

# K<sup>+</sup>型无铅鸡蛋皮蛋加工技术

张献伟, 郭善广, 蒋爱民\*, 李远志  
(华南农业大学食品学院, 广东 广州 510642)

**摘要:**以新鲜鸡蛋为试材, 采用浸泡法加工工艺, 探讨 KOH 对加工鸡蛋皮蛋中蛋清、蛋黄的 pH 值、色泽及 TPA(texture profile analysis)等质量特性的影响及其可能作用机理, 旨在为研发 K<sup>+</sup>型鸡蛋皮蛋提供依据。研究表明, 5.5% KOH 处理的皮蛋, 在感官品质及质构特性方面较为理想。

**关键词:** K<sup>+</sup>无铅皮蛋; 腌制液碱度; 色泽; 质构特性

## Processing Technology of K<sup>+</sup> Type Lead-free Preserved Chicken Eggs

ZHANG Xian-wei, GUO Shan-guang, JIANG Ai-min\*, LI Yuan-zhi  
(College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** Fresh chicken eggs were used to prepare lead-free preserved eggs. The effect and mechanisms of KOH on pH and color of albumen and yolk as well as the texture profile analysis (TPA) of preserved chicken eggs were investigated. The results indicated that adding 5.5% KOH during the pickling process could provide excellent sensory quality and texture properties for preserved chicken eggs. This investigation can provide theoretical guidance for the manufacturing of K<sup>+</sup> type lead-free preserved eggs.

**Key words:** K<sup>+</sup> type lead-free preserved eggs; curing solution alkalinity; color; textural property

中图分类号: TS253.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-6630(2011)14-0350-06

皮蛋是我国加工历史悠久的传统蛋制品, 不仅是我国老百姓喜爱的食品, 也深受国外消费者的青睐, 英国人利兹·泰勒曾著文称“中国的皮蛋可与海参媲美”<sup>[1]</sup>。但我国现生产的皮蛋皆是高钠的 Na<sup>+</sup>型鸭蛋皮蛋, 对 K<sup>+</sup>型鸡蛋皮蛋的加工技术研究较少<sup>[2-6]</sup>。

现代医学证明, 食用过量的钠盐食品会导致膳食中钾、钠摄入量失调, 诱发高血压、水肿等。本实验以鸡蛋为原料, 采用 KOH 替代 NaOH 加工无铅鸡蛋皮蛋, 并探讨皮蛋加工中碱度、色泽及其质构特性的变化规律, 为 K<sup>+</sup>型鸡蛋皮蛋的开发提供理论依据和技术参数。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

鲜鸡蛋、红茶末、食盐(NaCl)均为食品级。

氢氧化钾(KOH)、硫酸铜(CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O)、硫酸锌(ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O)和硫酸亚铁(FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O)、盐酸、氯化钡、酚酞、固体石蜡等均为分析纯。

TA.XT.Plus 型物性测试仪 北京超微仪器科技有限公司; CR-400/410 型色差计 日本柯尼卡-美能达有限

公司; PHS-3 精密 pH 计 上海精密科学仪器有限公司; HPX-III 数显恒温恒湿箱、DHG-III 鼓风干燥箱 上海市新苗医疗器械制造有限公司; JJ300 型电子天平 美国双杰有限公司; IKA 磁力搅拌器 北京安诺科技有限公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 皮蛋加工工艺流程

原料蛋→检验→洗蛋→晾蛋→入缸

↓

水、红茶→煮沸→过滤→配料→冷却→验料→灌料→浸制→定期检查→出缸→涂膜→成品→贮存

#### 1.2.2 皮蛋加工方法

采用塘心皮蛋浸泡法加工工艺, 固定条件: 温度 20~25℃、蛋:料=1:1.5(以水质量计)、红茶质量分数 2.0%、NaCl 质量分数 3.5%、Cu<sup>2+</sup> 质量分数 0.1%、Zn<sup>2+</sup> 质量分数 0.1%、Fe<sup>2+</sup> 质量分数 0.1%, 设置 6 个 KOH 质量分数梯度(表 1), 以不同腌制时期料液质量分数、蛋清和蛋黄中的 pH 值、色泽和 TPA 为考察指标, 结合感官评价, 研究不同 KOH 质量分数对皮蛋品质特性、成熟情况的影响。

收稿日期: 2010-10-16

作者简介: 张献伟(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为禽蛋制品加工、贮藏与质量安全控制。E-mail: zxwonly\_520@163.com

\*通信作者: 蒋爱民(1957—), 男, 教授, 博士, 研究方向为畜禽产品加工与质量安全控制。E-mail: jiangaimin20000@163.com

表1 不同 KOH 质量分数对皮蛋的处理

Table 1 KOH concentrations investigated in this study

组号	1	2	3	4	5	6
KOH 质量分数/%	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0

1.2.3 测定方法

浸泡后每隔 5d 以及出缸前对蛋的成熟进程和浸泡质量进行检查测定, 并定期对料液碱质量分数, 皮蛋内容物 pH 值、色泽与 TPA 等进行检测。

1.2.3.1 料液碱质量分数测定

采用 HCl-BaCl<sub>2</sub> 滴定法<sup>[7]</sup>。

1.2.3.2 皮蛋样品处理方法

由于蛋清和蛋黄的各项指标均有较大差距, 为了准确反映皮蛋内的反应和质量状态, 本实验的测试样品均将蛋清和蛋黄分开处理。

1.2.3.3 皮蛋蛋清与蛋黄 pH 值测定

参照 GB/T 5009.47—2003《蛋与蛋制品卫生标准的分析方法》进行。

1.2.3.4 皮蛋蛋清与蛋黄色泽的测定

采用色差计测定<sup>[8]</sup>。其中 Hunter L 为亮度, 其值 0~100 表示全黑至全白; Hunter a 值由小至大表示绿色至红色; Hunter b 值由小至大表示蓝色至黄色。每一样品取 3 点的平均值, 至少检测 3 个样品。

1.2.3.5 皮蛋蛋清与蛋黄 TPA 的测定<sup>[9-10]</sup>

使用物性测试仪进行测定。每个样品进行两次轴向压缩, 压缩比为 50%, 中间间隔 5s, 测试探头 P/50, 测试前速为 1mm/s, 测试速度为 5mm/s, 测试后速为 5mm/s。每组选取 3 个样品, 每个样品重复测定 3 次, 取平均值。

1.2.3.6 皮蛋的感官评价

表2 鸡蛋皮蛋的感官评分标准

Table 2 Sensory evaluation criteria of preserved chicken eggs

指标	性状	得分
蛋壳(满分10)	蛋壳完整、有裂纹、斑点较多	0~3
	蛋壳完整、无裂纹、表面清洁、斑点较少	4~7
	蛋壳完整、无裂纹、表面清洁、无斑点	8~10
蛋清(满分20)	粘壳、蛋白呈半透明的棕褐色, 弹性较差甚至无弹性	0~6
	不粘壳、蛋白呈半透明的棕褐色, 弹性一般	7~12
	不粘壳、蛋白呈半透明的棕褐色, 弹性较好	13~20
蛋黄(满分30)	外层呈墨绿色、色层不明显、蛋黄溏心直径大于2cm	0~10
	外层呈墨绿色、色层明显、蛋黄溏心直径大于1~2cm	11~20
	外层呈墨绿色、色层明显、蛋黄溏心直径小于1cm	21~30
风味(满分40)	具有皮蛋应有味道、无异味、涩、辛辣味较重	0~13
	具有皮蛋应有味道、无异味、略带辛辣味	14~27
	具有皮蛋应有味道、无异味、不苦、不涩、不辣	28~40

采用综合评分检验法<sup>[11]</sup>, 其评分标准见表 2。各处理所得样品由 10 名实验人员(男女各半)进行感官评定, 然后取其平均值进行统计, 总分是由各指标相加的总和。

2 结果与分析

2.1 不同 KOH 质量分数对皮蛋感官指标的影响

选用不同 KOH 质量分数腌制皮蛋 28d 后出缸, 进行感官指标评分(表 3)。结果表明: 在其他条件一定时, 当 KOH 质量分数小于等于 5.5% 时, 随着腌制碱质量分数减弱, 蛋白凝固性逐渐变差, 蛋黄色层不明显, 弹性变差, 溏心变大, 且碱味变弱, 基本无明显的皮蛋特征味; 当 KOH 质量分数大于等于 5.5% 时, 随着腌制碱质量分数增高, 皮蛋因受到过度碱的作用越易发生“碱伤”, 使凝固的蛋清烂头、粘壳, 弹性变差, 蛋黄固化程度增加, 溏心逐渐变小, 甚至产生硬心, 且碱味变重。当 KOH 质量分数为 5.5% 时, 产品在组织形态、色泽、气味和滋味达到最优, 见图 1, 该结论与黄琼等学者<sup>[12]</sup>研究的结果相一致。

表3 不同 KOH 质量分数对皮蛋感官品质的影响

Table 3 Effect of KOH concentration on sensory quality of preserved chicken eggs

组号	蛋壳评分	蛋清评分	蛋黄评分	风味评分	总分
1	8.50 ± 0.50	5.17 ± 0.29	9.17 ± 0.76	9.43 ± 0.60	32.27 ± 1.27
2	9.33 ± 0.29	5.83 ± 0.29	11.00 ± 1.00	11.00 ± 0.50	37.17 ± 1.61
3	9.17 ± 0.29	6.00 ± 0.50	11.67 ± 0.76	13.50 ± 1.50	40.33 ± 0.76
4	9.77 ± 0.25	13.00 ± 1.00	21.33 ± 1.53	31.00 ± 1.73	75.10 ± 4.40
5	9.93 ± 0.12	19.27 ± 0.64	27.50 ± 2.12	33.67 ± 1.53	90.20 ± 1.64
6	9.43 ± 0.40	14.83 ± 1.26	25.00 ± 2.00	34.33 ± 2.08	83.60 ± 3.38

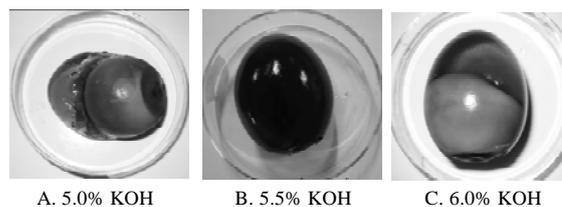


图1 自制腌制 28d 的 K<sup>+</sup> 型鸡蛋皮蛋  
Fig.1 Appearance of home-made K<sup>+</sup> type preserved chicken eggs after pickling for 28 days at various KOH concentrations of 5.0%, 5.5% and 6.0%

2.2 不同 KOH 质量分数腌制过程中料液碱质量分数变化

从浸渍之日起, 每隔 2d 测一次料液碱质量分数的变化, 结果见图 2。可知各组料液 KOH 质量分数变化的趋势基本一致, 浸渍期间总体呈下降曲线。根据 KOH 质量分数的下降速率, 整个皮蛋腌制过程可划为 4 个时期: 速降期(0~8d)、回升期(9~12d)、缓降期(13~20d)

和稳降期(21~28d),该结论与李锡霞<sup>[13]</sup>、汤钦林等<sup>[14]</sup>学者的研究结果基本相一致。KOH质量分数5.5%腌制过程中碱度变化基本符合上述趋势,当浸渍到24~28d后,其料液中KOH质量分数呈现速降变化,抽样感官检查,发现该期间蛋清凝胶强度增加,色泽变深,呈深褐色,蛋黄固化程度加强,色层明显且变色程度深。这可能是料液KOH质量分数的速降一方面增加蛋清中的碱度,促使蛋白变性作用加剧;另一方面提供更多的碱渗透到蛋黄中,加强与游离脂肪酸的皂化作用,提高蛋黄的固化率,缩小溏心,蛋黄在碱的作用下,一部分蛋白质发生水解生成含硫氨基酸,进一步分解产生硫化氢,与蛋黄中的色素结合而呈墨绿色,与铁化合呈硫化铁为墨绿色,与铜结合呈硫化铜为青黑色,致使色变加深<sup>[15-16]</sup>。

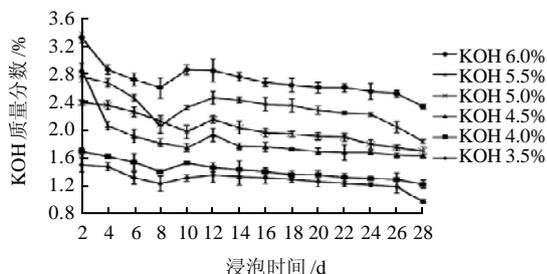


图2 各组料液KOH质量分数的变化

Fig.2 KOH concentration change at different initial concentrations during pickling

2.3 不同KOH质量分数腌制过程中蛋清和蛋黄pH变化  
经测定新鲜鸡蛋蛋清、蛋黄的pH值分别为9.40、6.56。蛋清在浸渍期间pH值变化呈现快速上升→下降→缓慢上升的趋势(图3)。在前8d,各组蛋清的pH值皆呈快速增长,此阶段为“化清期”<sup>[17]</sup>;13~18d,KOH质量分数5.0%~6.0%料液中的蛋清pH值下降,其原因主要是料液中的金属离子与蛋内蛋白质分解产生的 $S^{2-}$ 结合,形成难溶的盐类沉积在蛋壳和壳膜上,使气孔逐渐变小,致使料液的 $OH^-$ 向蛋清渗透的速度小于蛋清 $OH^-$ 向蛋黄的渗透速度<sup>[18]</sup>;蛋黄中的水分通过蛋黄膜进入到蛋清中,使其KOH质量分数下降,pH值降低<sup>[19-20]</sup>。感官检查发现,蛋黄开始呈现淡绿色;进入18d后,各组蛋清pH基本处于稳定增长状态,凝胶强度增加,弹性增强,色泽变深,呈茶色、红褐色至深褐色,蛋清pH值的动态平衡<sup>[21]</sup>。浸渍到28d时,5.0%、5.5%、6.0%KOH料液质量分数浸渍的鸡蛋蛋清pH值分别为11.30、11.16、11.28。

蛋黄在浸渍期间pH值都随着时间延长而逐渐上升(图4)。在前13d蛋黄的pH值迅速升高;进入13d后,

蛋黄在强碱的作用下,开始快速进行皂化反应使蛋黄固化,外层变硬,溏心逐渐缩小;蛋黄颜色由黄色转为绿色、墨绿色,从图4可见,此时,蛋黄的pH值上升缓慢,渗透进来的碱主要用于蛋黄继续进行皂化反应,蛋黄溏心不断变小,形成明显的色层,皮蛋逐渐成熟<sup>[14]</sup>。浸渍到28d时,5.0%、5.5%、6.0%KOH料液质量分数浸渍的鸡蛋蛋黄pH值分别为10.92、11.18、11.42。同时游离脂肪酸和氨基酸含量不断增加,产生多种复杂的风味成分<sup>[6]</sup>。

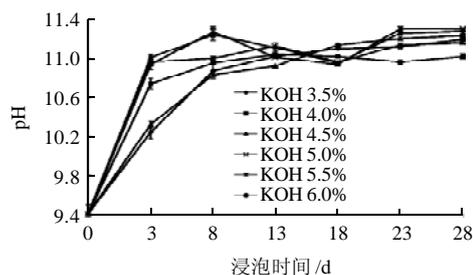


图3 各组鸡蛋蛋清在浸渍期间pH值的变化

Fig.3 pH change of albumen in different groups during pickling

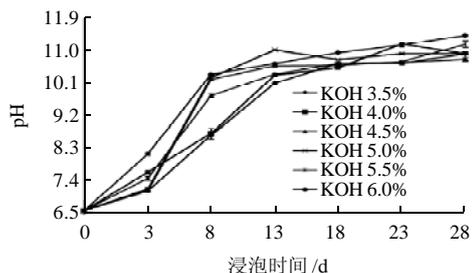


图4 各组鸡蛋蛋黄在浸渍期间pH值的变化

Fig.4 pH change of yolk in different groups during pickling

2.4 不同KOH质量分数腌制过程中蛋清和蛋黄色泽变化

2.4.1 不同KOH质量分数腌制过程中蛋清色泽变化

图5(I)显示各组皮蛋蛋清色泽L值随着浸渍时间延长而呈总体下降,表示蛋清色泽变深,同时蛋白质三维网络状凝胶结构的形成<sup>[5,22-25]</sup>,并且变为半透明或不透明,表示为L值变小。图5(II)所示,在前18d,各组皮蛋蛋清色泽a值随着浸渍时间延长而增大,表示为色泽由黄色逐渐转变为红色、茶色或棕褐色,这是因为蛋清存在的游离态糖在KOH的作用下,其醛基与蛋白质氨基发生变色反应;18~23d,蛋清中部分KOH渗透到蛋黄中,变色反应减弱,表示为a值变小;此后,料液中KOH渗透到蛋清中的速度大于蛋清中KOH往蛋黄转移的速度,使其碱量增高,保证变色反应充分进行,表示为a值增大。图5(III)所示,各组蛋清色泽b值随着浸渍时间延长呈总体下降,表示黄色度降低,形成茶红色或棕褐色。

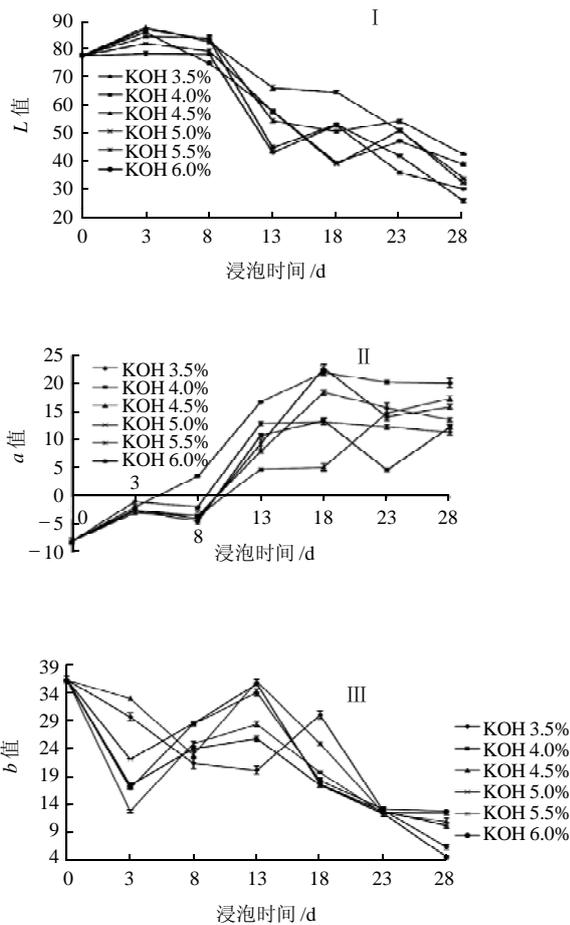


图5 各组鸡蛋蛋清在浸渍期间色泽的变化

Fig.5 Color change of albumen in different groups during pickling

2.4.2 不同KOH质量分数腌制过程中蛋黄色泽变化

在皮蛋浸渍期间,皮蛋蛋黄的色泽会由黄色转变为绿色、墨色继而呈墨绿色,并由蛋黄表面到蛋黄中心明显存在不同的色层(图6、7)。

浸渍期间皮蛋蛋黄外表和内部色泽的变化如图6、7, 蛋黄的  $L$ 、 $a$ 、 $b$  值随着浸渍时间的延长而呈总体下降, 表明色泽变深。其中  $L$  值变小, 表示为透明度下降;  $a$  值在 8d 以后一直维持在负值, 表示蛋黄在第 8~13d 开始发生明显变色反应, 且一直维持绿色;  $b$  值随着浸渍时间延长而下降, 且维持在正值, 表示最后蛋黄色泽的黄色度降低。浸渍 28d 后, 5.5% KOH 质量分数料液浸渍的蛋黄外表( $L=38.32$ 、 $b=6.33$ )和内部( $L=36.73$ 、 $b=1.09$ )色泽的  $L$ 、 $b$  值都低于其他组, 感官检查发现, 5.5% KOH 质量分数料液浸渍的皮蛋蛋黄色泽较其他组深。这可能因为蛋黄含有较多自由态脂, 该脂是从经 KOH 变性的低密度脂蛋白胶束中释放出来, 以抑制光散效应<sup>[15]</sup>; AVDIN 等<sup>[26]</sup>认为蛋黄的变色程度与蛋黄中饱和脂肪酸向单不饱和脂肪酸转变的速率大小有

关, 可能正是 5.5% KOH 质量分数料液浸渍的蛋黄中饱和脂肪酸向单不饱和脂肪酸的转变速率较高, 表现为蛋黄外表和内部色泽的  $L$ 、 $b$  值较其他组低。

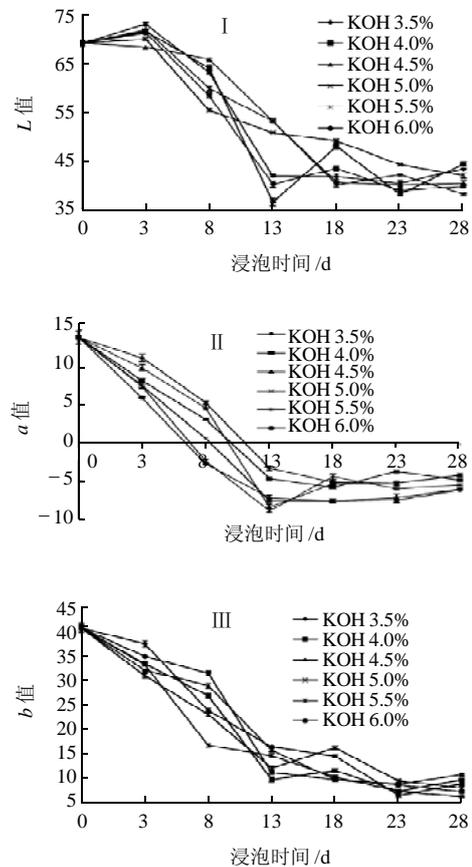
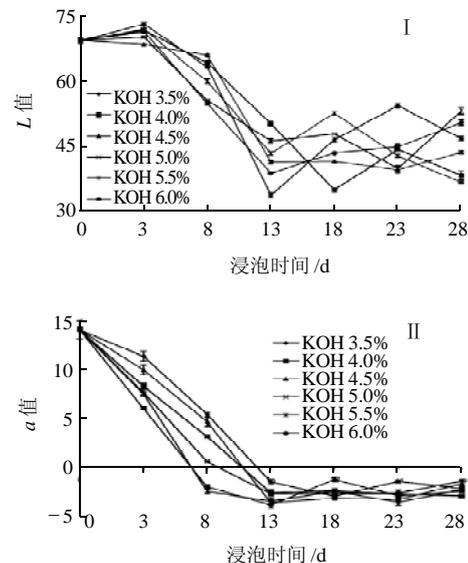


图6 各组鸡蛋蛋黄在浸渍期间外表色泽的变化

Fig.6 Color change in exterior part of yolk in different groups during pickling



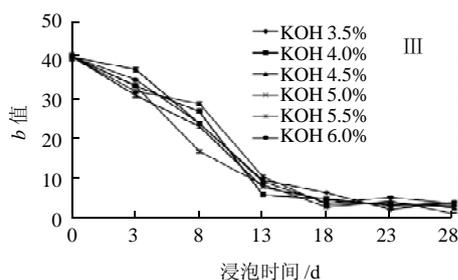


图7 各组鸡蛋蛋黄在浸渍期间内部色泽的变化

Fig.7 Color change in interior part of yolk in different groups during pickling

2.5 KOH 质量分数对皮蛋腌制过程中质构特性的影响  
利用物性分析仪分别对 5.5% KOH 质量分数料液浸渍过程中蛋清和蛋黄的质构特性进行测定, 结果见图 8、9。

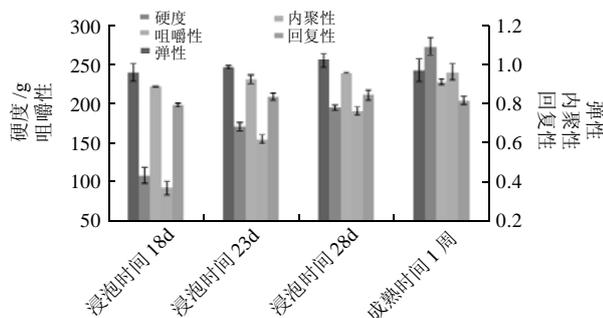


图8 皮蛋蛋清在腌制期间质构特性的变化

Fig.8 Changes of texture properties in preserved egg albumen during pickling

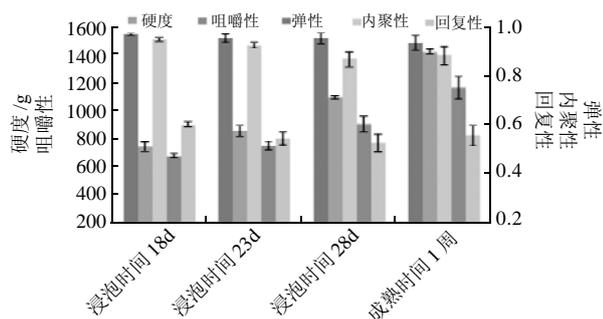


图9 皮蛋蛋黄在腌制过程中质构特性的变化

Fig.9 Changes of texture properties in preserved egg yolk during pickling

图8表明前18d, 蛋清的微弱凝聚不能进行TPA测定。硬度与咀嚼性随着浸渍时间的延长呈现快速上升趋势, 在28d分别达到195.22g、190.96, 出缸一周后, 硬度与咀嚼性分别上升到272.22g、240.41。在28d, 蛋清的KOH质量分数达到最大值, 并存在料液渗进和向蛋黄渗透的动态平衡, 此时蛋清蛋白在KOH作用下变

性凝胶, 强度达到最大值; 但过量的碱会破坏凝胶, 出缸后避免了蛋清中过量碱的“碱伤”作用, 凝胶硬度和咀嚼性进一步得到提升, 伴随食盐和金属离子参透的碱是使蛋白凝聚变化最重要的影响因素<sup>[5]</sup>。弹性、内聚性和回复性皆呈现相似的变化趋势, 在浸渍28d达到最大值, 分别为0.97、0.91与0.82, 但出缸一周后却轻微地下降。这可能是因为出缸一周的蛋清中pH值的下降, 增加了蛋白质分子间的斥力, 使蛋白质凝胶网络结构稍微松散。

与蛋清质构特性变化相似, 在前18d, 蛋黄的微弱固化不能支持TPA测定。硬度与咀嚼性随着浸渍时间的增加呈现快速上升趋势, 在28d分别达到1090.96g、898.86, 出缸一周后, 硬度与咀嚼性分别上升到1415.61g、1159.53, 该结果与Ganasen等<sup>[5]</sup>学者的研究相一致。这是因为随着蛋黄中KOH含量不断提高, 使蛋黄蛋白充分变性凝聚形成坚实的网络状凝胶结构, 且蛋黄中的脂肪经KOH皂化作用, 进一步提升了蛋黄的固化率, 表现为硬度和咀嚼性不断增加。弹性、内聚性和回复性皆呈现相似的变化趋势, 随着浸渍时间的延长而下降。这可能是因为蛋黄中KOH含量和固化率的不断提高, 使蛋黄中水分含量不断下降, 弱化了蛋白质分子间的疏水相互作用和氢键结合作用, 使蛋黄凝胶三维网络结构变得松散, 表现为弹性、内聚性和回复性的下降, 该结果与Ganasen<sup>[5]</sup>、Kaewmanee<sup>[10]</sup>等学者的研究相一致。

### 3 结论

浸渍料液的KOH质量分数对皮蛋的加工具有重大的影响。5.5% KOH质量分数加工的皮蛋, 在感官品质及质构特性方面均较理想, 浸渍28d所得皮蛋蛋壳表面清洁, 蛋清不粘壳、呈半透明的棕褐色, 弹性较好, 蛋黄外层呈墨绿色、色层明显、溏心小, 并具有皮蛋典型特征风味; 皮蛋蛋清及蛋黄的pH值分别为 $11.16 \pm 0.01$ 及 $11.18 \pm 0.09$ ; 色泽测定: 蛋清的L、a、b值分别为 $42.42 \pm 0.21$ 、 $13.61 \pm 0.36$ 、 $10.85 \pm 0.73$ , 蛋黄外部的L、a、b值分别为 $38.32 \pm 0.18$ 、 $-5.57 \pm 0.10$ 、 $6.33 \pm 0.08$ , 内部的L、a、b值分别为 $36.73 \pm 0.22$ 、 $-2.20 \pm 0.32$ 、 $1.09 \pm 0.29$ ; 蛋清的硬度、弹性、内聚性、咀嚼性和回复性分别为 $195.23 \pm 3.27$ g、 $1.02 \pm 0.03$ 、 $0.96 \pm 0.01$ 、 $190.96 \pm 5.35$ 及 $0.85 \pm 0.03$ , 蛋黄的硬度、弹性、内聚性、咀嚼性和回复性分别为 $1090.96 \pm 10.85$ g、 $0.95 \pm 0.02$ 、 $0.86 \pm 0.03$ 、 $898.86 \pm 54.48$ 及 $0.52 \pm 0.04$ 。

### 参考文献:

- [1] 马美湖. 我国蛋品工业科技的几大热点(上)[J]. 肉类研究, 2000, 14(3): 23-27.

- [2] WANG J, FUNG D Y. Alkaline-fermented foods: a review with emphasis on pidan fermentation[J]. *Crit Rev Microbiol*, 1996, 22(2): 101-38.
- [3] KAKO Y, AOKI T, ONODA M. Studies on the manufacturing method of Pidan[J]. *Bull Exp Farm Fac Agr Kagoshima Univ*, 1980(5): 41-51.
- [4] SU Heping, LIN Qingwen. Effect of processing condition on the formation of lysinoalanine in duck pidan[J]. *Journal of Chinese Society of Animal Science*, 1994, 23(3): 323-330.
- [5] GANASEN P, BENJAKUL S. Physical properties and microstructure of pidan yolk as affected by different divalent and monovalent cations[J]. *Food Science and Technology*, 2010, 43(1): 77-85.
- [6] 郑坚强. 蛋制品加工工艺与配方[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 3-5.
- [7] 赵玲艳, 邓放明, 李罗明. 无铅鹌鹑皮蛋最佳加工工艺及料液的再利用研究[J]. *肉类工业*, 2004, 18(7): 17-20.
- [8] CHEN Zhiwei, SU Heping. A new process for preparing spots-free pidan [J]. *Journal of Chinese Animal Science*, 2004, 33(6): 79-88.
- [9] BOURNE M C. Texture profile analysis[J]. *Food Technology*, 1978, 32(7): 62-72.
- [10] KAEWMANEE T, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W. Changes in chemical composition, physical properties and microstructure of duck eggs as influenced by salting[J]. *Food Chemistry*, 2009, 112(3): 560-569.
- [11] 李军鹏, 侯畅, 熊善柏, 等. 腌制条件对皮蛋品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2009, 30(8): 101-105.
- [12] 黄琼. 无铅鸡蛋皮蛋腌制工艺优化的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2008.
- [13] 李锡焜. 锌法皮蛋新工艺料液中NaOH和Zn<sup>2+</sup>浓度变化与产品品质的关系[J]. *湖南农学院学报*, 1993, 19(5): 464-469.
- [14] 汤钦林. 锌法皮蛋加工技术的研究[J]. *食品研究与开发*, 2007, 28(7): 93-96.
- [15] 汤钦林, 胡卓敏. 不同浸泡时期料液NaOH浓度与温度对加锌工艺皮蛋质量的影响[J]. *长江大学学报: 自然科学版: 农学卷*, 2007, 4(2): 95-97.
- [16] 蒋爱民, 南庆贤. 畜产食品工艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 286-288.
- [17] 万速文, 张声华. 皮蛋加工中OH<sup>-</sup>的渗透过程[J]. *食品科学*, 1998, 19(6): 27-29.
- [18] 吕峰, 郑明锋, 陈丽娇. 梯度控温腌制无铅皮蛋工艺[J]. *福建农林大学学报: 自然科学版*, 2005, 34(4): 527-530.
- [19] BLUNT K, WANG C C. Chinese preserved eggs — Pidan[J]. *Natural Journal of China*, 1918(4): 145-148.
- [20] CHI S P, TSENG K H. Physicochemical properties of salted pickled yolks from duck and chicken eggs[J]. *Journal of Food Science*, 1998, 63(1): 27-30.
- [21] 张富新. 鸡蛋皮蛋加工中碱度的变化[J]. *食品与发酵工业*, 2000, 30(10): 81-83.
- [22] PARASKEVOPOULOU A, KIOSSEOGLOU V, ALEVISOPOULOS S, et al. Small deformation measurements of single and mixed gels of low cholesterol yolk and egg white[J]. *Journal of Texture Studies*, 2000, 31(2): 225-244.
- [23] TUPPER R, WATTS R W E, WORMALL A. The incorporation of <sup>65</sup>Zn into avian eggs[J]. *Biochemistry Journal*, 1954, 57(2): 245-255.
- [24] BRYANT C M, MCCLEMENTS D J. Influence of NaCl and CaCl<sub>2</sub> on cold-set gelation of heat-denatured whey protein[J]. *Journal of Food Science*, 2000, 65(5): 801-804.
- [25] DOI E. Gels and gelling of globular proteins[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 1993, 4(1): 1-5.
- [26] AVDIN R, PARIZA M, COOK M. Olive oil prevents the adverse effects of dietary conjugated linoleic acid on chick hatchability and egg quality [J]. *Journal of Nutrition*, 2001, 131(3): 800-806.