

盐泥腌制过程中海鸭蛋理化性质及品质特征的变化

熊雅婷, 陈礼宇, 傅佳慧, 滕建文, 黄丽, 夏宁*

(广西大学轻工与食品工程学院, 广西高校特色农产品精深加工与安全控制重点实验室, 广西南宁 530004)

摘要: 传统盐泥腌制海鸭蛋存在腌制周期长、含盐量高、品质不稳定等问题, 该研究通过对传统盐泥法进行改进, 探讨海鸭蛋腌制过程理化及品质特性变化规律。结果表明: 采用改进法腌制成熟的海鸭蛋质量变化率、蛋清含盐量分别为 1%~3%、3.0%~3.4%, 远低于相同时间传统法的 2%~6%、4.4%, 腌制液盐质量分数在 20% 以下, 鸭蛋质量变化率显著增加 ($P<0.05$)。两种方法腌制的蛋清含水量下降趋势差异不大, 但蛋黄含水量从 45% 分别下降到 22%、17%。蛋清、蛋黄含盐量分别从 0.2% 增加到 3%~4% 与 0.9%~1.2%, 蛋清增幅较明显, 且盐分质量分数对水分脱除及盐分渗入影响显著 ($P<0.05$)。改进后腌制 25 d 可使蛋黄出油率、起沙性分别达到 65%、90% 以上, 蛋黄质构特性均达到传统腌制 40 d 的水平, 且蛋黄颗粒结构变得疏松, 硬心率明显降低; 且腌制 40 d, 蛋清含盐量 $<4\%$, 蛋黄含盐量 $>0.9\%$ 。因此, 改进盐泥法腌制成熟的咸鸭蛋比传统法降低咸度却不降低其油润松沙品质, 该研究可为推进传统盐泥腌制咸鸭蛋的工艺改进与品质优化提供理论基础。

关键词: 咸海鸭蛋; 盐泥腌制; 蛋黄出油起沙性; 品质

文章编号: 1673-9078(2025)03-154-163

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.3.0130

Changes in Physicochemical Properties and Quality of Sea Duck Eggs During Pickling using An Improved Mud-Packing Method

XIONG Yating, CHEN Liyu, FU Jiahui, TENG Jianwen, HUANG Li, XIA Ning*

(Key Laboratory of Deep Processing and Safety Control of Special Agricultural Products, College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: The traditional mud-packing method for preparing salted sea duck eggs has drawbacks of long pickling time, high salt content, and inconsistent quality. This study improved the traditional mud-packing method and clarified the change patterns of the physicochemical properties and quality of sea duck eggs during pickling. The results showed that mature salted sea duck eggs prepared using the improved mud-packing method exhibited a mass change rate of 1%~3% and salt content of 3.0%~3.4% in egg white, which were much lower than those (2%~6% and 4.4%) of mature salted sea duck eggs prepared using the traditional mud-packing method. Additionally, the mass change rate of duck eggs significantly increased when using a pickling solution with a salt mass fraction below 20% ($P<0.05$). The two methods did not differ much in the decreasing trend of water content in egg white during pickling, whereas the traditional and improved methods decreased the water content of egg yolk from 45% to 22% and 17%, respectively. The salt contents of egg white and yolk increased from 0.2% to

引文格式:

熊雅婷,陈礼宇,傅佳慧,等.盐泥腌制过程中海鸭蛋理化性质及品质特征的变化[J].现代食品科技,2025,41(3):154-163.

XIONG Yating, CHEN Liyu, FU Jiahui, et al. Changes in physicochemical properties and quality of sea duck eggs during pickling using an improved mud-packing method [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(3): 154-163.

收稿日期: 2024-01-27

基金项目: 广西重点研发项目 (桂科 AB22080014)

作者简介: 熊雅婷 (1998-), 女, 硕士, 研究方向: 农副产品深加工, E-mail: 17835756868@163.com

通讯作者: 夏宁 (1977-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农副产品深加工, E-mail: xianing@gxu.edu.cn

3%~4% and 0.9%~1.2%, respectively, indicating that the salt content increased more significantly for egg white. Furthermore, the salt mass fraction significantly impacted water removal and salt infiltration ($P<0.05$). On day 25 of pickling, the improved method resulted in an oil yield and sandiness exceeding 65% and 90%, respectively, and the yolk texture properties reached the level of those on day 40 when using the traditional method. Moreover, the yolk particle structure became loose, and the formation rate of the hard inner core in yolks was obviously reduced. On day 40 of pickling, the improved method resulted in a salt content in egg white below 4% and a salt content in egg yolk over 0.9%. Therefore, compared with the traditional method, the improved mud-packing method reduced the saltiness of mature salted duck eggs without lowering their oily, loose, and sandy quality. This study can provide a theoretical basis for improving the traditional mud-packing method and optimizing the quality of salted duck eggs.

Key words: salted sea duck eggs; traditional mud-packing method; yolk oil yield and sandiness; quality

北海海鸭蛋是广西沿海地区极具特色的地方传统产品, 产自于以海边滩涂鱼、虾、蟹、贝类、藻类等^[1]为食的海鸭, 其富含卵磷脂、钙铁锌等矿物质和维生素, 营养价值丰富, 其鲜蛋产量及其加工产业规模占据全国海鸭蛋市场份额的 70% 以上。目前广西海鸭蛋的主要加工形式是进行传统红泥腌制, 并进行热加工生产即食咸蛋产品。该工艺腌制的海鸭蛋品质优良, 主要体现出蛋黄口感松沙、色泽鲜艳、出油较多, 但仍存在达到该品质需要较长的腌制周期, 一方面引起蛋清含盐量过高(质量分数 4%~6%), 蛋黄品质不稳定, 另一方面增加企业在腌蛋中的原料成本。因此, 对海鸭蛋进行传统盐泥腌制的工艺需要改进, 也需要对其腌制过程中的品质形成及变化规律进行探讨。

目前国内外对咸鸭蛋的腌制工艺的改进集中在采用超声波辅助技术^[2]、脉动压技术、超声波+脉动压联用^[3]辅助技术、磁电辅助工艺^[4]、真空减压技术^[5]、循环水工艺^[6]等新方法的应用; 其中腌制方法、食盐用量、腌制温度、腌制时间、添加剂等的改变都将改变其渗透环境^[7-11]进而影响咸鸭蛋的品质; 这些品质变化主要集中在不同腌制方法形成的蛋黄硬化率、出油率、鸭蛋含盐量、含水量等^[12-14]的变化规律上。因此有学者们^[15]通过先用 19% 质量分数的盐水腌制 15~20 d, 再用 3.5% 质量分数的淡盐水继续腌制的方法, 使得咸蛋的含盐质量分数比传统腌制降低 51.21%, 但其品质并未达到理想的效果。由于目前对咸鸭蛋的研究主要集中在工业化的液体腌制及固体盐泥腌制, 对于半固体盐泥腌制的方法及品质变化规律还缺乏探讨。半固体盐泥腌制中水分与盐分的扩散速度及蛋黄的内聚性、胶粘性等质构特性与传统方法存在差异, 进而对品质特征尤其是蛋黄松沙出油影响很大。因此, 在保持北海海鸭

蛋品质特征的基础上, 达到减盐不减品质的目的, 结合液体腌制和传统固体盐泥腌制的优点, 对传统盐泥腌制法改进后进行咸海鸭蛋的腌制。且在前期预实验, 结合产业对腌制成熟的鸭蛋含盐量的要求, 经过总结和优化, 确定腌制阶段终点为蛋清含盐质量分数达到 3.5%^[16], 此时进行后熟既能保证降低海鸭蛋的最终含盐量, 又能保证咸蛋黄的出油、起沙及优良口感。

因此, 在前人研究基础上, 该研究对传统盐泥腌制法进行改进, 并探讨改变腌制液盐分质量分数对改进盐泥法腌制过程中鸭蛋清与蛋黄物理化学特性及品质规律的影响, 达到缩短腌制周期、降低含盐量并兼顾咸海鸭蛋品质的目的, 为推进传统盐泥腌制咸鸭蛋的工艺改进与品质优化提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

海鸭蛋、红泥购于广西北海某海鸭蛋制品厂, 单个蛋质量 65 ± 2 g; 硝酸银, 上海沪试实验室器材股份有限公司; 正己烷、异丙醇, 天津市大茂化学试剂厂; QL-720B 型快速水分测定仪, 厦门米德电子科技有限公司; RE-52AA 型旋转蒸发器, 上海亚荣生化仪器厂; CenLee18R 型离心机, 湖南湘立科学仪器; lo-vi 粘度计, 艾卡(广州)仪器设备有限公司。

1.2 方法

1.2.1 咸海鸭蛋制备方法

传统盐泥腌制法: 称取质量为 65 ± 2 g 的鲜海鸭蛋 64 枚, 经表面除菌处理, 每枚蛋均匀涂抹 15 g 盐分质量分数为 25% 的盐泥(其中红泥与水的质量比为 1:1.5), 于室温(25 °C)下静置腌制, 直

至成熟, 记为 TS。

改进盐泥腌制法: 称取质量为 65 ± 2 g 的鲜海鸭蛋, 经表面除菌处理, 分别均匀浸渍于 150 g 盐分质量分数为 15%、20%、25% 的盐泥水 (其中红泥与水的质量比为 1:1.7) 中, 进行改进盐泥腌制, 腌制阶段为 25 °C 室温下浸泡在腌制液中腌制, 每 5 d 取样测定蛋清含盐质量分数至 3.5% 后结束; 后熟阶段为将蛋清含盐量达 3.5% 的鸭蛋取出, 洗净盐泥, 晾干, 并置于 15 °C 环境下进行盐的扩散, 直至鸭蛋腌制成熟。分别记为 SS-15、SS-20、SS-25。

1.2.2 咸海鸭蛋质量及质量变化率的测定

在腌制过程中, 每 5 d 测一次蛋质量 M_t , 并与其初始蛋质量 M_0 作比较。根据式 (1) 计算质量变化率 ΔM 。

$$\Delta M = \frac{M_t - M_0}{M_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

ΔM ——海鸭蛋质量变化率, %;

M_t ——腌制 t 时间的海鸭蛋质量, g;

M_0 ——未腌制的海鸭蛋质量, g。

1.2.3 咸海鸭蛋含水量的测定

在海鸭蛋的腌制过程中, 每 5 d 取样, 采用快速水分测定仪分别进行蛋清与蛋黄含水量的测定。

1.2.4 咸海鸭蛋含盐量的测定

在海鸭蛋的腌制过程中, 每 5 d 取样, 采用 GB 5009.44 银量法分别进行蛋清与蛋黄含盐量的测定。

1.2.5 咸海鸭蛋蛋清粘度的测定

在海鸭蛋的腌制过程中, 每 5 d 取样, 分离蛋清, 用纱布过滤混匀, 取 35 mL 于 50 mL 离心管中, 采用旋转粘度计检测腌制过程中蛋清粘度的变化, 转速为 60 r/min。

1.2.6 咸海鸭蛋蛋黄出油率的测定

在海鸭蛋的腌制过程中, 每 5 d 取样, 将咸鸭蛋于沸水中煮制 15 min 后分离得到熟制咸蛋黄样品, 称取 3 g 蛋黄加 25 mL 正己烷-异丙醇溶液 ($V/V=3/2$) 提取油脂, 恒重后记为总脂肪质量 M_T 。同时取 3 g 蛋黄先用蒸馏水进行游离脂肪的提取再用正己烷-异丙醇溶液 ($V/V=3/2$) 对其进行萃取, 恒重后记为游离脂肪质量 M_F ^[17]。根据式 (2) 计算蛋黄出油率 ΔF 。

$$\Delta F = \frac{M_F}{M_T} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

ΔF ——蛋黄出油率, %;

M_F ——蛋黄中游离脂肪质量, g;

M_T ——蛋黄中总脂肪质量, g。

1.2.7 咸海鸭蛋蛋黄松沙性的测定

根据李萌等^[18]的方法, 并稍做修改。每 5 d 取样, 将咸鸭蛋于沸水中煮制 15 min 后分离得到熟制咸蛋黄样品, 称取 5 g 咸蛋黄加入到 50 mL 石油醚中, 充分搅拌 3 min, 过筛 (20 目), 将标准筛连同剩余蛋黄颗粒恒重, 平行测量 5 次。根据式 (3) 计算蛋黄松沙性。

$$G = \frac{G_1 - (G_3 - G_2)}{G_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

G ——蛋黄松沙性, %;

G_1 ——咸蛋黄质量, g;

G_2 ——标准筛质量, g;

G_3 ——恒重后标准筛质量, g。

1.2.8 咸海鸭蛋蛋黄硬心统计

腌制过程中咸鸭蛋经沸水煮制 15 min 后分离蛋黄, 将蛋黄剖开一分为二, 观察蛋黄内部有浅黄色或白色硬块, 即记为有硬心, 有硬心的蛋黄个数占全部蛋黄个数的比例即为硬心率^[19]。

1.2.9 咸海鸭蛋蛋黄微观及形貌观察

称取 2 g 熟制后均匀研碎的蛋黄样品, 在 2.5% 的戊二醛溶液中固定 20 h, 使用 pH 值为 7.2 的 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲液浸泡 24 h, 依次用体积分数 50%、70%、90%、95%、100% 的乙醇浸泡 10 min 进行梯度脱水, 冻干后研磨成粉。置于离子溅射仪中镀金, 喷金时间为 60 s, 调节电镜放大至合适倍数, 观察并拍照^[20]。

1.2.10 咸海鸭蛋蛋黄质构特性的测定

腌制过程中咸鸭蛋经沸水煮制 15 min 后分离得到熟制蛋黄样品, 采用 TPA 模式进行蛋黄质构特性的分析, 选择 P/35 探头, 测定前探头速度为 5 mm/s, 测定时探头速度为 1 mm/s, 测定后探头速度为 1 mm/s, 50% 压缩比、并进行两次轴向压缩、间隔时间为 5 s。主要测定指标为内聚性、弹性、胶粘性、咀嚼性和硬度, 所有样品平行测量六次^[21]。

1.3 数据处理及分析

每组实验至少重复 3 次, 结果用平均值 $\pm$ 标

准差 (SD, $n \geq 3$) 表示。采用 IBM SPSS Statistics 26.0 对数据进行统计分析, 显著水平小于 0.05 时认为差异显著, 大写字母不同表示不同腌制方法间差异显著, 相同表示差异不显著; 小写字母不同表示不同腌制时间差异显著, 相同则表示差异不显著。数据绘图采用 Origin 2023 软件。

2 结果与讨论

2.1 海鸭蛋腌制过程中质量及质量变化率

海鸭蛋在传统盐泥腌制及不同盐分质量分数的改进盐泥腌制中, 鸭蛋的质量及质量变化率如图 1 所示。由图 1 可知, 改进盐泥腌制的鸭蛋质量及质量变化率呈先增加后减小的状态, 但其变化幅度不大, 鸭蛋质量均维持在 64~66 g, 质量变化率维持在 1%~3%; 而传统盐泥腌制的鸭蛋质量始终处于减少状态, 其质量由最初的 66 g 降低到 61 g 左右, 质量变化率从最初的 2% 的增加状态逐渐过渡到 -6% 的减少状态, 表明传统盐泥腌制成熟后, 鸭蛋的质量是显著降低的 ($P < 0.05$)。当改进盐泥法的腌制液盐分质量分数从 15% 增加到 20%, 鸭蛋的质量变化率会呈现显著增加状态 ($P < 0.05$), 但持续增加到质量分数为 25%, 增加幅度不大, 且差异不显著 ($P > 0.05$)。

在腌制 20 d 后, 鸭蛋处于改进盐泥腌制的后熟阶段, 即只存在盐在鸭蛋内部的扩散, 在这个阶段, 随着扩散时间的延长, 鸭蛋的质量略有下降, 但变化不明显, 且腌制液的盐分质量分数对其影响不显著 ($P > 0.05$)。推测引起鸭蛋在腌制过程中质量发生变化的主要原因是盐分的渗入引起的质量增加, 以及蛋清与蛋黄中水分的渗出与蒸发引起质量降低的综合呈现。改进盐泥腌制可以有效减少鸭蛋质量的损失。

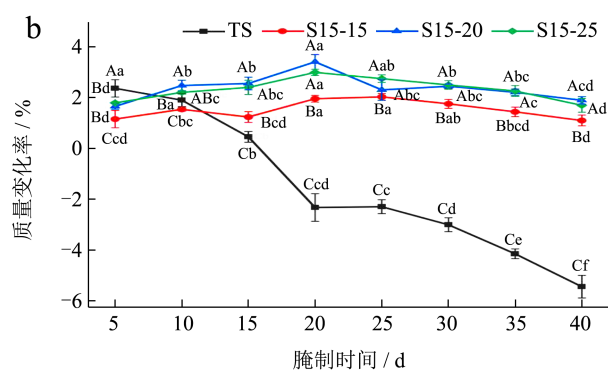
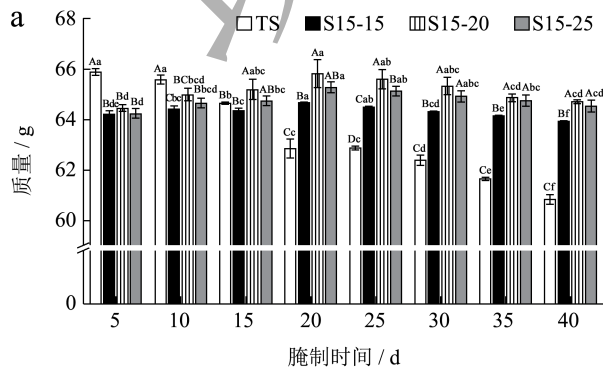


图 1 海鸭蛋腌制过程中质量 (a) 及质量变化率 (b)

Fig.1 Changes in quality (a) and quality change rate (b) during the pickling process of sea duck eggs

注: 大写字母不同表示不同腌制组间差异显著 ($P < 0.05$), 小写字母不同表示不同腌制时间差异显著 ($P < 0.05$)。图 2~4、6、8 同。

2.2 海鸭蛋腌制过程中含水量的变化

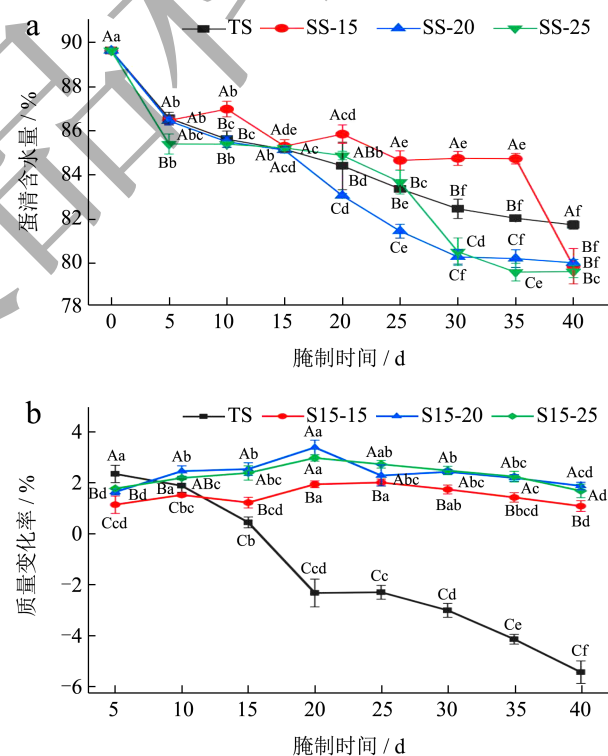


图 2 海鸭蛋腌制过程中蛋清 (a) 及蛋黄 (b) 含水量的变化

Fig.2 Changes in water content of egg white (a) and egg yolk (b) during the pickling process of sea duck eggs

海鸭蛋在传统盐泥腌制及不同盐分质量分数的改进盐泥腌制中, 蛋清、蛋黄含水量的变化如图 2 所示。由图 2 可知, 两种方法所腌制的咸鸭

蛋清和蛋黄的含水量均呈现显著下降的趋势 ($P<0.05$), 蛋清含水量由质量分数 89% 左右降至 80% 左右, 而蛋黄内的水分则由从初始的质量分数 46% 左右降至 20% 左右, 降幅与蛋清相比较为明显。这表明在腌制过程中由于盐的持续渗透, 使蛋内的亲水基团与亲油基团相互分离, 蛋黄的结构受到破坏, 因此蛋内的游离态水分子有所增加^[21], 并通过蛋清扩散到腌制液中, 引起腌制结束后含水量的降低, 导致蛋黄的失水量大于蛋清的失水量。改进盐泥法腌制的蛋黄含水量下降趋势要显著高于传统盐泥腌制 ($P<0.05$), 但蛋清的含水量下降趋势差异不大。在后熟阶段, 即 20~40 d 内, 蛋清及蛋黄的含水量分别达到质量分数 80% 与 17%, 逐渐趋于稳定; 蛋清和蛋黄中含水量的差异也会导致蛋内渗透压不同, 进而影响水分迁移的速率^[22]。

在改进盐泥腌制中, 腌制液的盐分质量分数对水分下降趋势的整体影响显著 ($P<0.05$)。当其盐分质量分数从 15% 增加到 20%, 蛋清含水量降低的较快, 蛋黄含水量无显著差异; 但增加到 25%, 蛋清含水量在腌制 30 d 降低的较快, 蛋黄含水量呈现显著差异。但随着腌制液盐分质量分数从 15% 增加到 25%, 腌制 40 d 的蛋清含水量从质量分数 79.86% 降低到 79.62%, 整体变化 0.1%; 蛋黄含水量从质量分数 17.40% 降低到 16.74%, 整体变化不超过质量分数 1%, 在 Kaewmanee 等^[11]的研究中, 鸭蛋在盐水腌制过程中, 随着腌制液分质量分数的增加, 鸭蛋含水量也呈降低趋势。这进一步说明在腌制条件不变的前提下, 蛋清与蛋黄的含水量随腌制时间的延长而降低。这主要是在腌制过程中盐的高渗透压作用下, 导致水从蛋黄向蛋清扩散, 然后通过蛋黄膜、蛋清膜和蛋壳孔隙排出鸭蛋外部, 最终导致蛋黄和蛋清中的含水量下降。

2.3 海鸭蛋腌制过程中含盐量的变化

海鸭蛋在传统盐泥腌制及不同盐分质量分数的改进盐泥腌制中, 蛋清、蛋黄含盐量的变化如图 3 所示。由图 3 可知, 两种方法所腌制的咸鸭蛋蛋清和蛋黄的含盐量整体均呈现上升的趋势, 蛋清含盐量由质量分数 0.2% 增加到 3%~4%, 增幅较为明显; 而蛋黄含盐量由质量分数 0.2% 增加到 0.9%~1.2%。这是由于蛋内外的渗透压差使蛋清、蛋黄有不同程度的脱水。传统盐泥腌制的蛋清含盐量始终处于增

加状态, 腌制 40 d 达到质量分数 4.49%。后熟阶段蛋清含盐量出现不同程度的降低, 降幅在质量分数 1% 左右。这表明腌制过程鸭蛋清中渗透压差较大, 盐分渗入速度较快; 而后熟阶段, 其渗透压差明显减小, 盐分渗透速度降低, 主要表现为盐分从蛋清扩散到蛋黄中, 使蛋清含盐量略微降低。因蛋黄中脂质质量分数高达 33% 左右, 且随着腌制时间的延长逐渐凝固成型, 导致蛋黄中盐分渗透较为缓慢, 荣建华等^[14]对咸蛋腌制动力学的研究中, 发现蛋黄的盐分扩散系数比蛋清小, 其盐分渗透速度也比蛋清小。在改进盐泥腌制中, 腌制液的盐分质量分数对蛋清含盐量的影响显著 ($P<0.05$)。其盐分质量分数从 15% 增加到 25%, 蛋清含盐量显著增加, 腌制 30 d 的蛋清含盐量变化最大, 从质量分数 2.7% 增加到 4.8%, 但当其腌制到 40 d, 随盐分质量分数的增加整体变化不超过质量分数 0.5%; 蛋黄的含盐量变化并不完全随着腌制液盐分质量分数的增加而增加, 这可能是由于海鸭蛋本身就是一个复杂的体系, 盐分的渗透经由外界腌制液、蛋壳、蛋清, 最终到达蛋黄内部, 不可避免会受到蛋壳与壳膜屏蔽和吸附的影响^[23]以及其他的因素干扰。腌制 40 d, 改进盐泥腌制的蛋黄含盐量比传统盐泥腌制高 0.1%~0.3% 的质量分数, 改进盐泥腌制的咸鸭蛋在 40 d 才能达到蛋清降盐、蛋黄增盐的效果, 但这表明后熟阶段对于增加蛋黄含盐量, 即改善蛋黄品质是必要的, 因为盐分与蛋黄的出油率、起沙性等品质特征有直接影响。再次说明后熟阶段是针对蛋黄的继续腌制, 即盐分扩散^[24]。

总的来说, 传统盐泥腌制的咸海鸭蛋始终处于失水量远大于食盐渗入量的状态, 故鸭蛋质量逐渐降低。改进盐泥腌制的咸海鸭蛋虽然也处于失水量大于食盐渗入量的状态, 但海鸭蛋内部的盐分和水分的动态变化的, 腌制阶段, 鸭蛋浸泡在腌制液中, 由于在湿腌环境中, 水分的损失不明显, 海鸭蛋中因为盐分渗入导致水分渗出, 同时也会有一部分水进入鸭蛋内, 故鸭蛋内的水分呈现动态平衡, 因而鸭蛋质量变化率总体呈现增加的趋势。后熟阶段, 鸭蛋脱离腌制液, 食盐渗入量小于鸭蛋脱水程度, 蛋壳表面分布的呼吸作用的气孔导致鸭蛋内的水分不断向外逸出, 因而总体表现为鸭蛋质量的减少。这也很好的解释了海鸭蛋腌制过程中的质量变化。

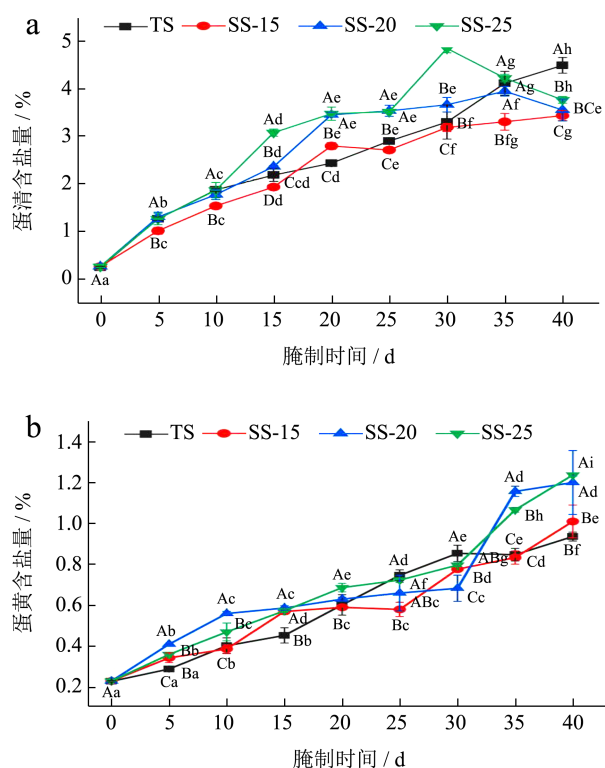


图3 海鸭蛋腌制过程中蛋清 (a) 及蛋黄 (b) 含盐量的变化

Fig.3 Changes in salt content of egg white (a) and egg yolk (b) during the pickling process of sea duck eggs

2.4 海鸭蛋腌制过程中蛋清粘度的变化

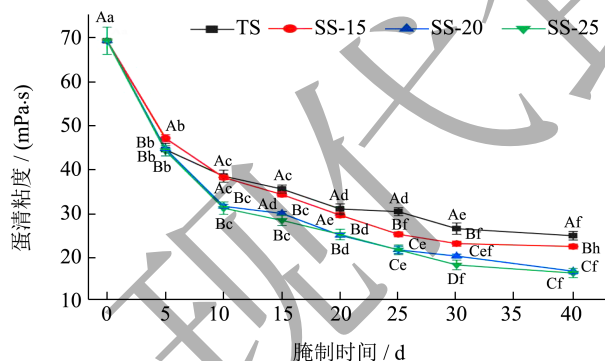


图4 海鸭蛋腌制过程中蛋清粘度的变化

Fig.4 Changes in egg white viscosity during the pickling process of sea duck eggs

海鸭蛋在传统盐泥腌制及不同盐分质量分数的改进盐泥腌制中, 鸭蛋清的粘度的变化如图4所示。由图可知, 海鸭蛋蛋清粘度的测定误差均 $<1\%$, 在腌制前10 d, 蛋清的黏度从70 mPa·s 急剧下降到32~39 mPa·s, 随后变化趋于平缓, 且改进盐泥腌制的蛋清粘度均低于传统盐泥腌制的样品。腌制液盐分质量分数在15%~20%的范围内, 随着腌

制液盐分质量分数的增加, 蛋清粘度会有所降低; 但增加到质量分数25%时, 蛋清粘度无明显差异 ($P>0.05$)。这说明随着盐分的渗入, 蛋清从高粘状态向低粘状态的转变, 是与保持蛋清蛋白特殊结构的次级键和配位键的破坏相关, 从而使得蛋白质分子由初始的刚性结构变成了松散的柔性状态^[25], 进而导致蛋清的粘度降低。此外, 粘度的降低也将进一步加快腌制液中的食盐顺利的渗入, 促使鸭蛋快速达到腌制成熟。

2.5 海鸭蛋腌制过程中蛋黄出油率及松沙性的变化

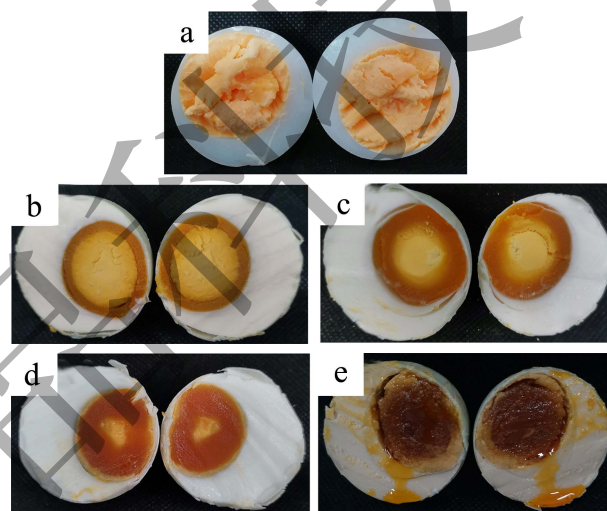


图5 海鸭蛋腌制过程中蛋黄的形貌变化

Fig.5 Morphological changes of yolks during pickling of sea duck eggs

注: a 为0 d, b 为10 d, c 为20 d, d 为30 d, e 为40 d。

海鸭蛋在传统盐泥腌制及不同盐分质量分数的改进盐泥腌制中, 鸭蛋黄出油率及松沙性的变化如图5、6所示。海鸭蛋腌制过程中水分、盐分及蛋清粘度的变化均反应了鸭蛋的腌制成熟度, 但出油率及松沙性更直观地反映其在腌制成熟后的品质变化的状态。由图5可看出, 在腌制过程中, 蛋黄逐渐呈现较好的出油状态和松沙感。由图6a可知, 海鸭蛋蛋黄出油率的测定误差均 $<1\%$, 蛋黄出油率呈现腌制阶段的上升及后熟阶段的平缓趋势。改进盐泥腌制的样品出油率从最初的质量分数3%快速增加到65%左右, 增加幅度远高于传统盐泥腌制所能达到的最高出油率质量分数52%, 但蛋黄出油率随腌制液盐分质量分数的增加只出现1%~3%的变化, 在邱思^[26]的研究中, 蛋黄出油率同样呈先增加后趋于稳定的趋势。引起这种变化的原因主要是食盐的渗入及水分的渗出破坏了蛋黄的胶体结构, 食盐中

的 Na^+ 会逐步取代蛋黄颗粒中的 Ca^{2+} , 从而破坏以钙磷桥复合物键合的脂蛋白-蛋黄高磷蛋白的形式, 游离脂蛋白被稀释, 因此油脂不断渗出, 聚集成明显可见的油液, 即呈现“出油”的状态^[27]。总而言之, 采用改进盐泥腌制可使蛋黄较传统盐泥腌制更快出油, 更快达到良好的蛋黄品质。但随着盐分质量分数的增加, 蛋黄中游离油脂含量的增加也会阻碍了盐的进一步渗入, 因此高浓度盐溶液对蛋黄中出油率的影响没有显著差异 ($P>0.05$)。采用改进盐泥腌制可使蛋黄较传统盐泥腌制更快出油, 更快达到良好的蛋黄品质。

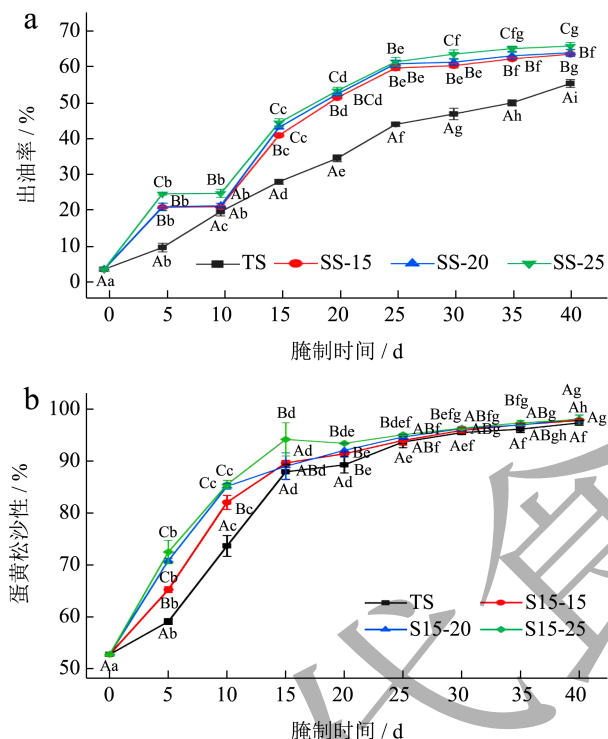


图6 海鸭蛋腌制过程中蛋黄出油率 (a) 及起沙性 (b) 的变化

Fig.6 Changes in oil production rate (a) and sandification property (b) of egg yolk during the pickling process of sea duck eggs

腌制成熟的咸海鸭蛋既要保持蛋黄出油的特征, 也要保持蛋黄的松沙特性。由图 6b 可知, 腌制过程中海鸭蛋蛋黄的松沙性均呈现逐渐增加的状态 ($P<0.05$)。腌制 20 d 后, 均可达到质量分数 90%, 之后逐渐趋于平缓。在 15%~20% 质量分数的腌制液中, 蛋黄出油率变化不显著, 腌制前 10 d 蛋黄起沙性显著增加; 当其腌制液质量分数增加到 25%, 蛋黄出油率、起沙性显著增加。蛋黄松沙性是盐分渗入使得蛋黄内的脂肪游离出来形成小颗粒^[18], 作为判定优质咸鸭蛋黄重要的品质指标,

改进盐泥腌制可以加快腌制过程中蛋黄松沙性的形成, 并结合蛋黄的高出油率, 形成品质良好的咸海鸭蛋产品。

2.6 海鸭蛋腌制过程中蛋黄硬心率及微观形貌表征

海鸭蛋在传统盐泥腌制及不同盐浓度的改进盐泥腌制中, 鸭蛋黄硬心率的变化如表 1 所示。由表 1 可知, 咸蛋黄腌制过程中硬心率显著降低 ($P<0.05$), 腌制前 20 d, 蛋黄硬心率均为 100%, 腌制 40 d 时, 各组间蛋黄硬心率差异显著 ($P<0.05$), 传统盐泥腌制及盐分质量分数为 15%、20%、25% 的改进盐泥腌制的咸蛋黄硬心率分别为 44.44%、22.22%、11.11%、8.33%。腌制 30 d 后, 随着腌制液盐分质量分数的增加, 蛋黄硬心率显著降低, 由此可知, 经过改进盐泥腌制的咸蛋黄硬心率明显降低, 充分说明改进的盐泥腌制方式比传统盐泥腌制得到的咸蛋黄品质较好。

海鸭蛋在改进盐泥腌制中, 鸭蛋黄的微观结构及剖面形貌如图 7 所示。由图可知, 熟制蛋黄颜色由浅黄到橙红, 内部黄色圈越来越小, 直至蛋黄成熟; 所有区域的卵黄球呈 30~75 μm 的均匀多面体, 且紧密堆积, 这些球体的表面略有凹凸不平, Hsu 等^[28]的研究证实了经过蒸煮后蛋黄球体的大小、形状和排列。腌制 20 d 后, 蛋黄的堆积开始变得松散, 并略有皱缩; 腌制 40 d 时, 与新鲜蛋黄相比, 其蛋黄球堆积得更疏松, 边缘更少棱角, 且明显可以看出颗粒状的增加, 可能是由于在腌制期间, 随着盐的渗入, 蛋白质部分变性降解所致。同时, 随着腌制过程中蛋黄中出油增多, 蛋黄之间形成油包水型界面^[29], 蛋黄颗粒之间由于游离脂肪酸的阻隔导致颗粒之间变得疏松。

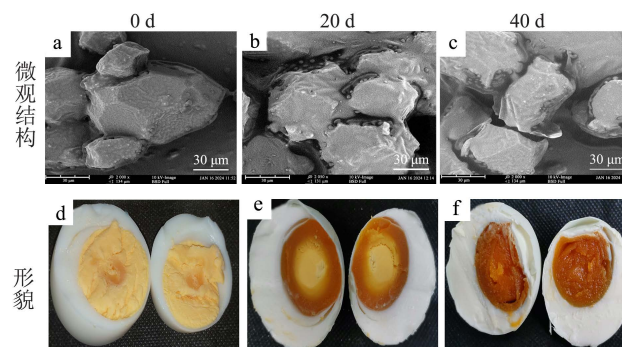


图7 海鸭蛋腌制过程中蛋黄微观结构及形貌的变化

Fig.7 Changes in the microstructure and morphology of egg yolks during the pickling process of sea duck eggs

表 1 海鸭蛋腌制过程中蛋黄硬心率变化				
Table 1 Changes in yolk hard core rate during pickling of sea duck eggs				
腌制时间/d	TS	SS-15	SS-20	SS-25
10	100.00 ± 0.00 ^{Aa}	100.00 ± 0.00 ^{Aa}	100.00 ± 0.00 ^{Aa}	100.00 ± 0.00 ^{Aa}
20	100.00 ± 0.00 ^{Aa}	100.00 ± 0.00 ^{Aa}	100.00 ± 0.00 ^{Aa}	100.00 ± 0.00 ^{Aa}
30	97.22 ± 4.81 ^{Ab}	94.45 ± 4.81 ^{Bb}	91.67 ± 8.34 ^{Cb}	88.89 ± 4.82 ^{Db}
40	44.44 ± 12.73 ^{Ac}	22.22 ± 4.81 ^{Bc}	11.11 ± 4.82 ^{Cc}	8.33 ± 8.34 ^{Dc}

注：同一行大写字母不同表示不同腌制组间差异显著 ($P<0.05$)，同一列小写字母不同表示不同腌制时间差异显著 ($P<0.05$)。

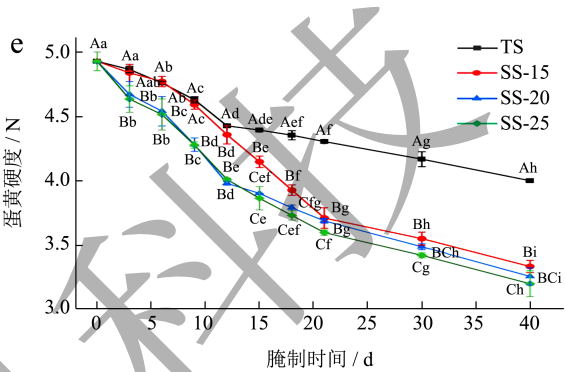
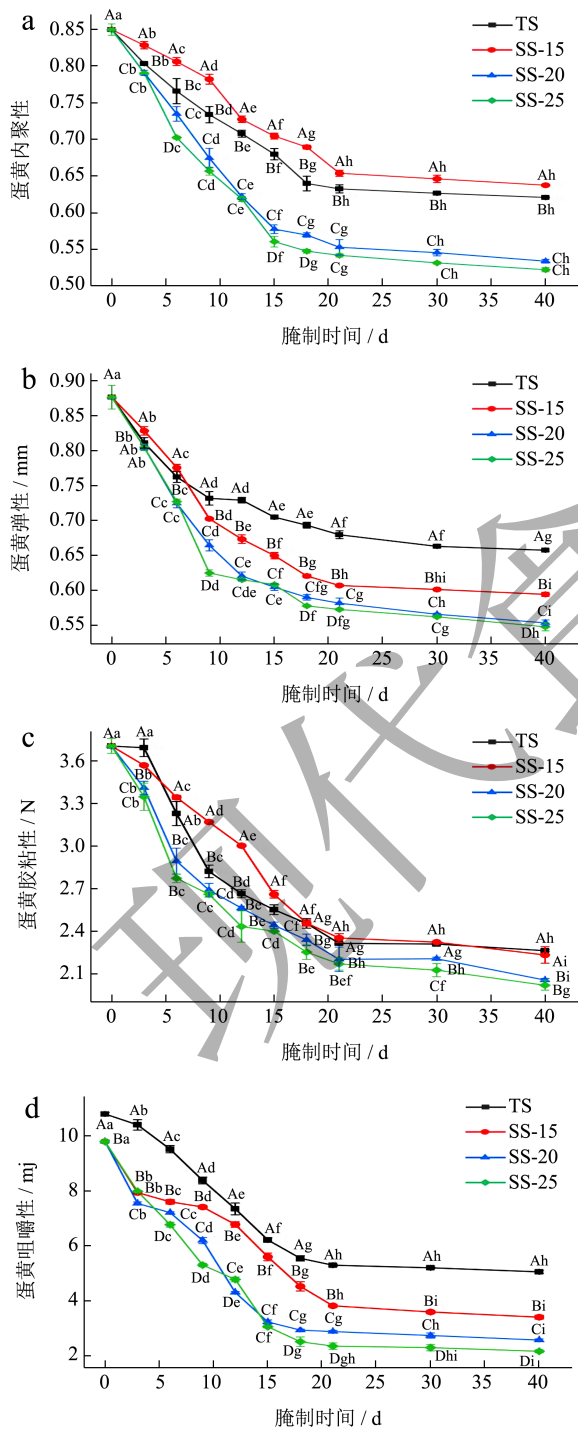


图 8 海鸭蛋腌制过程中蛋黄质构特性的变化
Fig.8 Changes in the texture characteristics of egg yolks during the pickling process of sea duck eggs

2.7 海鸭蛋腌制过程中蛋黄质构特性的变化

海鸭蛋在传统盐泥腌制及不同盐浓度的改进盐泥腌制中，鸭蛋黄的质构特性变化如图 8 所示。由图可知，蛋黄内聚性、弹性、胶粘性、咀嚼性、硬度均随腌制时间的延长而显著减小 ($P<0.05$)，随着腌制液盐浓度的增加而减小。传统盐泥腌制的蛋黄内聚性、弹性、胶粘性、咀嚼性、硬度分别由最初的 0.85、0.88 mm、3.70 N、10.79 mj、4.93 N 在腌制 40 d 降低到 0.63、0.68 mm、2.32 N、5.27 mj、4.30 N，这可能与腌制后蛋黄松沙出油有关^[25]；改进盐泥腌制的样品均比传统盐泥腌制有不同程度的降低。这说明蛋黄颗粒间变得松散，其原因是食盐可使蛋黄球破裂释放出蛋黄颗粒，促进蛋黄凝胶，提高凝胶强度；而随着腌制液盐浓度的增加，蛋黄油不断浸出，出油率不断增大，蛋黄油在蛋黄球及蛋黄颗粒之间起到润滑^[21]的作用，使得蛋黄内聚性、弹性、胶粘性、咀嚼性、硬度呈不断降低的趋势，使咸海鸭蛋具有更松沙油润的口感。

3 结论

本研究以海鸭蛋为原料，对传统盐泥腌制和改

进盐泥腌制的咸海鸭蛋的理化指标与品质特征进行研究,得出如下结论:采用改进盐泥腌制的咸海鸭蛋质量均可稳定在 64~66 g,质量变化率在 1%~3%,无较大质量损失,腌制液盐分质量分数从 15% 增加到 20%,鸭蛋的质量变化率显著增加 ($P<0.05$);其蛋黄含水量下降趋势要显著高于传统盐泥腌制 ($P<0.05$),但蛋清的含水量下降趋势差异不大,在后熟阶段,蛋清及蛋黄的含水量分别达到质量分数 80% 与 17%,逐渐趋于稳定;蛋清、蛋黄含盐量整体呈现显著增加的状态 ($P<0.05$) 蛋清含盐量由质量分数 0.2% 增加到 3%~4%,增幅较为明显;而蛋黄含盐量由质量分数 0.2% 增加到 0.9%~1.2%,腌制液的盐浓度对水分下降趋势及盐分的影响显著 ($P<0.05$)。腌制 35 d,苏鹤等^[15]采用的分段腌制的咸蛋清含盐量质量分数比本文中改进盐泥腌制法高 3.5%~4.0%,蛋黄含盐量却相差不大,仅为质量分数 1.3% 左右,说明本文中改进盐泥腌制经过前期腌制和后熟两个阶段 30~40 d 可使蛋清含盐量明显降低,蛋黄含盐量质量分数维持在 1%,因蛋黄含盐量将直接影响其品质,故改进盐泥腌制可达到减盐不减品质的目的。腌制前 10 d,蛋清的粘度从 70 mPa·s 急剧下降到 32~39 mPa·s,随后变化趋于平缓。改进盐泥腌制 25 d 可使蛋黄出油率、起沙性分别达到质量分数 65% 及 90% 以上,蛋黄内聚性、弹性、胶粘性、咀嚼性、硬度呈不断降低的趋势 ($P<0.05$)。经过改进盐泥腌制的咸蛋黄硬心率明显降低,扫描电镜结果显示,蛋黄颗粒结构逐渐疏松,颗粒间松散,相较传统盐泥腌制可以更快达到优质咸蛋黄油润松沙的品质。综上所述,改进盐泥腌制法可以平衡和控制传统盐泥腌制的生产周期与产品含盐量及蛋黄品质控制间的矛盾,对指导咸海鸭蛋加工具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 黄晨燕.脱壳湿腌咸蛋黄的生产工艺优化及品质改良[D].南昌:南昌大学,2023.
- [3] 王石泉,王树才,张益鹏,等.超声波-脉动压联用快速腌制咸鸭蛋的工艺参数优化[J].*农业工程学报*,2013,29(23): 286-292.
- [4] TAN L X, ZHENG M T, CHEN S P, et al. Changes in physicochemical properties, molecular structure and microstructure during vacuum assisted quick pickling of low-NaCl salted eggs [J]. *LWT*, 2023, 189: 115480.
- [5] 陈艺,郑萍,刘会平,等.咸蛋真空腌制过程中蛋清的理化性质变化[J].*食品研究与开发*,2022,43(3): 6-13.
- [6] 蒲跃进,杜金平,梁振华,等.循环水腌制咸蛋工艺研究[J].*中国家禽*,2010,32(16): 25-27,31.
- [7] 孙静,李开耀,向俊,等.泥腌、水腌咸蛋的理化指标和滋味品质差异分析[J].*食品安全质量检测学报*,2021, 12(21):8342-8350.
- [8] 徐群博,李秀华,肖性龙,等.腌制条件对熟制咸鸭蛋蛋黄组织形态及组成的影响[J].*食品工业科技*,2023,44(11): 80-87.
- [9] LIU Y N, CHEN J, ZOU B, et al. Evaluation of the quality and flavor of salted duck eggs with partial replacement of NaCl by non-sodium metal salts [J]. *LWT*, 2022, 172: 114206.
- [10] LEE D U, HEINZ V, KNORR D. Effects of combination treatments of nisin and high-intensity ultrasound with high pressure on the microbial inactivation in liquid whole egg [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2003, 4(4): 387-393.
- [11] KAEWMANEE T, BENJAKUL S, VISESSAN W. Effects of salting processes and time on the chemical composition, textural properties, and microstructure of cooked duck egg [J]. *Journal of Food Science*, 2011, 76(2): S139-S147.
- [12] 陈颜红,王修俊,于沛,等.咸鸭蛋腌制过程中蛋黄凝聚变化分析[J].*中国食品学报*,2023,23(4):377-389.
- [13] 徐佛言,赵欣,张晓瑞,等.基于高光谱成像的咸鸭蛋腌制品质快速检测[J].*食品工业科技*,2024,45(2):260-268.
- [14] 荣建华,张正茂,冯磊,等.咸蛋盐水腌制动力学研究[J].*农业工程学报*,2007,23(2):263-266.
- [15] 苏鹤,杨瑞金,赵伟,等.低盐咸蛋的腌制工艺及其品质研究[J].*食品与机械*,2015,31(1):186-189.
- [16] 廖明星,朱定和.咸蛋加工过程的腌制成熟机理初探[J].*食品工业科技*,2008,4:324-326.
- [17] 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, 2(88): 119-125.
- [18] 李萌,迟美龄,仝其根.咸蛋黄品质定量分析标准化研究[J].*中国农学通报*,2014,30(3):254-259.
- [19] 孙静,杜金平,杨华,等.咸蛋腌制添加抗氧化剂改善蛋黄的内质特性[J].*现代食品科技*,2021,37(1):182-191.
- [20] GAO X, LI J, CHANG C, et al. Characterization of physical properties, volatile compounds and aroma profiles of different salted egg yolk lipids [J]. *Food Research International*, 2023, 165: 112411.
- [21] KAEWMANEE T, BENJAKUL S, VISESSANGUAN

- W. Effect of NaCl on thermal aggregation of egg white proteins from duck egg [J]. Food Chemistry, 2011, 125(2): 706-712.
- [22] XU L L, ZHAO Y, XU M S, et al. Effects of salting treatment on the physicochemical properties, textural properties, and microstructures of duck eggs [J]. Plos One, 2017, 12(8): e182912.
- [23] 吕静.壳蛋腌制渗透工艺的研究[D].武汉:华中农业大学,2020.
- [24] CHAIYASIT W, BRANNAN R G, CHAREONSUK D, et al. Comparison of physicochemical and functional properties of chicken and duck egg albumens [J]. Revista Brasileira de Ciência Avícola, 2019, 21(1): 5-9.
- [25] 李帅俊,凌刚.咸鸭蛋的快速腌制技术及改善其品质的研究[J].食品工业科技,2006,2:95-96.
- [26] 邱思.咸蛋黄制备过程中理化指标变化规律的研究[J].食品工业,2011,11:53-55.
- [27] ZOU L G, WANG Q, ZENG L P, et al. Quality evaluation and lipidomics analysis of salted duck egg yolk under low-salt pickling process [J]. Food Chemistry: X, 2022, 16: 100502.
- [28] HSU K C, CHUNG W H, LAI K M. Histological structures of native and cooked yolks from duck egg observed by SEM and cryo-SEM [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2009, 57(10): 4218-4223.
- [29] LIU Y T, CHI Y J, CHI Y. Water filling of rapidly salted separated egg yolks: Characterization of water migration, aggregation behavior and protein structure [J]. Food Chemistry Advances, 2023, 2: 100274.