

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.05.014

莫晓慧, 王星月, 李晓, 等. 乙醇及乙酸预浸泡结合脱盐渗透在低盐咸蛋制备中的应用[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(5): 178-187.

MO X H, WANG X Y, LI X, et al. Application of pre-soaking with ethanol and acetic acid in salted duck egg desalination[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(5): 178-187.

乙醇及乙酸预浸泡结合脱盐渗透在低盐咸蛋制备中的应用

莫晓慧^{1,2}, 王星月¹, 李晓¹, 段飞霞^{1,2}✉(1. 四川大学 轻工科学与工程学院, 四川 成都 610065; 2. 四川大学 食品科学与技术
四川省高校重点实验室, 四川 成都 610065)

摘要: 咸鸭蛋是我国广受欢迎的传统蛋制品, 但生产周期长、蛋白咸度过大是目前咸蛋产品的主要问题。采用原子吸收、色差仪、质构仪、扫描电镜(SEM)和感官评定, 探究了0.01%醋酸、0.35%乙醇二次预浸泡结合脱盐浸渍, 对盐水浸渍法生产咸鸭蛋的水分含量、含盐量、出油率、成熟度、感官品质和蛋壳膜微观结构等的影响和原理。预浸泡组在37℃盐渍12天后成熟, 鸭蛋蛋黄的红度值达到16.10, 亮度值下降到67.54, 出油透心率达95%; 而对照组在21天后成熟。预浸泡组在脱盐浸渍第6天, 蛋白含盐量1.02%, 比对照组减少18%; 出油率达峰值50.82%, 硬度2604.33g, 其外观、气味、色泽、口感等感官指标与对照组评分相当, 但咸度明显降低; 扫描电镜观察蛋壳膜微观结构发现, 预浸泡导致的蛋壳膜外层膜结构, 扩大内膜纤维间空隙, 促进小分子盐类的双向渗透, 实现快速成熟和脱盐。

关键词: 咸鸭蛋; 预浸泡; 脱盐; 蛋壳膜; 扫描电镜

中图分类号: TS253.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)05-0178-10

Application of Pre-soaking with Ethanol and Acetic Acid in Salted Duck Egg Desalination

MO Xiao-hui^{1,2}, WANG Xing-yue¹, LI Xiao¹, DUAN Fei-xia^{1,2}✉(1. College of Biomass Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065, China;
2. Key Laboratory of Food Science and Technology in Sichuan Province, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065, China)

Abstract: Salted duck egg, as a traditional egg product, are very popular in China. However, its high contents of NaCl brings health hazard. In this work, the influence of successive presoaking with 0.01% acetic acid and 0.35% ethanol and desalination soaking on the water content, salt content, oil yield, maturity, sensory quality and eggshell membrane microstructure of salted duck eggs were explored using atomic absorption spectrometry, chromatic meter, texture analyzer, scanning electron microscope (SEM) and sensory

收稿日期: 2021-07-26

基金项目: 四川大学-宜宾市人民政府市校战略合作专项资金资助(2019CDYB-28)

Supported by: Sichuan University-Yibin Municipal People's Government Municipal-School Strategic Cooperation Special Fund (No. 2019CDYB-28)

作者简介: 莫晓慧, 女, 1999年出生, 在读硕士生, 研究方向为食品科学。E-mail: 1448110542@qq.com.

通讯作者: 段飞霞, 女, 1981年出生, 博士, 正高级工程师, 研究方向为食品科学。E-mail: duanfeixia@126.com.

evaluation. For pre-soaking samples, the redness and brightness of the yolk changed to 16.10 and 67.54 after 12-day salinization at 37 °C, respectively, and the yolk index has reached 95%, suggesting that pre-soaking samples get salted after 12 days, while the control group needed 21 days to get ripe. The salt content of egg protein in the pre-soaking group was assayed to be 1.02% on the 6th day of desalting, which was 18% less than that in the control group, while the oil yield and the hardness of the pre-soaking group reached 50.82% and 2 604. 33 g. The appearance, smell, color, taste and other sensory indicators of the pre-soaking samples were similar to those of the control group, while the control group tasted much more salt. The microstructure observation of eggshell membrane showed that pre-soaking enlarged the space between inner membrane fibers, which improved the two-way permission of water and sodium chloride molecules, resulting in rapid salinization and desalting of pre-soaking samples.

Key words: salted duck eggs; pre-soaking; desalination; eggshell membrane; scanning electron microscope

咸鸭蛋富含多种矿物质、氨基酸及维生素，在传统蛋制品加工中占据重要地位^[1]。咸蛋腌制的方法包括传统的草灰法、盐泥涂布法和盐水浸渍法，其中盐水浸渍法是规模化生产咸蛋的主要方法^[2]。生产周期长、蛋白咸度过大是目前咸蛋产品的主要问题，咸度过大不仅严重影响产品口感，更易诱发高血压和心血管疾病的发生^[3]。前人研究采用提高腌制温度、超声辅助、减压腌制等方法缩短咸蛋腌制周期^[4-5]。为了降低咸蛋盐含量，多采用腌制添加剂^[6]、部分替代钠盐^[7]、不同腌制液二次腌制^[8]、酸或碱浸渍^[4]等方法。但采用酸处理蛋壳，如盐酸、醋酸、盐酸或柠檬酸等，挥发性的酸不仅有刺激性味道、危害操作者呼吸道健康^[9]，对蛋品质也有一定影响，所以酸或碱渍需要严格控制腌制料的 pH 值，否则蛋壳变脆、变薄，破损率大幅升高^[10]。因此，仍需进一步研究，在不影响咸蛋品质的情况下，降低蛋白咸度，缩短生产周期。

本文采用原子吸收、扫描电镜 (SEM)、色差分析、质构分析检测鸭蛋水分含量、含盐量、出油率、成熟度和蛋壳膜微观结构，结合感官评定，探究了乙醇、乙酸预浸泡处理结合渗透脱盐技术

在快速腌制低盐咸蛋中的应用及初步机理。

1 材料与方法

1.1 实验材料

新鲜鸭蛋：市售；氯化钠（食品级）：湖北蓝天有限责任公司；超纯水、正己烷、异丙醇、山梨酸钾、醋酸、乙醇、戊二醛、铬酸钾、硝酸、高氯酸，均为分析纯；成都市科隆化学品有限公司；Na 单元素标准溶液，唯一标识 11042，浓度 1 000 mg/L；国家有色金属及电子材料分析测试中心。

1.2 仪器与设备

TA.XT Plus 质构仪：英国 Stable Micro System 公司；CM-5 色度色差仪：日本柯尼卡美能达；JSM-7500F SEM 扫描电镜：日本电子株式会社；SpectrAA220FS 原子吸收光谱仪：美国 VARIAN 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 低盐咸蛋腌制工艺流程

对照样工艺流程见图 1；预浸泡低盐咸蛋腌制工艺流程见图 2。

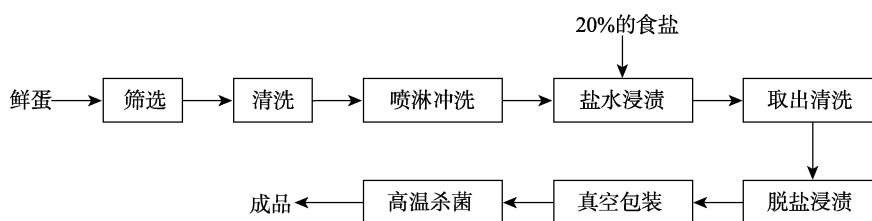


图 1 对照样腌制工艺流程示意图

Fig.1 Process flow diagram of control group

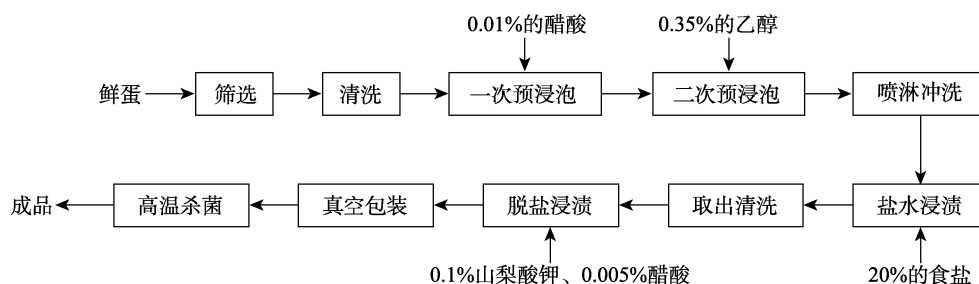


图 2 预浸泡低盐咸蛋腌制工艺流程示意图

Fig.2 Process flow diagram of pre-soaking group

1.3.2 主要操作要点

预浸泡：0.01%醋酸预浸泡 1 h，清水洗净，0.35%乙醇浸泡 1 h。

盐水浸渍：20%食盐溶液 37 °C 下浸渍。

脱盐浸渍：含 0.1 wt% 山梨酸钾、0.005 wt% 醋酸的脱盐浸渍液泡渍。

高温杀菌：121 °C 高温杀菌 15 min。

1.3.3 色度测定

采用色度色差仪测定亮度值（L 值）和红度值（a 值）。制备腌制溶液，鲜鸭蛋浸泡，密封容器，分别在 10、12、21 d 取出 3 个鸭蛋进行测定和分析，将盐水鸭蛋放入沸水中煮 10 min，进行色度测定。

1.3.4 蛋黄指数的测定

制备腌制溶液，鲜鸭蛋浸泡，密封容器，分别在 8、10、12、15、18、21、24 d 取出 3 个鸭蛋进行测定和分析，将盐水鸭蛋放入沸水中煮 10 min，进行蛋黄指数测定。将咸鸭蛋壳敲开，去掉蛋清，然后将蛋黄放在干净的平板玻璃上，静置 5 min 后，用游标卡尺测量蛋黄由外向内硬化的距离、蛋黄半径，按下式计算蛋黄透心率。

$$\text{蛋黄指数}(\%) = \frac{\text{蛋黄由外向内硬化的距离}}{\text{蛋黄半径}} \times 100\%$$

1.3.5 水分测定

制备腌制溶液，鲜鸭蛋浸泡，密封容器，分别在 0、3、5、8、10、13、15、18、21、24、27 d 取出 3 个鸭蛋进行测定和分析，将盐水鸭蛋放入沸水中煮 10 min。然后，将每个样品的蛋白、蛋黄仔细分离出来，进行水分含量测定。根据 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》，采用直接干燥法^[11]测定蛋黄含水量和蛋白含水量。样品煮熟后，分别取蛋黄和蛋白在 105 °C

的热风炉中干燥样品，直到达到规定的重量。将约 2 g 样品加入称重瓶中并取 M(g)，在 105 °C 干燥至常数，然后称重并取 m(g)。含水率按下式计算。

$$\text{含水率}(\%) = \frac{M - m}{M} \times 100\%$$

1.3.6 硝酸银滴定法测定氯化钠含量

制备腌制溶液，鲜鸭蛋浸泡，密封容器，分别在 0、3、5、8、10、13、15、18、21、24、27 d 取出 3 个鸭蛋进行测定和分析，将盐水鸭蛋放入沸水中煮 10 min。然后，将每个样品的蛋白、蛋黄仔细分离出来，进行盐含量测定。根据 GB 5009.44—2016《食品安全国家标准 食品中氯化物的测定》，采用直接滴定法^[12]测定蛋黄和蛋白含盐量。样品煮熟后，分别取蛋白和蛋黄各 3 g，研磨后加入 50 mL 70 °C 热水，搅拌 15 min，用蒸馏水稀释至 200 mL 容量瓶中。混合物用滤纸过滤。用移液管将 10 mL 滤液移入烧瓶中，然后向烧瓶中加入 30 mL 蒸馏水和 1 mL 5% 的 K_2CrO_4 ，混合均匀。用标准化的硝酸银滴定混合物，直到溶液变成永久的浅红色。含盐量按下式计算。

$$\text{含盐量}(\%) = \frac{5.8 \times C \times V}{m} \times 100\%$$

其中 V 为 $AgNO_3$ (mL) 的体积，C 为 $AgNO_3$ 浓度，单位为 mg/mL，m 为样品重量。

1.3.7 原子吸收法测定 Na^+ 含量

采用火焰原子吸收法检测脱盐后产品钠离子含量。样品湿法消解，测定波长 589.0 nm，狭缝 0.4 nm，灯电流 4 mA；采用空气乙炔火。根据 Na 标准工作曲线计算结果。

1.3.8 蛋黄出油率测定

制备腌制溶液，鲜鸭蛋浸泡，密封容器，分别在 0、3、5、8、10、13、15、18、21、24、27 d

取出3个鸭蛋进行测定和分析,将盐水鸭蛋放入沸水中煮10 min。然后,将每个样品的蛋黄仔细分离出来,进行出油率测定。每个样品取蛋黄3 g,研磨后加入25 mL蒸馏水,在7 500 r/min离心30 min,萃取液为有机溶液 V(正己烷):V(异丙醇)=3:2,取上清液加入25 mL萃取液,在55 ℃下水浴蒸发,在105 ℃下加热至恒定值,称重得到游离脂质含量。取蛋黄1.5 g,研磨后加入20 mL上述萃取液,在10 000 r/min离心1 min,取清液在55 ℃下水浴蒸发,在105 ℃下加热至恒定值,称重得到总脂质含量。

出油率按下式计算:

$$\text{出油率} = \frac{\text{游离脂肪含量}}{\text{脂肪含量}} \times 100\%$$

1.3.9 质构分析

制备腌制溶液,鲜鸭蛋浸泡,密封容器,分别在0、3、5、8、10、13、15、18、21、24 d取出3个鸭蛋进行测定和分析,将盐水鸭蛋放入沸水中煮10 min。然后,将每个样品的蛋清从蛋黄中仔细分离出来,立即进行质构测定。采用质构仪测定咸鸭蛋蛋黄的质构。鸭蛋煮熟后,将蛋黄卷在滤纸上,去除残留的蛋白,用于质构分析。样品采用压缩柱状铝探针(P/36R)压缩,蛋黄形变为50%,测定均在室温完成。力矩形变测前速率5.0 mm/s,测后速率5.0 mm/s,测试速率1.0 mm/s,触发力5 g,记录。重复六次。

1.3.10 感官评定

感官评定小组共由60名成员组成(男30名,女30名),每人测试等量样品,每个样品测试结束后用纯净水漱口。咸鸭蛋的外观、气味、色泽、口感和咸度感官评定标准^[13]如表1所示。

1.3.11 SEM观察表面微观结构

制备预浸泡腌制溶液,鲜鸭蛋浸泡,浸泡结束后取出3个鸭蛋进行SEM观察鸭蛋表面微观结构。鲜蛋蛋膜与蛋壳样品在2.5%戊二醛溶液中固定2 h,蒸馏水漂洗三次,每次15 min,不同梯度乙醇(60%,70%,80%,90%,95%)洗脱30 min,冻干后进行SEM扫描。

1.4 数据分析

采用Microsoft Excel进行数据处理,Origin

表1 咸鸭蛋感官评定标准

指标	感官评定描述	评分
外观	蛋壳干净完整,无黑斑、无裂纹	16~20
	蛋壳干净完整,有少许裂纹	6~15
	有大量黑斑及裂纹	0~5
气味	有蛋香味,鲜味,无腥味	16~20
	蛋香味偏淡,无腥味	6~15
	腥味过浓,有异味,影响食欲	0~5
色泽	蛋白洁白,蛋黄细软沙嫩,并伴随着出油	16~20
	蛋白洁白,蛋黄偏硬,无出油迹象	6~15
	蛋白白色偏暗,蛋黄偏硬,无出油迹象	0~5
口感	蛋白硬度适中,蛋黄结实沙软,较为爽口,香味十足	16~20
	蛋白较为鲜嫩,蛋黄不结实,较为细软,稍有香味	6~15
	蛋白口感差,蛋黄过于结实,无香味	0~5
咸度	咸度适中	16~20
	咸度偏淡或偏重	6~15
	咸度过淡或过重,难以咽	0~5

2017进行作图,IBM SPASS Statistics 26进行统计处理。

2 结果与分析

2.1 成熟度判定

通过成熟度确定对照组和预浸泡组腌制成熟的时间,在腌制成熟后进行脱盐处理。采用蛋黄色度和蛋黄指数表征蛋黄成熟度。咸鸭蛋盐渍过程中,生蛋黄从外向里开始变硬,最终成为具有粘滞性的硬球^[14],据此可计算蛋黄指数,即蛋黄由外向内硬化的距离与其半径之比;而色度由亮度值(L值)和红度值(a值)显示。随着腌制时间的延长,蛋黄L值降低,a值上升,蛋黄指数升高^[8],当a值大于21,L值小于70,且蛋黄指数不低于95%可判定为蛋黄成熟^[15-16]。预浸泡组和对照组蛋黄色度值、蛋黄指数如表2~3所示。

预浸泡组的蛋黄指数在盐渍第10天为33.24%,第12天达到95%;蛋黄L值在第10天下降到68.67,a值增加到21.66。对照组蛋黄指数在盐渍第12天为32.86%,第21天达到95%;其蛋黄L值在第10、12天仍高于70,在第21天下降到67.54%,a值在第10、12天分别为17.07、16.10,第21天增加到22.26%。实验结果表明预

浸泡组在盐渍第12天成熟，而对照组在21天成熟，预浸泡明显缩短了咸鸭蛋成熟周期($P < 0.05$)。因此，从13天开始进行预浸泡组的脱盐处理，从第22天开始进行对照组的脱盐处理。

表2 鸭蛋蛋黄在盐渍过程中的色泽

Table 2 Color and yolk index of duck egg yolk during dipping

工艺	蛋黄		
	L 值	a 值	
对照组	第10天	74.93±0.49 ^a	17.07±1.33 ^a
	第12天	72.67±0.16 ^b	16.10±0.42 ^a
	第21天	67.54±0.36 ^{cd}	22.26±0.47 ^b
预浸泡组	第10天	68.67±0.83 ^c	21.66±0.78 ^b
	第12天	65.72±1.97 ^{de}	22.34±0.62 ^b
	第21天	64.68±0.75 ^c	22.80±0.39 ^b

注：L 值代表亮度值，a 值代表红度值。L 值越低，a 值越高，表示蛋黄成熟度越高。

同一列不同字母之间表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

Note: L value represents brightness value and a value represents redness value. The lower the L value, the higher the a value, indicating the higher the egg yolk maturity.

There was significant difference between different letters in the same column ($P < 0.05$).

表3 鸭蛋在盐渍过程中的蛋黄指数

Table 3 Yolk index of duck egg yolk during dipping %

工艺	蛋黄指数						
	第8d	第10d	第12d	第15d	第18d	第21d	第24d
对照组	18.67±0.01 ^g	24.12±0.20 ^f	32.86±0.25 ^d	41.69±0.71 ^c	67.43±0.43 ^b	95.00±0.37 ^a	95.24±0.33 ^a
预浸泡组	29.01±0.41 ^c	33.24±0.07 ^d	95.05±0.73 ^a	95.63±0.53 ^a	95.71±0.64 ^a	95.80±0.27 ^a	—

注：不同字母之间表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

Note: There was significant difference between different letters ($P < 0.05$).

2.2 水分含量变化

咸鸭蛋的成熟过程通常伴随水分的减少^[17]，通过检测鸭蛋水分含量变化，监测鸭蛋成熟和脱盐情况，蛋白和蛋黄水分含量的变化如图3a所示。蛋白水分含量在盐渍和脱盐过程中均无显著变化，蛋黄水分含量在盐渍过程中持续下降。盐渍前蛋黄水分含量为53.04%；盐渍阶段结束时，预浸泡组(第12d)蛋黄水分含量下降到30.04%；对照组(第20d)蛋黄水分含量下降到22.83%。脱盐浸渍过程中，预浸泡组蛋黄水分含量先继续下降后上升，脱盐第4d(总浸泡时间第16d)下降到最低值19.54%，脱盐第9d回升到26.00%；对照组蛋黄水分含量在脱盐浸渍阶段无显著变化

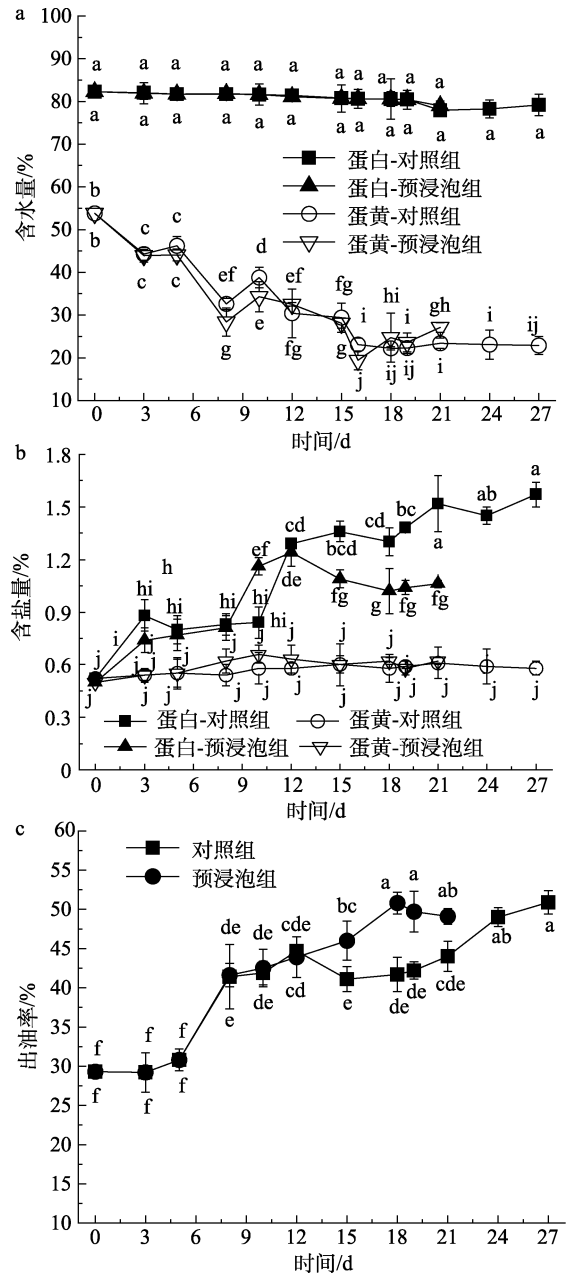


图3 不同工艺处理鸭蛋在盐水浸渍过程中含水量、含盐量及出油率的变化

Fig.3 Changes of water content, salt content oil and exudation rates of duck eggs treated by different processes during saltwater immersion

注：不同字母之间表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

Note: There was significant difference between different letters ($P < 0.05$).

($P > 0.05$)。上述实验结果表明，预浸泡处理加速盐渍阶段鸭蛋水分的脱除，可能与其缩短咸蛋成熟周期有关，在脱盐浸渍阶段促进水分子从外界向蛋白、蛋黄回渗。

2.3 含盐量变化

为明确脱盐浸渍过程对含盐量的影响，检测

对照组和预浸泡组蛋黄、蛋白含盐量变化,如图 3b 所示。盐渍过程中,蛋黄及蛋白含盐量均呈上升趋势,盐渍前蛋黄含盐量为 0.52%,盐渍 15 天后,对照组和与预浸泡组蛋黄含盐量分别升高到 0.61% 和 0.62% ($P>0.05$);盐渍前蛋白含盐量为 0.50%,盐渍 9 天后,对照组蛋白含盐量增加到 0.84%,预浸泡组增加到 1.16% ($P<0.05$);盐渍 12 天后,预浸泡组蛋白盐含量达到峰值,为 1.24%,对照组为 1.29%;盐渍 21 天后,对照组蛋白盐含量达到 1.52% ($P<0.05$)。脱盐浸渍过程,预浸泡组和对照组的蛋黄含盐量均无显著变化;而预浸泡组蛋白含盐量下降,对照组蛋白含盐量持续上升。脱盐浸渍第 6 天(即总浸渍时间第 18 天),预浸泡组含盐量下降到 1.02%,继续脱盐含盐量下降幅度不明显 ($P>0.05$)。对照组脱盐第 6 天后(即总浸渍时间第 27 天)含盐量上升到 1.57%,脱盐后预浸泡组含盐量明显低于对照组 ($P<0.05$)。

上述实验结果表明,预浸泡处理提高了盐渍过程中食盐透过蛋壳和蛋壳膜向蛋白渗透的速度,蛋白含盐量积累加快;而在外部渗透压降低的脱盐浸渍过程,预浸泡处理促进蛋白中的盐分透过壳膜向外渗透,从而实现成熟后咸蛋的脱盐;而未预浸泡的盐渍鸭蛋不能通过浸泡脱盐。盐透过蛋壳的毛孔慢慢渗透到蛋清中,通过蛋壳膜提高渗透压水平,促使盐继续渗透到蛋黄中,由于高浓度盐对蛋黄的破乳作用,化学键逐渐加强,蛋黄颗粒间隙变窄,外部凝固,内部渗透压升高^[18]。蛋黄的凝固部分逐渐延伸到内部,直到内部蛋黄的渗透压与外部蛋黄达到平衡,这与蛋黄指数数据一致。

2.4 出油率变化

为探究脱盐浸渍对蛋黄成熟度的影响,检测蛋黄出油率的变化情况,对照组和预浸泡组蛋黄出油率如图 3c 所示。盐渍前蛋黄出油率为 29.10%,对照组盐渍 20 天后达到 43.83%;预浸泡组 12 天后出油率达到 44.71%。脱盐浸渍后,预浸泡组出油率先上升后下降,在脱盐第 6 天(总浸泡时间第 18 天)达到峰值 50.82%,脱盐浸渍第 9 天出油率为 48.87%,仍高于对照组 ($P<0.05$)。结合水分含量、含盐量和出油率检测结果,可确定预

浸泡组脱盐浸渍的适宜时间为 6 天。鸭蛋蛋黄颗粒由磷蛋白和脂肪通过钙磷盐桥结合形成,盐水腌制过程中,Na⁺取代 Ca²⁺,破坏蛋黄颗粒的结构,导致低密度脂蛋白的结构变化促进游离脂类释放,脂质与蛋白分离,亲油基团聚集,形成可见油液或油滴^[19-21],即咸蛋黄出油的现象。上述实验结果表明,成熟后脱盐浸渍对咸蛋出油率无显著影响。

2.5 蛋黄质构变化

对照组和预浸泡组蛋黄质构变化如图 4 所示。蛋黄盐浓度增加导致蛋黄脂蛋白中脂质渗出,蛋白质变性加剧,蛋白质凝胶网络分子间作用力增强^[22],因此硬度增加,而造成蛋黄弹性、凝聚力、回复性变差的原因很大程度上是与蛋黄在腌制过程中渗出的脂质有关^[23],Sirvente^[24]和 Xu^[25]用透射扫描电镜对咸蛋黄进行表征,发现这些渗出的油脂大都存在于已形成的凝胶网络结构,而当油脂进入凝胶网络结构中时可能会降低了蛋黄的弹性、回复性等。盐渍前鸭蛋黄的硬度为 856.05 g,对照组盐渍结束后硬度增加到 2 542.46 g,升高了约 2 倍 ($P<0.05$);预浸泡组盐渍结束后蛋黄硬度为 2 350.96 g,在脱盐浸渍前期继续升高,脱盐第 3 天(总浸泡时间第 15 天)达到峰值 2 610.09 g;而在脱盐第 6 天(总浸泡时间第 18 天),预浸泡组硬度仍保持在 2 604.33 g,与对照组盐渍结束时相近。蛋黄的弹性、回复力和凝聚力在盐渍和脱盐过程中总体呈下降趋势 ($P<0.05$);与对照组相比,预浸泡组弹性下降速度更快;在脱盐第 6 天(总浸泡时间第 18 天),预浸泡组弹性为 0.34,回复力为 0.091,凝聚力为 0.25;对照组弹性为 0.29,回复力为 0.12,凝聚力为 0.32。脱盐浸渍完成后,预浸泡组与对照组的弹性、回复性和凝聚力差异不大。质构分析实验说明脱盐浸渍对蛋黄成熟度影响不大,与水分、出油率实验结果一致。

2.6 感官评定

咸鸭蛋感官评定结果如表 4 所示,成品如图 5 所示。经过预浸泡和脱盐渗透后的咸鸭蛋综合评分达到 95 分以上,对照组 22 天后感官评分为 85 分;预浸泡组蛋壳干净完整,无黑斑、无裂纹,蛋白洁白,蛋黄金黄透亮,咸度适宜,松沙细腻、

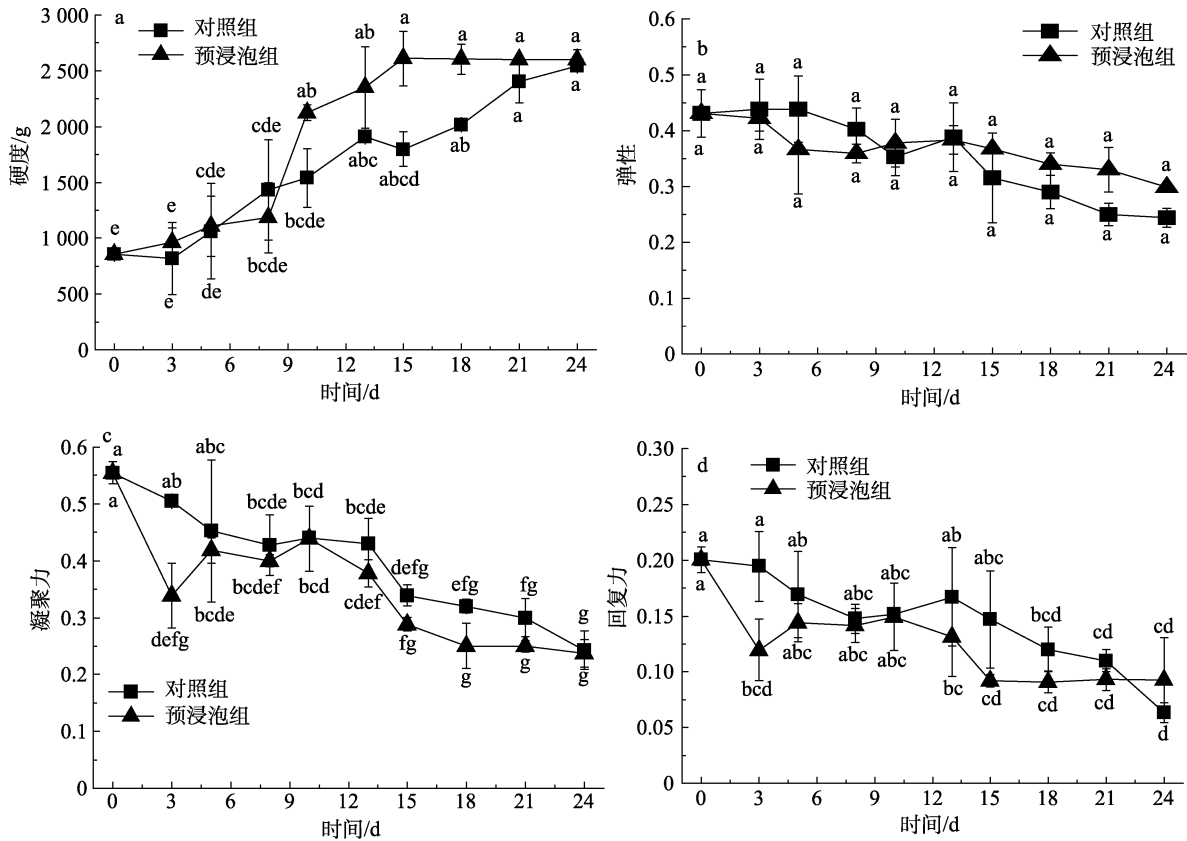


图4 盐渍和脱盐过程中鸭蛋黄的质构变化

Fig.4 TPA analysis of duck egg yolk

注：不同字母之间表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

Note: There was significant difference between different letters ($P < 0.05$).

表4 预浸泡组咸鸭蛋感官评定结果

Table 4 Sensory evaluation of salted duck eggs 分

指标	预浸泡组		对照组	
	描述	评分	描述	评分
外观	蛋壳干净完整, 无黑斑、无裂纹	20	蛋壳干净完整, 无黑斑、无裂纹	20
香味	有蛋香味、鲜味, 无腥味	18	有蛋香味、鲜味, 无腥味	17
色泽	蛋白洁白, 蛋黄细软沙嫩, 并伴随着出油	20	蛋白洁白, 蛋黄细软沙嫩, 并伴随着出油	18
口感	蛋白硬度适中, 蛋黄结实沙软, 较为爽口, 香味十足	17	蛋白硬度适中, 蛋黄结实沙软, 较为爽口, 香味十足	17
咸度	咸度适中	20	咸度偏重	13
总分	95		85	

水嫩, 与对照组相似, 但对照组口感偏咸, 咸度评分较低。咸度感官评定结果与蛋白含盐量测定结果一致。

2.7 SEM 观察微观结构

2.7.1 蛋壳膜微观结构

蛋壳膜微观结构如图6所示。对照组观察到

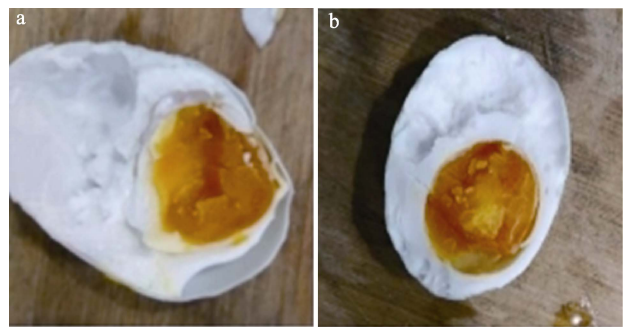


图5 预浸泡结合脱盐浸渍咸鸭蛋内部剖面图

(a 为对照组, b 为预浸泡组)

Fig.5 Salted duck eggs pretreated with soaking (a) control samples, (b) pre-soaking samples

纵横交错, 凹凸不平的膜, 其上有瘤状结(图6a,b), 说明鸭蛋壳膜外膜完整。预浸泡组观察到网状蛋白多糖纤维结构根根分明, 纤维上有许多黏多糖的瘤状突起清晰可见, 纤维间的距离较大, 与对照组相比, 形成大的空隙(图6c,d)。鸭蛋壳膜是由卵角蛋白、弹性蛋白等组成的内外两层纤维膜^[26-27], 不溶于水、酸和盐溶液, 能让水、气、食盐通过并有一定的阻力^[28]。实验结果说明乙醇和乙酸短

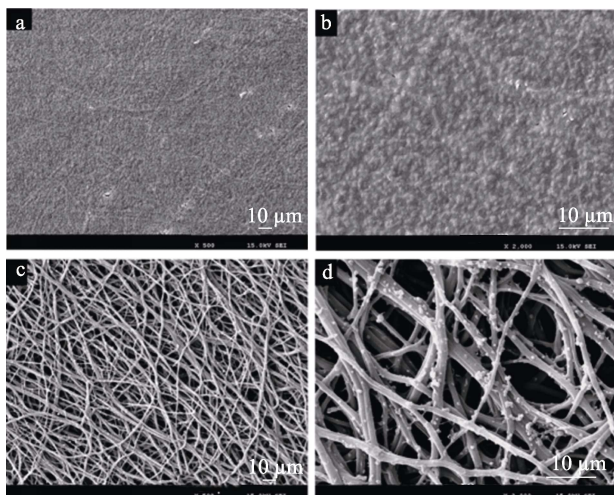


图 6 500 和 2000 倍扫描电镜 (SEM) 观察对照组 (a,b) 和预浸泡组 (c,d) 鸭蛋壳内膜 (a、b 分别为对照组 500、2000 倍, c、d 分别为预浸泡组 500、2000 倍)
 Fig.6 SEM images of inner membrane of the duck egg shell (a,b) control samples (c,d) pre-soaking samples

时预浸泡处理破坏了蛋壳膜的外层膜结构, 且使内膜纤维间空隙增大, 实现小分子盐类的双向渗透, 并提高了渗透速率, 从而缩短盐渍时间, 并在咸蛋成熟后快速脱盐。

2.7.2 蛋壳微观结构

蛋壳微观结构如图 7 所示, 对照组和预浸泡组的蛋壳均整体完好, 有少许裂痕和少量表皮脱落; 与对照组相比, 预浸泡组蛋壳表面更粗糙。蛋壳主要成分为碳酸钙 (CaCO_3) 多晶型物方解石, 蛋壳外是一层 3~5 μm 的以白垩有机物或香

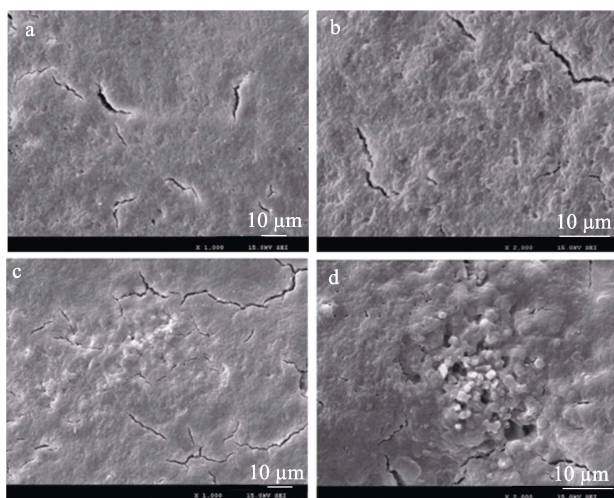


图 7 500 和 2000 倍扫描电镜 (SEM) 观察对照组 (a,b) 和预浸泡组 (c,d) 鸭蛋外壳 (a、b 分别为对照组 1000、2000 倍, c、d 分别为预浸泡组 1000、2000 倍)
 Fig.7 SEM images of duck egg shells of control samples (a,b) and pre-soaking samples (c,d)

脂类为主的护膜^[27]。在用 5%醋酸预处理的鸭蛋中观察到蛋壳表面粗糙, 乙酸可以将构成蛋壳的固体碳酸钙晶体分解使壳厚度减小^[29]。将鸭蛋浸泡在 0.1 mol/mL 的 HCl 中 30 min 时, 观察到蛋壳厚度减小^[30]。经预浸泡处理后, 乙醇可能导致蛋壳外护膜破损, 乙酸与蛋壳表面少量的碳酸钙发生反应, 暴露出蛋壳表皮稀疏龟背状裂纹, 角质层被去除和部分海绵层打开毛孔, 因此, 盐更有效地渗入鸭蛋中, 但由于预浸泡时间短, 预浸泡后蛋壳表面结构损伤不大。SEM 观察结果与感官评定结果一致。


3 结论

本研究发现低浓度乙酸/乙醇预浸泡结合脱盐浸渍, 可在不影响咸蛋出油率、色度、透心率等成熟度指标的基础上, 有效缩短成熟周期, 降低咸度和食盐含量, 获得感官品质良好且咸度更低的咸蛋产品。预浸泡处理通过破坏蛋壳膜的外层膜结构, 扩大内膜纤维间空隙, 促进小分子盐类的双向渗透, 实现快速成熟和脱盐, 但对鸭蛋壳外观无明显影响。本研究为低盐咸蛋的制备提供了新方法参考。

参考文献:

- [1] 戴浩亮. 优质清洁咸蛋生产新工艺研究[D]. 江西农业大学, 2011.
DAI H L. Study on new production technology of high quality and clean salted eggs[D]. Jiangxi Agricultural University, 2011.
- [2] 任发政. 咸蛋的腌制机理及其加工方法[J]. 农产品加工, 2009(5): 24-25.
REN F Z. Salting mechanism and processing method of salted eggs[J]. Farm Products Processing, 2009(5): 24-25.
- [3] 张进, 丁立群, 范洁, 等. 限盐饮食对一级原发性高血压合并 2 型糖尿病患者心血管风险的影响[J]. 广东医学, 2018, 39(23): 3477-3481.
ZHANG J, DING L Q, FAN J, et al. Effect of salt restriction on cardiovascular risk in patients with mild hypertension and type 2 diabetes mellitus[J]. Guangdong Medical Journal, 2018, 39(23): 3477-3481.
- [4] 孙静, 皮劲松, 潘爱鑫, 等. 咸蛋腌制剂低盐高渗替代物的筛选[J]. 湖北农业科学, 2015(24): 6334-6337+6341.
SUN J, PI J S, PAN A L, et al. Salted eggs formulati on screening of low hypertonic salt substitutes[j]. Hubei Agricultural Science, 2015(24): 6334-6337+6341.

- [5] 咎沛清, 程裕东, 金银哲. 咸鸭蛋快速腌制工艺及咸蛋清综合利用研究进展[J]. 食品与机械, 2020, 36(10): 210-214.
ZAN P Q, CHENG Y D, JIN Y Z. Research progress on rapid pickling process of salted duck eggs and comprehensive utilization of salted eggs white[J]. Food and Chemistry, 2020, 36(10): 210-214.
- [6] 曾舟, 马美湖, 何兰, 等. 不同腌制添加剂对咸蛋腌制效果的影响[J]. 中国食品学报, 2012, 12(10): 140-148.
ZENG Z, MA M H, HE L, et al. Effects of different pickled additives on preserved salted eggs[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2012, 12(10): 140-148.
- [7] 饶红花. 低钠咸蛋的加工工艺及保鲜研究[D]. 江西农业大学, 2014.
RAO H H. Study on processing and preservation of low sodium salted eggs[D]. Jiangxi Agricultural University. 2014.
- [8] 邹礼根, 刘军波, 姜慧燕, 等. 低盐咸蛋加工过程中蛋黄主要理化特性变化研究[J]. 农产品加工(下半月), 2014(11): 26-28.
ZOU L G, LIU J B, JIANG H Y, et al. Variations of physicochemical characteristics in yolk during the processing of low-salt salted eggs[J]. Farm Products Processing, 2014(11): 26-28.
- [9] 邵萍, 刘会平, 邹乾, 等. 酸浸减压法腌制咸蛋与传统咸蛋的对比[J]. 食品工业科技, 2017, 38(18): 8-13.
SHAO P, LIU H P, ZOU Q. The contrast of salted eggs soaking in acid combined with reduced pressure vacuum technology and the traditional method of brine immersion[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(18): 8-13.
- [10] 和丽媛. 不同加工方式对禽蛋脂质氧化及脂肪酸的影响[D]. 华中农业大学, 2015.
HE L Y. The effects of different processing on lipid oxidation and fatty acids composition of eggs[D]. Huazhong Agricultural University. 2015.
- [11] 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S]. 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 2016: 12.
National food safety standard Determination of moisture in food[S]. National Health and Family Planning Commission of China, 2016: 12.
- [12] 食品安全国家标准 食品中氯化物的测定[S]. 2016.
National food safety standard Determination of chloride in food[S]. 2016.
- [13] 刘蒙佳, 周强, 刘禹. 腌制条件对咸鸭蛋品质的影响及熟化工艺研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(1): 50-53.
LIU M J, ZHOU Q, LIU Y. Effect of curing conditions on quality of salted duck eggs and research on the maturation process[J]. China Condiment, 2019, 44(1): 50-53.
- [14] KAEWMANEE T, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W. Changes in chemical composition, physical properties and microstructure of duck egg as influenced by salting[J]. Food Chemistry, 2008, 112(3): 560-569.
- [15] 王中凤, 饶银环, 戴超, 等. 熟制咸鸭蛋质量分析及其分级标准的建议[J]. 中国农学通报, 2017, 33(17): 123-128.
WANG Z F, RAO Y H, DAI C, et al. Quality analysis of grading standards of cooked salted duck egg[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(17): 123-128.
- [16] 周强, 刘蒙佳, 童星. 五香咸鸭蛋二步熟法工艺优化研究[J]. 中国调味品, 2017, 42(11): 44-48.
ZHOU Q, LIU M J, TONG X. Optimization of two-step maturation technology of spiced salted duck eggs[J]. China Condiment, 2017, 42(11): 44-48.
- [17] XU L, ZHAO Y, XU M, et al. Changes in physico-chemical properties, microstructure, protein structures and intermolecular force of egg yolk, plasma and granule gels during salting[J]. Food Chemistry, 2019, 275(Mar.1): 600-609.
- [18] AI M M, GUO S G, ZHOU Q, et al. The investigation of the changes in physicochemical, texture and rheological characteristics of salted duck egg yolk during salting[J]. LWT-Food Science & Technology, 2018, 88: 119-125.
- [19] 张晓维, 郑萍, 高洁, 等. 3种方法腌制咸蛋理化性质的对比[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(12): 108-116.
ZHANG X W, ZHENG P, GAO J, et al. Comparison of physicochemical properties of salted eggs by three pickling methods[J]. Food Research and Development, 2020, 41(12): 108-116.
- [20] D S, Vb G, N W, et al. High pressure unfolding of ovalbumin[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2000, 35(4): 361-370.
- [21] FEENEY R E, WEAVER J M, JONES J R, et al. Studies of the kinetics and mechanisms of yolk deterioration in shell eggs[J]. Poultry Science, 1956(5).
- [22] XU L, ZHAO Y, XU M, et al. Effects of salting treatment on the physicochemical properties, textural properties, and microstructures of duck eggs[J]. Plos One, 2017, 12(8).
- [23] 吕蕙, 马美湖, 刘远远. 稻秸灰水提取物对咸蛋黄理化特性的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(4): 148-156.
LV H, MA M H, LIU Y Y. Effects of straw ash aqueous extracts on physicochemical characteristics of salted egg yolk[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(4): 148-156.
- [24] SIRVENTE H, BEAUMAL V, GAILLARD C. Structuring and functionalization of dispersions containing egg yolk, plasma and granules Induced by mechanical treatments[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(23): 9537-9544.
- [25] XU L, ZHAO Y, XU M, et al. Changes in aggregation behavior of raw and cooked salted egg yolks during pickling[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 80.
- [26] 李彦坡, 马美湖. 蛋壳及蛋壳膜的研究和利用[J]. 粮食与食品工业, 2008, 15(5): 27-31.
LI Y P, MA M H. Investigation and exploitation of eggshell and eggshell membrane[J]. Cereal and Food Industry, 2008, 15(5): 27-31.
- [27] KAEWMANEE T, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W. Effect of acetic acid and commercial protease pretreatment on salting and characteristics of salted duck egg[J]. Food and bioprocess

- technology, 2012, 5(5): 1502-1510.
- [28] 程定均, 侯大军, 尚永彪, 等. 影响咸蛋加工中食盐传递的因素[J]. 食品工业科技, 2009(2): 323-325, 329.
CHENG D J, HOU D J, SHANG Y B, et al. Factors on the transfer of salt in the processing of salted egg[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009(2): 323-325, 329.
- [29] NYS Y, GAUTRON J, GARCIA-RUIZ J M, et al. Avian eggshell mineralization: biochemical and functional characterization of matrix proteins[J]. Comptes rendus - Palevol, 2004, 3(6).
- [30] LAI K M, KO W C, LAI T H. Effect of NaCl penetration rate on the granulation and oil-off of the yolk of salted duck egg[J]. Japanese Society for Food Science and Technology, 1997, 3(3). 
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。