

蛋清蛋黄混合蛋液的功能性质及其在烘焙制品中的研究

徐珍珍¹, 苏宇杰¹, 乔立文², 饶胜其³, 徐莎莎⁴, 杨严峻^{1,*}

(1. 江南大学食品学院, 江南大学食品科学与工程国家重点实验室, 江苏无锡 214122;

2. 华瑞制药有限公司, 江苏无锡 214092;

3. 扬州大学食品科学与工程学院, 江苏扬州 225127;

4. 山东师范大学管理科学与工程学院, 山东济南 250116)

摘要:通过测定溶解度和起泡性、乳化性、凝胶性等, 来探讨蛋清蛋黄不同比例的混合蛋液的功能性质的差异, 并研究其在简化的烘焙制品中的变化。结果表明随着蛋黄含量的增加, 蛋白质溶解度下降, 乳化性逐渐提高, 起泡性先下降后升高, 凝胶的各指标表现出不同的变化趋势, 烘焙后样品也相应地表现出不同的质构。在此烘焙制品中, 当蛋黄含量低于25%时, 样品较硬却有弹性; 蛋黄含量增加, 样品组织变得均匀; 但是当蛋黄含量超过70%时, 样品黏聚性低, 较为松散。本实验结果可以为天使蛋糕、海绵蛋糕、重油蛋糕、蛋奶酥和酥性饼干等烘焙制品的配方改善提高依据。

关键词:混合蛋液, 泡沫性质, 乳化性质, 凝胶性质

Functional properties of reconstituted egg liquid and its application in a baking product

XU Zhen-zhen¹, SU Yu-jie¹, QIAO Li-wen², RAO Sheng-qi³, XU Sha-sha⁴, YAN Yan-jun^{1,*}

(1. The State Key labtory of Food Science and Technology, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Sino-Swed Pharmaceutical Co., Ltd., Wuxi 214092, China;

3. School of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China;

4. School of Management Science and Engineering, Shandong Normal University, Jinan 250116, China)

Abstract: The aim of this paper was to study the functional properties of reconstituted egg liquid and its application on the simplified protein-saccharide system. The differences were detected through solubility, foaming ability, emulsion particle size and gel properties of the compound egg liquid and textures of samples in a baking product. The results showed that protein solubility decreased, as the content of egg yolk increased. And the emulsion particle sizes gradually declined, which meant emulsification improving. However, foam volume at first descended which was followed an increase. Each index of gel showed different trends simultaneously. Among the baking products, when egg yolk content was less than 25%, samples were hard but elastic. With more egg yolk, samples were more homogeneous. However, once egg yolk content was over 70%, samples were loose with low cohesiveness. Base on the results, formula of baking products can be improved such as angel cakes, sponge cakes, pound cakes, soufflé and short biscuit.

Key words: reconstituted egg; foaming property; emulsifying property; gel property

中图分类号: TS253.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2013)17-0130-05

鸡蛋营养价值高, 功能性质突出, 是一种重要的食品原料, 它在快餐食品、糕点、面包与糖果等食品加工中具有重要的应用, 鸡蛋蛋白质对其功能性质具有重要影响, 同时可以改善产品的色、香、味及提

高其营养价值。鸡蛋加工成液态蛋, 使用更加安全、方便, 在食品工业中应用更加广泛^[1]。蛋黄液具有很好的乳化性, 蛋清液则具有良好的起泡性、凝胶性, 而全蛋液兼有两者的功能性质, 这对其在食品体系中的应用相当重要。全蛋液中的蛋黄成分与蛋清成分质量比例约为1:2^[2], 两者共同提供各自的功能性质, 同时又相互影响彼此的功能性质^[3], 这主要是蛋液中的蛋白质对其功能性质与应用起到重要的作用^[4]。蛋液的起泡性影响着食品结构的膨松程度, 凝

收稿日期: 2013-01-22 * 通讯联系人

作者简介: 徐珍珍(1988-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品生物技术。

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(JUSRPI1222); 江苏省高校自然科学研究面上项目(12KJD550007)。

胶性质则影响最终产品的外形与质构,而蛋液的乳化性质则对产品的口感改善及内部结构有着很重要的影响^[5]。因此将蛋清液与蛋黄液按照不同于全蛋液的比例(蛋黄含量约为30%)进行混合,其功能性质会发生变化,同时也会影响到其在食品中的应用。蛋液广泛应用于烘焙制品中,在此基础上,本文采用一种由蛋液、淀粉与蔗糖简化组成的烘焙制品配方,旨在研究混合蛋液在烘焙制品中应用的变化,为工业生产与应用提供理论指导,促进液态蛋加工业的生产与发展。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜鸡蛋 安徽荣达禽业开发有限公司;福临门一级葵花籽油、蔗糖、低筋粉 市售;牛血清白蛋白 国药集团化学试剂有限公司;其余试剂均为国产分析纯。

T-25 高速乳化机 德国 IKA 公司;烘焙相关设备 江南大学烘焙实验室;激光粒径仪 美国 Microtrac 公司;物性测试仪 英国 SMS 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 混合蛋液的制备 用分蛋器分蛋,除去系带,在较低转速下搅拌均匀蛋清液,蛋黄除去蛋黄膜,搅拌均匀得到蛋黄液。将两者按照不同的比例进行混合搅拌,得到混合蛋液。

1.2.2 溶解度的测定 采用 Folin-酚方法测定蛋白质的含量及溶解度。蛋液用 0.5mol/L 的 NaCl 溶液稀释至 5mg/mL,测定总蛋白质含量,另取 20mL 同样浓度的水溶液,10000 × g,10℃ 下冷冻离心 15min,测上清液中蛋白质含量^[6-7]。取 1mL 样品于试管中,加入 2mL 1mol/L 的氢氧化钠,混匀,反应 15min;然后加入 2mL Folin-酚试剂(与超纯水 1:1 稀释)并立刻混匀,25℃ 水浴保温 45min,以超纯水为空白,560nm 下测定吸光值。每个样品测三次平行取平均值,以牛血清白蛋白为标准蛋白质制作标准曲线。溶解度计算公式如下:

蛋白质溶解度(%) = 上清蛋白质含量(mg) / 总蛋白质含量(mg) × 100 式(1)

1.2.3 起泡性质的测定 参照 Hammershøj 等介绍的方法^[8]。取 100mL 10% (m/v) 蛋液稀释液,16000r/min 转速下搅拌 1min。记录均质停止时和停止 30min 后泡沫体积与液体体积,起泡力与泡沫稳定性分别用 OR 与 FS 表示,计算公式如下:

$$\text{起泡性(OR)} = V_{f_0} / V_{l_i} \quad \text{式(2)}$$

$$\text{泡沫稳定性(FS)} = V_{f_{30}} / V_{f_0} \quad \text{式(3)}$$

式(2)、式(3)中: V_{f_0} - 零时刻时泡沫的体积(mL); V_{l_i} - 初始阶段的液体体积(100mL); $V_{f_{30}}$ - 静置 30min 后的泡沫体积。

1.2.4 乳化性质的测定 蛋液用 0.5mol/L 的氯化钠溶液稀释至 2% (w/v),取 24mL 稀释液与 16mL 一级葵花籽油于离心管中,16000r/min 均质 1min 制得乳化液,吸取 20μL 分散至 6mL 0.1% (w/v) 的 SDS 溶液,测定粒径分布,采用平均粒径分布来评价乳化性质^[9]。

1.2.5 凝胶的制备及性质的测定 取蛋液 20g 于 25mL 的烧杯中,封口扎紧,置于 90℃ 水浴中加热 30min,取出后立即放入冰水中冷却 10~20min,4℃ 下保存 24h,恢复至室温后,切成直径 2.5cm × 高 1cm 的圆柱体,TPA 模式测定全质构,测定条件:采用 P25 探头,测试前速 5.0mm/s,测试速度 1.0mm/s,测试后速 5.0mm/s,形变量 30%,得到硬度、弹性、黏聚性、咀嚼性、回复性等参数^[10]。

1.2.6 烘焙制品的配方与工艺 简化的配方为:蛋液 200g、低筋面粉 100g、绵白糖 100g;制作工艺为:蛋液、蔗糖→搅拌溶解打发→面粉过筛→调糊→入模→烘烤→冷却→脱模→成品;焙烤条件为:烤箱预热至上火 190℃、下火 165℃,放入烤盘,烘烤 20min。

1.2.7 蛋糊比容与烘焙应用样品比容的测定 分别对蛋液打发后的蛋糊与焙烤后的应用样品进行取样,测定重量并量取体积,蛋糊用量杯测量体积,应用样品用油菜籽替代法测体积,计算比容公式如下:

$$\text{比容(mL/g)} = \frac{\text{体积(mL)}}{\text{质量(g)}} \quad \text{式(4)}$$

1.2.8 样品的质构测定 将上述烘焙样品切成 2cm × 2cm × 1cm 的长方体,测定全质构,测定条件:采用 P35 探头,测试前速 5.0mm/s,测试速度 1.0mm/s,测试后速 5.0mm/s,压缩形变 30%,得到全质构等参数。

2 结果与讨论

2.1 混合蛋液的蛋白质溶解度

一般认为溶解度大的蛋白质,才能表现出良好的功能性质。如图 1,蛋清液(0%)、蛋黄液(100%)及全蛋液(30%)的蛋白质溶解度分别为 87%、23% 和 81%,这与 Machado 等人^[11]及 Sousa 等人^[12]的结果接近,其显著性差异($p < 0.05$),主要来自蛋清与蛋黄的蛋白质的种类与溶解度。蛋清中的蛋白质,除了卵黏蛋白,基本都是水溶性的蛋白质。蛋黄中的蛋白质主要是跟脂质结合在一起,这使得蛋黄中蛋白质的溶解度较低,水溶性的是部分低密度脂蛋白(LDL)、卵黄高磷蛋白及卵黄球蛋白等,而高密度脂蛋白(HDL)则与 LDL 会共沉淀,或与卵黄高磷蛋白通过钙磷桥形成不溶解的复合物,从而对溶解度贡献较少^[13]。

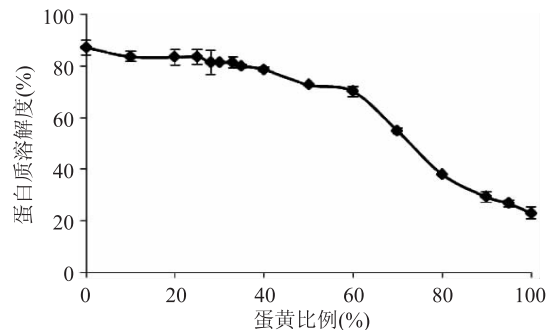


图1 混合蛋液的蛋白质溶解度

Fig.1 protein solubility of reconstituted egg liquid

2.2 混合蛋液的起泡性

蛋液的泡沫性质是蛋液的一个非常重要的应

用,主要是为食品体系提供一个蓬松的海绵状结构,使得外形与质构更加符合消费者的爱好。影响泡沫性质的主要是蛋清蛋白质,尤其是球蛋白与卵黏蛋白对泡沫性质影响较大^[14]。

图2中,蛋清液的起泡性最好,高于全蛋液,加入较少的蛋黄之后,起泡性出现显著性的下降。这主要是由于蛋黄中的脂质含量较高,其所含的脂蛋白尤其是LDL更容易降低表面张力,抑制蛋清蛋白在界面的吸附^[3],使得蛋液起泡能力明显下降($p < 0.05$)。

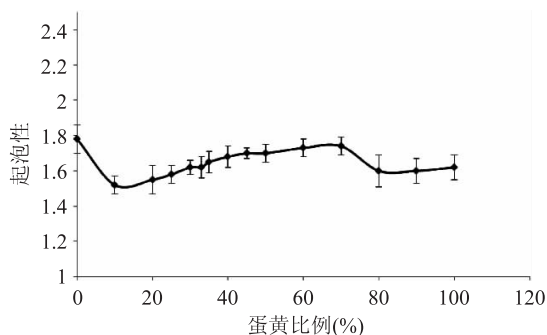


图2 不同混合蛋液的起泡性
Fig.2 foaming ability of egg solutions

需要注意的是,当蛋黄含量不断增加时,蛋液的起泡性质逐渐恢复,这也是全蛋液泡沫性质的应用基础。这可能是由于蛋液中蛋白质的总量增加,吸附在泡沫薄膜上的总量也有所增加。另一方面,蛋清液、全蛋液及蛋黄液的pH分别为9.5、7.9、6.6,随着蛋黄含量增加,蛋液的pH逐渐降低,HDL及LDL的聚合程度增加,使其与蛋清蛋白的竞争性吸附减少,从而使起泡性上升^[1]。但当蛋黄的含量较高时,蛋液中的脂质与蛋白质、水分以及拌入的空气会形成一种乳状液(油-水-空气),在这样乳化与泡沫共存的体系中,不能单纯的考虑其起泡性。

2.3 混合蛋液的泡沫稳定性

图3是混合蛋液的泡沫稳定性,变化规律不是很明显,但是可以看出,蛋清的泡沫稳定性较低,这是由于泡沫中大泡的比例相对较高,这使得气泡的再分布加快,稳定性降低。蛋黄为10%~20%时,泡沫稳定性显著性增加,这可能是由于油脂的竞争性吸附虽然降低了起泡性,却从一定程度上增加了泡沫的稳定性;另一方面,pH > 8,即大于全蛋液的pH,吸附的大部分蛋白质偏离等电点,静电作用使泡沫的稳定性增加^[10],略高于全蛋液。随着蛋黄含量的增加,静电作用减小,同时脂类存在的薄膜缺乏粘聚性与粘弹性,泡沫稳定性降低。蛋黄含量超过80%时,是一种类似乳化与泡沫共存的状态,上层的气泡体积较小,底部的溶液也呈现出比较均匀的乳状液状态,故整体的稳定性较好。

2.4 混合蛋液的乳化性

图4中,随着蛋黄含量的增加,乳化液的粒径逐渐减小,乳化性质提高。蛋清的乳化性质较差,乳状液的粒径甚至达到蛋黄乳状液的3倍,而全蛋液由于含有约为30%的蛋黄,则乳化液粒径介于两者之

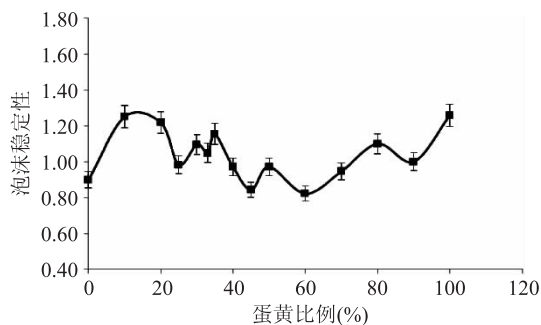


图3 混合蛋液的泡沫稳定性

Fig.3 foaming stability of egg solutions

间,但明显低于蛋清液($p < 0.05$),与蛋黄液比较接近。在0%~10%之间,粒径下降较大,这进一步表明蛋清与蛋黄的乳化性差距较大。

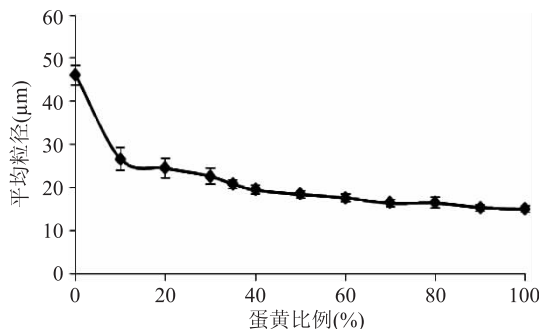


图4 混合蛋液制备乳化液的粒径

Fig.4 Median droplet diameter of egg emulsions

而蛋黄的乳状性质极好,这也是蛋黄作为乳化剂广泛应用的基础^[15]。蛋黄中虽然含有较多的卵磷脂与脑磷脂等乳化作用明显的物质,但目前研究多认为是LDL与HDL等脂蛋白是乳化性质的关键因素^[16]。

2.5 混合蛋液的热固凝胶性质

鸡蛋加热形成凝胶,主要是蛋白质对凝胶网络结构的形成起到关键作用,尤其是卵转铁蛋白的变性温度为61℃。表1为混合蛋液热固凝胶的质构分析,随着蛋黄的增加,凝胶硬度稍稍下降,而后又逐渐升高,在全蛋液附近,即25%~35%之间为硬度相对较低的范围,咀嚼性也表现出了相同的趋势。弹性整体保持逐渐下降的趋势,但是在高蛋黄含量时,其值反而有提高。黏聚性与回复性略有下降但变化趋势并不明显。

蛋清及含有少量蛋黄的蛋液,pH偏离蛋白质等电点,蛋白质分子间的静电排斥力增强从而使凝胶性质相对较好^[17]。在全蛋液附近(25%~35%),pH降至7.8~7.4,蛋黄中HDL与卵黄高磷蛋白逐渐以聚合物形式开始存在,形成的凝胶可能会出现大的聚集物,凝胶状况相对较差。但是当蛋黄含量大幅增加时,由于蛋黄中蛋白质的变性温度相对要高,变性延迟,凝胶过程缓慢进行,疏水作用、二硫键等作用使得凝胶更加致密,内部结构更加均匀^[18-19]。

2.6 烘焙样品的蛋糊比容与样品比容

从图5中可以看出蛋糊的比容与蛋液的起泡性呈现出大致相同的趋势,但是最高点不相同,这可能

是由于不同的蛋白质含量及蔗糖的添加,使得蛋黄含量增加所引起的起泡性的恢复程度减小。

表1 混合蛋液热固凝胶性质的质构分析
Table 1 TPA analysis of heat-induced egg gel

蛋黄比例 (%)	硬度 (g)	弹性	黏聚性	咀嚼性 (g)	回复性
0	1632 ^a	0.972 ^a	0.921 ^a	1460 ^a	0.543 ^a
10	1779 ^b	0.957 ^b	0.894 ^b	1523 ^b	0.462 ^b
20	1771 ^b	0.952 ^b	0.895 ^b	1508 ^c	0.444 ^c
25	1577 ^c	0.954 ^b	0.894 ^b	1344 ^d	0.458 ^b
30	1644 ^a	0.895 ^c	0.893 ^b	1326 ^d	0.484 ^d
33	1701 ^d	0.943 ^d	0.891 ^b	1726 ^c	0.465 ^b
35	1645 ^a	0.953 ^b	0.903 ^b	1414 ^d	0.483 ^d
40	1997 ^e	0.961 ^b	0.890 ^b	1708 ^e	0.466 ^b
45	2180 ^e	0.940 ^d	0.896 ^b	1842 ^f	0.483 ^d
50	2838 ^f	0.943 ^d	0.879 ^c	2358 ^g	0.454 ^b
60	2789 ^f	0.937 ^d	0.895 ^b	2338 ^g	0.480 ^d
70	3136 ^g	0.927 ^e	0.899 ^b	2615 ^g	0.497 ^e
80	3730 ^h	0.977 ^a	0.894 ^b	3256 ^h	0.453 ^c
90	3865 ^h	0.974 ^a	0.892 ^b	3357 ^h	0.446 ^c
100	4217 ⁱ	0.946 ^d	0.875 ^c	3487 ^h	0.411 ^f

注:同列中不同小写字母表示显著性差异($p < 0.05$),表2同。

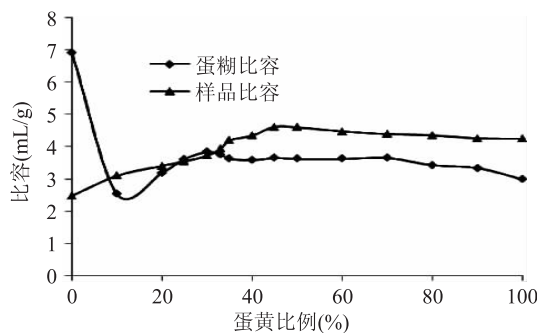


图5 混合蛋液的蛋糊比容与烘焙样品比容

Fig.5 specific volume of foam, paste and baking products

虽然蛋清的打发性能非常突出,但是其样品的比容则显得不尽理想,这与蛋清的泡沫稳定性较差有关,面粉使得蛋液泡沫坍塌较大,即使烘焙后也无法得到恢复。而加入10%的蛋黄后,由于起泡性受到蛋黄相当大的限制,烘焙后也不能表现出令人满意的比容。随着蛋黄继续增加,在高于全蛋液比例的33%~50%时比容逐渐恢复,这可能是由于蛋黄增加使得蛋液的固形物含量增加,增加粘度的同时,使整个泡沫乳化体系更加稳定。而蛋黄含量超过70%后,比容有所下降,这可能是由于粘度进一步增加,空气进入到蛋液中并被打散成小泡沫的效率降低,从而影响到起泡性及样品比容。

2.7 烘焙样品的质构

鸡蛋在烘焙制品中应用比较广泛,蛋糕类产品中鸡蛋的含量较高。天使蛋糕使用蛋清液,海绵蛋糕和重油蛋糕使用全蛋液,蛋黄液则应用在蛋奶酥和饼干中。汪磊等人^[20]研究认为硬度和咀嚼性与蛋糕的口感成反比,弹性、回复性和黏聚性与蛋糕品质

成正相关。烘焙制品是一个复杂体系,蛋液的泡沫性质、乳化性质、加热凝固等功能性质都会影响到样品的最终质构。表2为烘焙后样品的全质构分析,由于样品经烘焙之后,水分蒸发,内部变得蓬松,所以其硬度和咀嚼性要比蛋液热固凝胶(表1)要低很多,但是两者的变化趋势比较接近。

蛋清的泡沫稳定性较差,加入面粉后泡沫坍塌严重,使得样品硬度较高,但是蛋清凝胶较好的弹性与回复性也使得样品得到相对较好的弹性与回复性,这也使得蛋清含量较高的样品吃起来更加清爽滋润有弹性。逐渐增加蛋黄,虽然会在一定程度上降低起泡性质,但由于乳化作用的增加,样品的口感变得绵软爽口,这可以为天使蛋糕的改善提供指导。而蛋黄比例在30%~45%之间,样品的内部结构比较均匀细腻,弹性与黏聚性较好,口感也更加柔软爽口,这为海绵蛋糕的配方确定提供更加多的选择。但是当蛋黄含量较高时,粘度的增加,乳化作用逐渐取代起泡性成为主要作用,使得应用样品从一个以蓬松泡沫为主的海绵结构逐渐转变为以乳化为为主的乳化泡沫体系,因此更接近重油蛋糕的厚重口感。蛋黄含量超过70%后,各项指标变得相对不易被接受,而且内部的结构也表现为大小不均匀,黏聚性低,回复性较差,较为松散,同时口感也较干,口腔内部成团性较差,这可以为蛋奶酥和酥性饼干的制作提供一些思路。

表2 烘焙样品的质构

Table 2 texture of baking products

蛋黄比例 (%)	硬度 (g)	弹性	黏聚性	咀嚼性 (g)	回复性
0	533.5 ^a	0.963 ^a	0.862 ^a	442.6 ^a	0.507 ^a
10	190.7 ^b	0.970 ^a	0.890 ^b	164.0 ^b	0.495 ^a
20	145.6 ^c	0.968 ^a	0.884 ^b	124.1 ^c	0.470 ^b
25	127.9 ^d	0.956 ^a	0.864 ^a	125.0 ^c	0.444 ^c
30	109.3 ^e	0.940 ^b	0.858 ^a	97.1 ^d	0.433 ^c
33	103.0 ^{ef}	0.974 ^a	0.857 ^a	86.0 ^e	0.428 ^c
35	98.7 ^f	0.951 ^b	0.857 ^a	82.4 ^e	0.419 ^d
40	94.0 ^f	0.923 ^c	0.847 ^c	76.7 ^e	0.419 ^d
45	108.4 ^e	0.946 ^b	0.856 ^a	95.2 ^d	0.417 ^d
50	128.8 ^d	0.955 ^a	0.830 ^d	108.3 ^e	0.383 ^e
60	144.3 ^c	0.941 ^b	0.838 ^d	117.5 ^e	0.388 ^e
70	154.1 ^c	0.923 ^c	0.807 ^e	114.8 ^e	0.356 ^f
80	173.5 ^e	0.923 ^c	0.789 ^f	126.0 ^e	0.347 ^f
90	204.9 ^b	0.900 ^d	0.782 ^f	144.1 ^b	0.321 ^g
100	253.0 ^g	0.879 ^e	0.771 ^f	171.5 ^b	0.291 ^h

3 结论

随着蛋黄含量的增加,蛋白质溶解度保持下降的趋势,起泡性先下降后升高,泡沫稳定性则没有明显的规律,乳化液粒径逐渐下降,乳化性逐渐提高,热固凝胶的硬度与黏聚性稍稍下降,而后又逐渐升高,其他指标则出现下降的趋势。蛋黄含量小于25%时,烘焙样品的比容较小,硬度较大,却有弹性;在33%~50%时,样品比容较大,组织均匀,弹性与黏聚性较好,柔软细腻;而超过70%时,样品结构不均

匀,黏聚性低,回复性较差,较为松散。本实验结果可以为天使蛋糕、海绵蛋糕、重油蛋糕、蛋奶酥和酥性饼干等烘焙制品的配方改善提高依据。

参考文献

[1] 乔立文,杨新宇,杨严峻.热处理对于鸡蛋全蛋液功能性质的影响[J].食品工业科技,2011,32(11):134-137.

[2] Stadelman W J, O J Cotterill. Egg science and technology [M]. New York: Food Products Press, 1995.

[3] Rossi M, Hidalgo Vidal, F Clerici. Whole egg whipping properties as affected by albumen and yolk fraction changes [A]. Mediterranean summit of WPSA: advances and challenges in poultry science: book of proceedings [C]: Porto Carras, 2008, 229-233.

[4] Van der Plancken I, A Van Loey, M E Hendrickx. Foaming properties of egg white proteins affected by heat or high pressure treatment [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78 (4): 1410-1426.

[5] Vaclavik V A, E W Christian. Essentials of Food Science [M]. New York: Springer, 2008.

[6] M Le Denmat, G Gandemer. Protein Denaturation and Emulsifying Properties of Plasma and Granules of Egg Yolk as Related to Heat Treatment [J]. Journal of Food Science, 1999, 64 (2): 194-197.

[7] Anton M, G Gandemer. Effect of pH on interface composition and on quality of oil-in-water emulsions made with hen egg yolk [J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 1999, 12 (3-6): 351-358.

[8] Hammershøj M, K B Qvist. Research Note: Importance of Hen Age and Egg Storage Time for Egg Albumen Foaming [J]. LWT-Food Science and Technology, 2001, 34(2): 118-120.

[9] Daimer K, U Kulozik. Impact of a thermal treatment at different pH on the adsorption behaviour of untreated and enzyme-modified egg yolk at the oil-water interface [J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2010, 75(1): 19-24.

[10] Chang Y I, Chen T C. Functional and gel characteristics of liquid whole egg as affected by pH alteration [J]. Journal of Food Engineering, 2000, 45(4): 237-241.

[11] Ferreira Machado, Coimbra Jane, Garcia Rojas, et al. Solubility and density of egg white proteins: Effect of pH and saline concentration [J]. LWT - Food Science and Technology, 2007, 40(7): 1304-1307.

[12] Sousa R, Coimbra Jane, Garcia Rojas, et al. Effect of pH and salt concentration on the solubility and density of egg yolk and plasma egg yolk. LWT - Food Science and Technology, 2007, 40(7): 1253-1258.

[13] Anton M, G Gandemer. Composition, Solubility and Emulsifying Properties of Granules and Plasma of Egg Yolk [J]. Journal of Food Science, 1997, 62(3): 484-487.

[14] Kateryna L, Kamila MÍKOVÁ. A study of the Factors Affecting the Foaming Properties of Egg White - a review [J]. Czech J Food Sci, 2006, 24: 110-118.

[15] Guilmineau F, U Kulozik. Influence of a thermal treatment on the functionality of hen's egg yolk in mayonnaise [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(2): 648-654.

[16] Anton M, M L Denmat, G Gandemer. Thermostability of Hen Egg Yolk Granules: Contribution of Native Structure of Granules [J]. Journal of Food Science, 2000, 65(4): 581-584.

[17] Chang Y I, Chen T C. Functional and gel characteristics of liquid whole egg as affected by pH alteration [J]. Journal of Food Engineering, 2000, 45(4): 237-241.

[18] Kiosseoglou V, A Paraskevopoulou. Molecular interactions in gels prepared with egg yolk and its fractions [J]. Food Hydrocolloids, 2005, 19(3): 527-532.

[19] Kalkani A, A Paraskevopoulou, V Kiosseoglou. Protein interactions and filler effects in heat-set gels based on egg [J]. Food Hydrocolloids, 2007, 21(2): 191-197.

[20] 汪磊,周坚,孙启发,等.蛋糕预混合粉中粉末油脂添加的研究及SPSS软件在蛋糕品质分析中的应用[J].粮食与食品工业, 2009, 16(3): 22-25.

(上接第129页)

characteristics of apricot kernels during soaking [J]. Journal of Food Process Engineering, 2008, 31(5): 711-720.

[7] Angela R. Piergiovanni. Kinetic of water adsorption in common bean: considerations on the suitability of Peleg's model for describing bean hydration [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2011, 35(4): 447-452.

[8] Kaptsoa K G, Njintangb Y N, A E Komneka, et al. Physical properties and rehydration kinetics of two varieties of cowpea (Vigna unguiculata) and bambara groundnuts (Voandzeia subterranea) seeds [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 86(1): 91-99.

[9] Mahir Turhan, Sedat Sayara, Sundaram Gunasekaranb. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking [J]. Journal of Food Engineering, 2002, 53(2): 153-159.

[10] Andrea N. Calzetta Resioa, Roberto J. Aguerreb and Constantino Suareza. Analysis of simultaneous water absorption and

water-starch reaction during soaking of amaranth grain [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 68(2): 265-270.

[11] GB/T 5009.3-2003 食品中水分的测定 [S].

[12] GB/T 5009.9-2008 食品中淀粉的测定 [S].

[13] GB/T 5009.5-2010 食品中蛋白质的测定 [S].

[14] GB/T GB7648-87 食品中直链淀粉的检测 [S].

[15] 刘恬,过世东.影响水产饲料淀粉糊化度的因素 [J]. 饲料研究, 2008, 5(1): 59-61.

[16] Sopade P A, Obekpa J A. Modelling water absorption in soybean, cowpea and peanuts at three temperatures using Peleg's equation [J]. Journal of Food Science, 1990, 55(4): 1084-1087.

[17] Tang J, Sokhansanj S, Sosulski F W. Moisture absorption characteristics of laird lentils and hardshell seeds [J]. Cereal Chemistry, 1994, 71(5): 423-428.

[18] Peleg M. An empirical model for the description of moisture sorption curves [J]. Journal of Food Science, 1988, 53(4): 1216-1219.