

蛋白质质量浓度对鸡蛋热诱导凝胶特性的影响

周长旭, 靳红果, 辛营营, 彭增起*, 熊雄, 王蓉蓉, 张雅玮
(南京农业大学 教育部肉品加工与质量控制重点实验室, 江苏 南京 210095)

摘要: 以蛋清、蛋黄和全蛋液为原料, 研究蛋清、蛋黄和全蛋蛋白热诱导凝胶的形成能力以及蛋白质质量浓度对蛋清、蛋黄和全蛋蛋白热诱导凝胶特性的影响。结果表明: 蛋清、蛋黄和全蛋形成热诱导凝胶的最低蛋白质质量浓度分别为 50、55、50mg/mL; 在 50~135mg/mL 范围内, 随蛋白质质量浓度的增加, 蛋清、蛋黄和全蛋蛋白的凝胶强度和保水性不断增大, 蒸煮损失整体呈下降趋势; 蛋白质质量浓度对蛋清、蛋黄和全蛋凝胶的弹性也有显著影响。
关键词: 蛋清; 蛋黄; 全蛋; 蛋白质质量浓度; 凝胶特性

Effect of Protein Concentration on Properties of Heat-Induced Gels Prepared from Egg White, Yolk or Whole Egg

ZHOU Chang-xu, JIN Hong-guo, XIN Ying-ying, PENG Zeng-qi*, XIONG Xiong,
WANG Rong-rong, ZHANG Ya-wei
(Key Laboratory of Meat Products Processing and Quality Control, Ministry of Education,
Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In this study, the heat-induced gel-forming capacity of egg white, egg yolk and whole egg was determined and the effect of protein concentration on properties formed gels was explored. The results indicated that the minimum protein concentrations for the formation of heat-induced gels from egg white, egg yolk and whole egg were 50, 55 mg/mL and 50 mg/mL, respectively. In the concentration range of 50–135 mg/mL, the strength and water-holding capacity of heat-induced gels from egg white, egg yolk and whole egg revealed an obvious increase, while the cooking loss revealed an overall drop along with the increase of protein concentration. In addition, protein concentration also had a significant impact on the springness of heat-induced gels from egg white, egg yolk and whole egg.

Key words: egg white; egg yolk; whole egg; protein concentration; gel properties

中图分类号: TS253.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)09-0118-04

凝胶特性是鸡蛋在食品加工过程中最为重要的加工特性之一。鸡蛋蛋白的热诱导凝胶过程是一个多元化的过程, 这一过程将决定鸡蛋凝胶类产品的流变特性和凝胶特性^[1]。在鸡蛋蛋白热诱导凝胶机制的初始阶段, 蛋白质的二级和三级结构在加热过程中受到破坏而发生变性, 蛋白质内部的疏水区域暴露出来, 使得蛋白质之间发生交联, 从而形成凝胶^[2]。

鸡蛋蛋白的热诱导凝胶特性受诸多因素影响, 如蛋白质质量浓度^[3]、pH 值^[4-5]、离子强度^[6]、加热时间、糖^[7]和加热温度^[8]等, 其中蛋白质质量浓度是影响鸡蛋凝胶特性最为主要的因素之一, 且蛋白质质量浓度对凝胶强度的影响较大^[9]。尽管人们对蛋清蛋白凝胶有了较多的研究, 但是有关蛋黄蛋白热诱导凝胶的情况仍然所知甚少^[10-11]。蛋清蛋白、蛋黄蛋白凝胶的形成都需要一定的

蛋白质质量浓度, 低于某一质量浓度时不能形成性能较好的凝胶, 甚至不能形成凝胶。本实验旨在研究蛋清、蛋黄和全蛋蛋白凝胶的最低蛋白质质量浓度, 探讨蛋白质质量浓度对蛋清、蛋黄和全蛋蛋白凝胶特性的影响, 为鸡蛋蛋白在食品加工中的应用提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

新鲜鸡蛋, 购于南京玄武区孝陵卫卫苏果超市。用分蛋器分离全蛋液得到蛋清和蛋黄, 置于 0~4℃ 条件下保存, 备用。

牛血清白蛋白、NaOH 等化学试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

Allegra 64R 型高速冷冻台式离心机 美国 Beckman

收稿日期: 2011-05-21

作者简介: 周长旭(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为畜产品加工与质量控制。E-mail: 469923037@163.com

* 通信作者: 彭增起(1956—), 男, 教授, 博士, 研究方向为畜产品加工与质量控制。E-mail: zqpeng@njau.edu.cn

Coulter 有限公司; TA-XT2i 质构仪 英国 Stable Micro Systes 公司; HH-42 水浴锅 常州国华电器有限公司; pH 211 台式酸度计 葡萄牙 Hanna 公司; 722N 型可见分光光度计、YP1201N 电子天平 上海精密科学仪器有限公司; WH-2 型微型旋涡混合仪 上海沪西分析仪器有限公司; HJ-3 型数显恒温磁力搅拌器 金坛市宏凯仪器厂。

1.3 方法

先将蛋清、蛋黄和全蛋分别搅拌均匀, 得到均一的各组分, 测得蛋白质量浓度后将全蛋、蛋清和蛋黄分别用蒸馏水稀释至蛋白质质量浓度分别为 45、50、55、65、75、85、95、105、115、125、135mg/mL, 电磁搅拌 20min, 调至 pH9, 过滤去除泡沫等杂质。取 15mL 相应的蛋白溶液于 25mL 烧杯中, 用保鲜膜封口, 用橡皮筋扎紧后 90℃ 水浴加热 40min, 然后用自来水冷却 20min, 放于 0~4℃ 条件下冷藏过夜, 对形成的凝胶进行凝胶强度、保水性、蒸煮损失和质构测定。

1.3.1 蛋白质量浓度的测定

参照余冰宾^[12]的双缩脲法, 以牛血清白蛋白作为标准蛋白。蛋清稀释 15 倍, 全蛋稀释 20 倍, 蛋黄稀释 25 倍后取相应溶液 1mL, 再加入 4mL 双缩脲试剂, 经漩涡混合仪充分混合, 25℃ 条件下放置 30min, 在 540nm 波长处比色, 测得蛋白质量浓度用 mg/mL 表示。

1.3.2 凝胶质构的测定

1.3.2.1 凝胶强度的测定

采用球形探头 P/0.5S, 进行一次压缩, 压缩形变为 50%。测定条件: 测前速度: 5.0mm/s; 测试速度: 2.0mm/s; 测后速度: 5.0mm/s; 压缩百分比: 50%; 触发力: 1.0g; 触发类型: Auto; 数据获取速率: 200Hz; 停留时间: 5s。测试完成后, 用仪器自带软件 Texture Expert Exceed 2.64a 内部宏 TPA.MAC 对测试结果进行处理, 得到凝胶强度。每个处理有两个重复, 5 个平行。

1.3.2.2 弹性的测定

将凝胶切成高 25mm 的小圆柱体, 将样品的中心置于质构仪探头的正下方样品台上。采用 P/50 探头对样品进行两次压缩。测定条件: 测前速度: 2.0mm/s; 测试速度: 1.0mm/s; 测后速度: 2.0mm/s; 压缩百分比: 50%; 触发力: 1.0g; 触发类型: Auto; 数据获取速率: 200Hz; 停留时间: 5s。测试完成后, 用仪器自带软件 Texture Expert Exceed 2.64a 内部宏 TPA.MAC 对测试结果进行处理, 得到凝胶的弹性。每个处理有两个重复, 5 个平行。

1.3.3 保水性的测定

参照 Foegeding^[13]的方法, 并作相应的修改。将制备好的凝胶于 10000r/min 离心 10min 后, 称总质量, 去除离心出的水分, 再次称质量, 每个处理有两个重复, 6 个平行。按照公式(1)计算凝胶保水性。

$$\text{保水性}/\% = \frac{m_1 - m}{m_2 - m} \times 100 \quad (1)$$

式中: m_1 为离心管和离心除水后的凝胶质量; m_2 为离心前离心管和凝胶质量; m 为离心管质量。

1.3.4 蒸煮损失的测定

$$\text{蒸煮损失}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \times 100 \quad (2)$$

式中: m_1 为称量蒸煮前烧杯和相应蛋白溶液的总质量/g; m_2 为煮制后除去水分的总质量/g; m 为烧杯质量。

每个处理有两个重复, 5 个平行。

1.3.5 统计方法

所有数据均采用 OriginPro8.SR4 作图, SAS8.01 进行方差分析, 如果方差分析效应显著, 采用 Duncan's Multiple-Rang Test 进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 蛋白质量浓度对蛋清、蛋黄和全蛋热诱导凝胶质构的影响

2.1.1 对蛋清、蛋黄和全蛋热诱导凝胶强度的影响

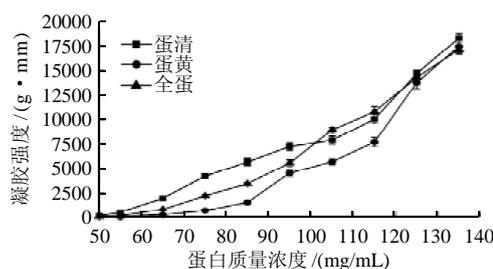


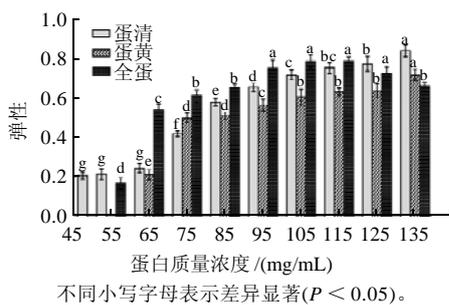
图1 蛋白质量浓度对蛋清、蛋黄、全蛋热诱导凝胶强度的影响
Fig.1 Effect of protein concentration on strength of heat-induced gels from egg white, egg yolk and whole egg

实验中发现将蛋清和全蛋的蛋白质量浓度稀释至 45mg/mL、蛋黄的蛋白质量浓度稀释至 50mg/mL 时加热后为浆状, 不可作为一个整体倒出, 此时蛋白质量浓度过低, 三者均已不能形成热诱导凝胶, 所以蛋清和全蛋能够形成热诱导凝胶的最低蛋白质量浓度为 50mg/mL,

蛋黄能够形成热诱导凝胶的最低蛋白质质量浓度为 55mg/mL。由图 1 可知, 在形成热诱导凝胶的蛋白质质量浓度范围内, 随着蛋清、蛋黄和全蛋蛋白质质量浓度的增加, 凝胶强度不断增大, 且均大致上呈现出指数增加的趋势, 统计分析表明不同蛋白质质量浓度的蛋清、蛋黄和全蛋蛋白质热诱导凝胶的凝胶强度差异均显著($P < 0.05$)。

综合比较可知, 与蛋黄相比, 蛋清和全蛋可以在更低的蛋白质质量浓度下形成热诱导凝胶。当蛋清和全蛋的蛋白质质量浓度低于 50mg/mL, 蛋黄的蛋白质质量浓度低于 55mg/mL 时, 由于水的大量存在, 使得蛋白质分子被水相隔离, 在加热过程中蛋白质分子间不能够交联形成固定形状的凝胶。随着蛋白质质量浓度的增加, 蛋清中的主要蛋白卵清蛋白、蛋黄中的低密度脂蛋白便会在加热变性过程中发挥主要作用, 分子间疏水相互作用增强, 其凝胶的交联也会更加致密, 所形成凝胶的强度也就越大^[14]。

2.1.2 对蛋清、蛋黄和全蛋热诱导凝胶弹性的影响



不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图 2 蛋白质质量浓度对蛋清、蛋黄、全蛋热诱导凝胶弹性的影响
Fig.2 Effect of protein concentration on springiness of heat-induced gels from egg white, egg yolk and whole egg

如图 2 所示, 全蛋的蛋白质质量浓度低于 55mg/mL、蛋黄的蛋白质质量浓度低于 65mg/mL 时, 所形成热诱导凝胶的弹性无法测定。在蛋白质质量浓度为 55~135mg/mL 范围内, 蛋清所形成热诱导凝胶的弹性随着蛋白质质量浓度的增加而不断增大, 但在 50~65mg/mL 范围内所形成凝胶的弹性差异不显著($P > 0.05$), 其他不同蛋白质质量浓度间的凝胶弹性差异性显著($P < 0.05$); 在蛋白质质量浓度为 65~135mg/mL 范围内, 蛋黄热诱导凝胶的弹性随着蛋白质质量浓度的增加而不断增大, 75mg/mL 和 85mg/mL, 以及 105、115mg/mL 和 125mg/mL 蛋白质质量浓度之间, 蛋黄热诱导凝胶的弹性差异不显著($P > 0.05$), 其他蛋白质质量浓度所形成蛋黄热诱导凝胶的弹性差异性显著($P < 0.05$); 在蛋白质质量浓度为 55~135mg/mL 范围内, 全蛋热诱导凝胶的弹性随着蛋白质质量浓度的升高呈现先增加而后减小的趋势, 在蛋白质质量浓度为 75mg/mL 和 85mg/mL,

95~125mg/mL 时, 全蛋热诱导凝胶的弹性差异性不显著($P > 0.05$), 其他蛋白质质量浓度全蛋热诱导凝胶的弹性差异性显著($P < 0.05$)。

综合结果分析, 由于蛋清蛋白热变性和凝集过程中起主要作用是分子间的 β -折叠结构^[15], 所以随着蛋清中卵清蛋白质量浓度的增加, 蛋白质分子间疏水相互作用增加, 卵清蛋白形成大分子质量的凝集体, 分子间 β -折叠结构所产生的交联也增加, 形成的网络结构也更为致密和紧凑, 而使得蛋清凝胶弹性的不断增大。尽管人们对蛋黄凝胶进行了显微镜观察和质构方面的研究, 但是有关蛋黄蛋白质热诱导凝胶的情况仍然所知甚少。蛋黄与全蛋蛋白质热诱导凝胶弹性随蛋白质质量浓度的变化还没有相关明确的解释。全蛋蛋白质热诱导凝胶的弹性变化趋势可能是由于蛋清蛋白和蛋黄蛋白在凝胶形成的过程中发生相互作用与反应的结果, 从而使得凝胶弹性的变化有异于单纯的蛋清或蛋黄凝胶。

2.2 蛋白质质量浓度对蛋清、蛋黄和全蛋凝胶保水性与蒸煮损失的影响

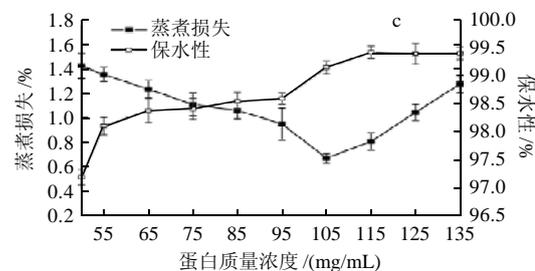
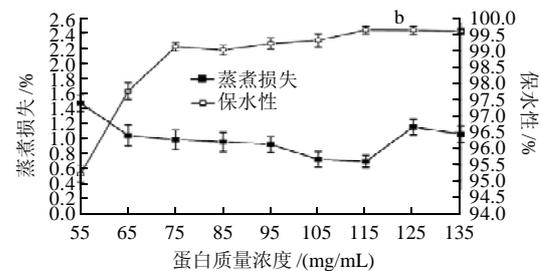
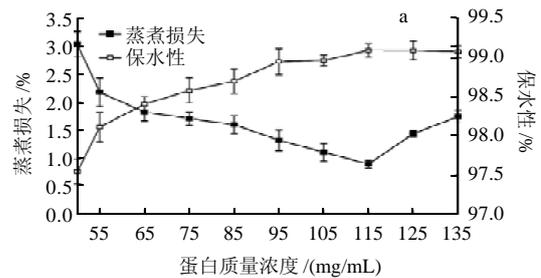


图 3 蛋白质质量浓度对蛋清(a)、蛋黄(b)和全蛋(c)热诱导凝胶蒸煮损失和保水性的影响

Fig.3 Effect of protein concentration on cooking loss and water-holding capacity of heat-induced gels from egg white (a), egg yolk (b) and whole egg (c)

由图 3a 可见, 蛋清的蛋白质量浓度达到 115mg/mL 时热诱导凝胶的蒸煮损失最小, 保水性最好; 蛋清的蛋白质量浓度在 50~65mg/mL 范围内凝胶保水性增加幅度较大, 随后保水性的增加幅度减小; 在蛋清的蛋白质量浓度大于 115mg/mL 时, 凝胶的蒸煮损失又呈现上升趋势, 保水性随蛋白质量浓度的增加变化不明显。由图 3b 可见, 蛋黄的蛋白质量浓度达到 115mg/mL 时凝胶的蒸煮损失最小, 保水性最好; 蛋黄的蛋白质量浓度 55~75mg/mL 在范围内的凝胶保水性增加幅度较大, 随后保水性的增加幅度减小, 105~135mg/mL 的保水性变化不大。由图 3c 可见, 全蛋蛋白凝胶蒸煮损失与保水性的变化趋势与蛋清、蛋黄凝胶的大致相同, 但是其在蛋白质量浓度为 105mg/mL 时的蒸煮损失最小, 115mg/mL 时的保水性最好。

由图 3 可知, 在形成热诱导凝胶的蛋白质量浓度范围内, 随着蛋白质量浓度的增加蛋清、蛋黄和全蛋蛋白热诱导凝胶的蒸煮损失均呈现先减小后增加的趋势, 保水性均呈现先增加后逐渐平稳的趋势。相同蛋白质量浓度的蛋清蛋白凝胶的蒸煮损失要明显高于蛋黄蛋白凝胶, 这与蛋清和蛋黄中参与热诱导凝胶形成的主要蛋白质性质有关。同时蛋清蛋白热诱导凝胶的保水性低于同蛋白质量浓度蛋黄蛋白的热诱导凝胶, 因为在 pH4~9 范围内, 蛋黄的低密度脂蛋白凝胶比蛋清的卵清蛋白凝胶更为稳定^[16]。全蛋蛋白热诱导凝胶的蒸煮损失和保水性与蛋黄凝胶相近, 这说明蛋清和蛋黄蛋白结合后, 两者的蛋白质分子间发生相互作用促进了凝胶网络结构的形成, 从而增加了网络结构的稳定性, 使得凝胶性能得到改善。

3 结 论

本实验中在 pH9 时, 蛋清和全蛋形成热诱导凝胶的最低蛋白质量浓度为 50mg/mL, 蛋黄为 55mg/mL; 蛋白质量浓度对蛋清、蛋黄和全蛋热诱导凝胶的蒸煮损失、保水性、凝胶强度和弹性均有明显的影响。蛋清、蛋黄与全蛋蛋白热诱导凝胶的凝胶强度均随蛋白质量浓度的增加而不断增大; 蛋清、蛋黄凝胶弹性随蛋白质量浓度的增加不断增大, 全蛋蛋白凝胶的弹性则是先增大后减小(125mg/mL 时最大); 凝胶的蒸煮损失均呈现先下降后上升趋势, 且蛋清与蛋黄在蛋白质量浓度为 115mg/mL 时蒸煮损失最小, 全蛋液在 105mg/mL 时最小; 凝胶保水

性随蛋白质量浓度的增加不断增大, 蛋清、蛋黄和全蛋热诱导凝胶的保水性均在 115mg/mL 时达到最大, 而后到达平台期。通过本研究表明, 在应用蛋清、蛋黄和全蛋蛋白凝胶特性的食品加工过程中要充分考虑蛋白质量浓度的影响。

参 考 文 献:

- [1] RAIKOS V, CAMPBELL L, EUSTON S R. Rheology and texture of hen's egg protein heat-set gels as affected by pH and the addition of sugar and/or salt[J]. *Food Hydrocolloids*, 2007, 21(2): 237-244.
- [2] CLARK A H, KAVANAGH G M, ROSS-MURPHY S B. Globular protein gelation: theory and experiment[J]. *Food Hydrocolloids*, 2001, 15(4/6): 383-400.
- [3] KIOSSEOGLOU V. Egg yolk protein gels and emulsions[J]. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 2003, 8(4): 365-370.
- [4] AKIHIRO H, KEIKO T, NAMIO K, et al. Heat-induced egg white gels as affected by pH[J]. *Food Science*, 1998, 63(3): 403-407.
- [5] KITABATAKE N, SHIMIZU A, DOI E. Preparation of heat-induced transparent gels from egg white by the control of pH and ionic strength of the medium[J]. *Journal of Food Science*, 1988, 53(4): 1091-1095.
- [6] CROGUENNEC T, NAU F, BRULE G. Influence of pH and salts on egg white gelation[J]. *Journal of Food Science*, 2002, 67(2): 608-614.
- [7] RICH L M, FOEGEDING E A. Effects of sugars on whey protein isolate gelation[J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2000, 48(10): 5046-5052.
- [8] POLIGNÉ I, COLLIGN A, TRYSTRAM G. Processing smoked pork belly by immersion in a complex solution at high temperature[J]. *Journal of Food Engineering*, 2005, 66(2): 155-169.
- [9] CORZO O, BRACHO N. Osmotic dehydration kinetics of sardine sheets using Zugarramurdi and Lupin model[J]. *Journal of Food Engineering*, 2005, 66(1): 51-56.
- [10] WOODWARD S A, COTTERILL O. Texture and microstructure of cooked whole egg yolks and heat-formed gels of stirred egg yolk[J]. *Journal of Food Science*, 1987, 52(1): 63-67.
- [11] WOODWARD S A, COTTERILL O. Texture profile analysis, expressed serum, and microstructure of heat-formed egg yolk gels[J]. *Journal of Food Science*, 1987, 52(1): 68-74.
- [12] 余冰宾. 生物化学实验指导[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2010: 132-133.
- [13] FOEGEDING E A. Functional properties of Turkey salt-soluble protein [J]. *Journal of Food Science*, 1987, 52(6): 1495-1498.
- [14] YOSHINORI M. Effect of dry heat and mild alkaline treatment on functional properties of egg white proteins[J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 1997, 45(8): 2924-2928.
- [15] YOSHINORI M. Effect of pH during the dry heating on the gelling properties of egg white proteins[J]. *Food Research International*, 1996, 29(2): 155-161.
- [16] NAKAMURA R, FUKANO T, TANIGUCHI M. Heat-induced gelation of hen's egg yolk low density lipoprotein(LDL) dispersion[J]. *Journal of Food Science*, 1982, 47(5): 1449-1453.