电位为负值, 这主要是因为蛋黄中带负电荷的磷酸基团含量较高。蛋黄在不同温度储藏15 d后, 蛋黄乳液的净负电荷量减少, 且储藏温度越高, 净负电荷量减少的越缓慢。这种变化趋势与表面疏水性的结果一致。蛋白质的表面电荷量受氨基酸残基的影响很大, Zeta 电位绝对值的下降可能是因为储藏期间蛋黄蛋白质发生了氧化使得包埋的带电荷氨基酸残基暴露, 并与氧化产物反应, 生成电中性的物质^[24]。低温储藏条件下 Zeta 电位绝对值的显著降低也可能是因为蛋黄冷藏期间蛋白质发生冷凝胶聚集包埋了界面蛋白所暴露的极性基团从而导致表面电荷的降低。此外, 有研究表明蛋清经干热磷酸化后引入了磷酸基团, 提高了其乳化性^[25]。因此, 蛋黄在高温储藏条件下可能发生蛋白质磷酸化程度的升高, 磷酸基团的引入可能使得蛋黄所带电荷增加, 最终延缓了高温储藏条件下蛋黄乳液 Zeta 电位绝对值的下降。

2.4 乳液粒径分布

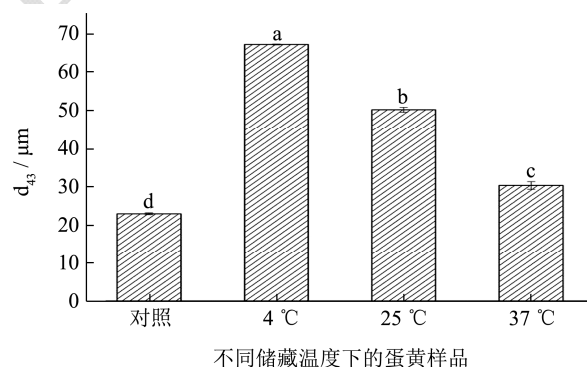


图4 在不同温度(4 °C、25 °C和37 °C)储藏条件下储藏15 d后蛋黄的乳液粒径(d_{43})变化

Fig.4 Changes in the emulsion mean droplet size (d_{43}) of egg yolk stored at different temperatures (4 °C, 25 °C and 37 °C) for 15 days

乳液平均粒径可以反映乳化剂的乳化能力, 乳液平均粒径 d_{43} 越低, 表明乳化活性越高^[26]。蛋黄在不同温度储藏15 d后乳液粒径变化如图4所示, 结果显示蛋黄乳液粒径大小受蛋黄储藏温度显著($p < 0.05$)影响。新鲜蛋黄的 d_{43} 为 22.95 ± 0.25 μm , 蛋黄在不同温度储藏15 d后, 蛋黄乳液粒径都增大。这可能是因为蛋黄在不同温度储藏条件下储藏15 d后发生了蛋白质氧化聚集。有研究表明, 蛋黄经过酶处理后, d_{43}

会显著减小, 具有更高的乳化性^[19]。在本研究中, 储藏温度越高乳液粒径越低, 可能是因为随着储藏温度的升高, 蛋黄蛋白质降解的更加剧烈, 而蛋白质水解成多肽会导致乳液粒径的下降, 最终能够延缓高温储藏条件下蛋黄乳液粒径的升高。

2.5 蛋白质溶解度

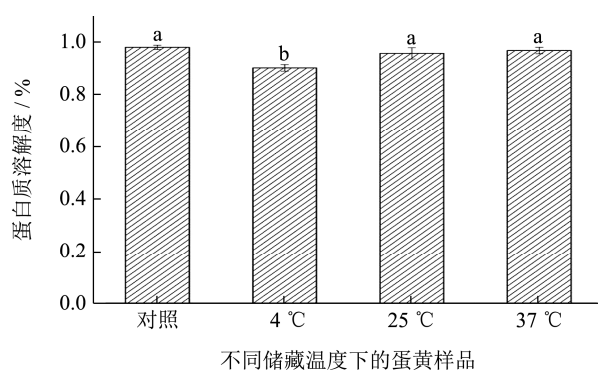


图5 在不同温度(4 °C、25 °C和37 °C)储藏条件下储藏15 d后的蛋黄蛋白质溶解度变化

Fig.5 Changes in the protein solubility of egg yolk stored at different temperatures (4 °C、25 °C and 37 °C) for 15 days

蛋黄在不同温度储藏条件下储藏15 d的蛋白质溶解度变化如图5所示, 蛋黄在不同温度下储藏15 d后溶解度都发生下降, 这可能是蛋白质氧化所导致的。

表1 蛋黄在不同温度(4 °C、25 °C和37 °C)储藏条件下储藏15 d后的蛋白质二级结构变化

Table 1 Changes in the secondary structure of egg yolk proteins stored at different temperatures (4 °C、25 °C and 37 °C) for 15 days

不同储藏温度下的蛋黄样品	α -螺旋/%	β -折叠/%	β -转角/%	无规卷曲/%
对照	32.70±1.27 ^a	26.80±0.82 ^a	24.18±0.73 ^a	16.32±1.46 ^b
4 °C	21.73±0.93 ^b	16.77±1.35 ^{ab}	24.47±1.77 ^a	37.03±0.85 ^a
25 °C	21.07±1.95 ^b	14.73±6.35 ^{ab}	25.77±0.85 ^a	38.43±3.56 ^a
37 °C	21.03±2.26 ^b	9.37±2.84 ^c	26.83±0.34 ^a	42.77±1.01 ^a

注: 表中数值为平均值±标准差; 每列不同小写字母表示数值的显著性差异 ($p<0.05$)。

3 结论

3.1 本实验研究了鸡蛋在不同温度(4 °C、25 °C和37 °C)下储藏15 d后, 蛋黄的表面疏水性、Zeta 电位、粒径分布、蛋白质溶解性、二级结构、乳化活性和乳化稳定性变化。

3.2 研究发现储藏温度显著影响着蛋黄的乳化性 ($p<0.05$)。虽然在所有温度条件下, 蛋黄的EA 都显著降低 ($p<0.05$), 但是蛋黄在高温储藏的EA 优于低温储藏。H₀、Zeta 电位绝对值与EA 的变化趋势一致。蛋白质溶解度仅在低温条件下显著降低 ($p<0.05$), 储藏温度对ES 的影响不显著。此外, 随着储藏温度的降低, 粒径显著升高 ($p<0.05$)。蛋黄蛋白质二级结构的结果显示, 随着储藏温度的升高, 蛋白质的结构从

蛋白质氧化能够导致蛋白质分子结构的破坏, 暴露疏水性残基; 暴露的疏水性残基又能通过疏水相互作用发生蛋白质聚集, 从而降低蛋白质的溶解度^[27]。然而, 本结果显示其他温度蛋白质溶解度下降的不显著, 而低温储藏条件下蛋白质下降显著 ($p<0.05$), 相比对照组下降了 8.00%, 这可能是因为蛋黄在冷藏期间发生了蛋白质冷凝胶聚集。

2.6 蛋黄蛋白质二级结构分析

不同温度储藏条件下蛋黄蛋白质二级结构的变化如表1所示。 α -螺旋表示有序的结构, 而 β -折叠和无规卷曲的结构相对灵活和延展^[28]。由图可知, 新鲜蛋黄蛋白质的二级结构以 α -螺旋和 β -折叠为主。蛋黄在不同温度储藏条件下储藏15 d后, 随着储藏温度的升高, α -螺旋和 β -折叠的含量逐渐降低, 而无规卷曲的含量逐渐升高。这可能是因为蛋黄在储藏期间发生了蛋白质氧化, 导致蛋白质二级结构的部分展开。Safonova 等人^[29]的研究表明麸质的氧化会导致其 β -折叠和无规卷曲的含量上升。此外, 蛋黄蛋白质在高温储藏期间可能降解得更剧烈, 产生了多肽, 这可能是高温储藏期间蛋黄蛋白质结构变得更加无序的原因之一。总的来说, 由表1可知, 随储藏温度的升高蛋黄蛋白质的二级结构从有序的结构变得更为无序。

有序的结构变为更加无序的结构。这些研究结果表明, 储藏期间蛋白质的分子结构变化影响着其功能特性, 虽然蛋黄在高温储藏条件下品质更容易发生劣化, 但高温储藏的乳化活性优于低温储藏的乳化活性。本研究为在鸡蛋在不同储藏温度下蛋黄产品的应用与开发提供了理论基础。

参考文献

- [1] Mann K, Mann M. The chicken egg yolk plasma and granule proteomes [J]. Proteomics, 2010, 8(1): 178-191
- [2] 阎微, 苏晓蓉, 杨严俊. 蛋黄组成成分的性质研究[J]. 食品工业科技, 2010, 1: 158-160
- YAN Wei, SU Xiao-rong, YANG Yan-jun. Study on the properties of composition of egg yolk [J]. Science and

- Technology of Food Industry, 2010, 1: 158-160
- [3] Ercelebi E A, Ibanoglu E. Stability and rheological properties of egg yolk granule stabilized emulsions with pectin and guar gum [J]. International Journal of Food Properties, 2010, 13(3): 618-630
- [4] Samli H E, Agha A, Senkoylu N. Effects of storage time and temperature on egg quality in old laying hens [J]. Journal of Applied Poultry Research, 2005, 14(3): 548-553
- [5] Libor S, Šárka N, Jaroslav B. Influence of storing time and temperature on the viscosity of an egg yolk [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 96(2): 266-269
- [6] Pappas A C, Acamovic T, Sparks N H C, et al. Effects of supplementing broiler breeder diets with organic selenium and polyunsaturated fatty acids on egg quality during storage [J]. Poultry Science, 2005, 84(6): 865-874
- [7] Qingling W, Guofeng J, Ning W, et al. Lipolysis and oxidation of lipids during egg storage at different temperatures [J]. Czech Journal of Food Sciences, 2017, 35(3): 229-235
- [8] Shih M C, Hwang T S, Chou H Y. Physicochemical and functional property changes in soy protein isolates stored under high relative humidity and temperature [J]. Journal of Food Science & Technology, 2016, 53(1): 902-908
- [9] Sheng L, Huang M, Wang J, et al. A study of storage impact on ovalbumin structure of chicken egg [J]. Journal of Food Engineering, 2018, 219: 1-7
- [10] 孙嘉文, 卢晓明, 韩兆鹏, 等. 冷冻对蛋黄, 蛋黄微粒和蛋黄浆液乳化性质的影响[J]. 食品工业, 2014, 9: 100-103
- SUN Jia-wen, LU Xiao-ming, HAN Zhao-peng, et al. Effect of freeze on emulsifying properties of egg yolk, granule and plasma [J]. Food Industry, 2014, 9: 100-103
- [11] Sun X, Jin H, Li Y, et al. The molecular properties of peanut protein: Impact of temperature, relative humidity and vacuum packaging during storage [J]. Molecules, 2018, 23(10): 2618
- [12] Ziegler V, Ferreira C D, Hoffmann J F, et al. Effects of moisture and temperature during grain storage on the functional properties and isoflavone profile of soy protein concentrate [J]. Food Chemistry, 2018, 242: 37-44
- [13] Molina E, Papadopoulou A, Ledward D A. Emulsifying properties of high pressure treated soy protein isolate and 7S and 11S globulins [J]. Food Hydrocolloids, 2001, 15(3): 263-269
- [14] Hou H J, Chang K C. Structural characteristics of purified glycinin from soybeans stored under various conditions [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(12): 3792-3800
- [15] Yang J T. Calculation of protein conformation from circular dichroism [J]. Methods Enzymol. 1986, 130(4): 208-269
- [16] Feng X, Li C, Ullah N, et al. Susceptibility of whey protein isolate to oxidation and changes in physicochemical, structural, and digestibility characteristics [J]. Journal of Dairy Science, 2015, 98(11): 7602-7613
- [17] Wu W, Zhang C, Hua Y. Structural modification of soy protein by the lipid peroxidation product malondialdehyde [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2009, 89(8): 1416-1423
- [18] 王慧斌, 段洪威, 王晓龙, 等. 贮藏时间和温度对“橡皮蛋”形成的影响[J]. 中国畜牧业, 2015, 11: 59-60
- WANG Hui-bin, DUAN Hong-wei, WANG Xiao-long, et al. Effects of storage time and temperature on the formation of “rubber egg” [J]. China Animal Industry, 2015, 11: 59-60
- [19] 郝丽芳. 鸡蛋贮藏期间蛋黄比较蛋白质组学研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014
- HAO Li-fang. Study on the egg yolk comparative proteomics during egg storage [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014
- [20] Bao Z J, Zhao Y, Wang X Y, et al. Effects of degree of hydrolysis (DH) on the functional properties of egg yolk hydrolysate with alcalase [J]. Journal of Food Science & Technology, 2017, 54(3): 1-10
- [21] Jiang J, Xiong Y L, Chen J. Role of β -conglycinin and glycinin subunits in the pH-shifting-induced structural and physicochemical changes of soy protein isolate [J]. Journal of Food Science, 2011, 76(2): C293-302
- [22] Zhang Q T, Tu Z C, Xiao H, et al. Influence of ultrasonic treatment on the structure and emulsifying properties of peanut protein isolate [J]. Food and Bioprocess Processing, 2014, 92(1): 30-37
- [23] 侯俊杰, 严江殷, 杨晓泉. 谷氨酰胺内肽酶限制性水解对大豆伴球蛋白乳化性的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(4): 51-57
- HOU Jun-jie, YAN Jiang-yin, YANG Xiao-quan. Effect of glutamyl endoprotease modification on emulsifying properties of β -conglycinin [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31 (4): 51-57

(下转第 109 页)