

泥腌、水腌咸蛋的理化指标和滋味品质差异分析

孙静¹, 李开耀¹, 向俊², 杜金平^{1*}

(1. 湖北省农业科学院畜牧兽医研究所, 武汉 430064; 2. 湖北神丹健康食品有限公司, 武汉 430070)

摘要: **目的** 研究单个泥腌与大缸水腌加工咸蛋品质的差异。**方法** 在18℃恒温下、用25.5% (m/m)的盐水水腌和25%的盐泥腌咸蛋, 测定腌制过程中咸蛋含盐率、含水率、游离氨基酸、感官评价等指标, 分析泥腌、水腌咸蛋盐分渗透规律、咸蛋含盐含水与感官品质间相关性、氨基酸味道强度值与滋味品质间的关系。**结果** 水腌咸蛋25 d成熟, 蛋白含盐率4.99%、蛋黄含盐率1.18%, 蛋内进盐量1.87 g, 盐利用率8.68%; 泥腌蛋35 d成熟, 蛋白含盐率3.53%、蛋黄含盐率1.87%, 蛋内进盐量1.48 g, 盐利用率38.95%。咸蛋的R值(蛋白或蛋黄的含盐含水比)、Q值(蛋黄与蛋白的平衡系数)、N值(蛋白蛋黄含盐比)均与感官品质显著相关($P<0.05$)。**结论** 单个泥腌制作的咸蛋蛋白不咸、蛋黄咸鲜, 品质更好, 其盐分利用率高于水腌方式。咸蛋的R值、Q值、N值可作为评价咸蛋综合感官品质和成熟度的定量指标。

关键词: 咸蛋; 腌制方式; 游离氨基酸; 味道强度值; 定量指标

Comparison of physical and chemical indexes and taste quality of salted egg in single mud-salted and water-salted methods

SUN Jing¹, LI Kai-Yao¹, XIANG Jun², DU Jin-Ping^{1*}

(1. Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China;
2. Hubei Shendan Healthy Food Co., Ltd., Wuhan 430070, China)

ABSTRACT: Objective To study the difference of salted egg quality between single mud salting and large vat water salting. **Methods** The salted eggs were salted in 25.5% (m/m) salt water and 25% salt mud at 18 °C. The salt content, water content, free amino acid and sensory evaluation of salted eggs were determined, the salt permeation law of mud-cured and water-cured salted eggs, the correlation between salty water content and sensory quality, the relationship between amino acid taste intensity and taste quality were analyzed. **Results** The salted eggs matured in 25 d, the salt content of protein was 4.99%, the salt content of yolk was 1.18%, the salt content in eggs was 1.87 g, and the salt utilization rate was 8.68%; The salt content of protein was 3.53%, the salt content of egg yolk was 1.87%, the salt content in egg was 1.48 g, and the salt utilization rate was 38.95%. The R value (salt water ratio of protein or yolk), Q value (balance coefficient between yolk and protein) and N value (salt ratio of protein and yolk) of salted eggs were relevant with sensory quality ($P<0.05$). **Conclusion** The salted egg protein made by single mud pickling is not salty, the egg yolk is salty and fresh, the quality is better, and its salt utilization rate is higher than that of salty water curing. The R value, Q value and N value of salted eggs

基金项目: 国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-42-26)、湖北省动物胚胎工程与分子育种重点实验室项目(2021ZD108)、湖北省科技支撑计划项目(2018ABA112)

Fund: Supported by the National Modern Agricultural Industrial Technology System Project (CARS-42-26), the Hubei Provincial Key Laboratory of Animal Embryo Engineering and Molecular Breeding (2021ZD108), and the Science and Technology Support Program of Hubei Province (2018ABA112)

***通信作者:** 杜金平, 研究员, 主要研究方向为家禽育种与产品加工研究。E-mail: ddjinpin@163.com

***Corresponding author:** DU Jin-Ping, Professor, Institute of Animal Husbandry and Veterinary Science, Hubei Academy of Agricultural Science, Wuhan 430064, China. E-mail: ddjinpin@163.com

can be used as quantitative indexes to evaluate the comprehensive sensory quality and maturity of salted eggs.

KEY WORDS: salted eggs; salting methods; free amino acids; taste strength value; quantitative indicators

0 引言

咸蛋是我国具有 600 年制作历史的、深受消费者喜爱的传统特色食品之一。传统加工咸蛋的方式有高浓度盐水大缸浸泡腌制、黄泥或草木灰包裹腌制, 其中水腌的特点是配料简捷易操作、制作周期短, 缺点是蛋白过咸, 部分咸蛋白盐分高达 6~10 g/100 g 蛋白, 风味品质较差, 不符合现代食品低盐健康消费理念; 且食盐使用量过大, 生产的高盐腌制料难排放^[1]。刘瑶^[2]通过降低腌制盐浓度的方式减少食盐的使用和咸蛋白盐分, 但发现对咸蛋保质期有不利影响; 单个泥腌的特点是采用红黏土与食盐混合, 按蛋重的一定比例配泥配料, 保证每枚鸭蛋均匀分配带盐泥料, 可保证鸭蛋成熟一致性、均匀性, 制得的咸蛋白不咸, 蛋黄出油良好, 缺点是制作周期长于水腌法, 料泥配制与包泥操作较烦琐, 目前有林伟等^[3]、涂勇刚等^[4]研发了可自动配料裹泥的专门化设备, 降低了单个泥腌咸蛋的人工劳力成本。孙静等^[5-7]研究了咸蛋单个腌制技术, 通过配方配盐、精细腌制、包装熟制等工艺优化, 改良了传统泥腌工艺, 可控制蛋白咸度在适宜范围, 蛋黄无黑圈硬心、出油多, 得到较好效果。

LAI 等^[8]在研究腌制期内水腌咸蛋黄状态的变化时将含盐的蛋内容物类比食盐水溶液, 指出液相样品中食盐浓度的比较应考虑含水率, 提出了 R 值(含盐系数)和 Q 值(蛋黄与蛋白的平衡系数); 张晓维等^[9]研究了真空减压咸蛋与水腌、泥腌咸蛋理化性质的差异, 利用流体动力学机理和变形松弛现象解析了压力改变对鸭蛋内质的影响。但以上研究均未对理化指标与感官指标之间相关性开展分析比较。

本研究使用咸蛋单个腌制技术, 对比了单个泥腌咸蛋与传统水腌咸蛋的理化指标, 测定了腌制过程中可盐分渗透情况的含盐率、含水率和游离氨基酸组成, 结合蛋壳、蛋白、蛋黄和风味对咸蛋开展感官评价, 分析了理化指标之间相关性、理化指标与感官品质间相关性, 以期比较不同加工方式的优劣性, 凸显出咸蛋单个腌制、精细腌制的优越性, 为咸蛋精细腌制未来的应用提供理论支持。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

鸭蛋: 来自武汉鑫天牧农业科技发展有限公司, 鸭蛋均重 70.00 g(蛋白约 37.80 g、蛋黄约 23.80 g); 食盐(食品级, 湖北盐业集团有限公司); 铬酸钾、氯化钠(NaCl)、硝酸银、异辛烷、乙二胺四乙酸(ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA)、三氯乙酸、丙二醛、磷酸(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

DHG930A 型烘箱(上海精宏实验设备有限公司);

AD-200L-H 型高速分散乳化机(上海昂尼仪器有限公司); Nanodrop 型紫外分光光度计(美国热点公司); HP-5890 型气相色谱仪(美国安捷伦公司); 通风橱(武汉新天实验装备有限公司); R301 型恒温水浴锅(巩义市英峪高科仪器厂); SYKAM 433D 型氨基酸全自动分析仪(德国 SYKAM 公司)。

1.2 鸭蛋腌制方法

在 18 °C 恒温下、用 25.5% (m/m) 的盐水水腌和 25% 的盐泥腌咸蛋。

盐水大缸腌制咸蛋方法: 清洗消毒过的新鲜鸭蛋码放进腌制桶, 倒入配制好的盐水没过鸭蛋, 加盖薄膜后腌制。

盐泥单个腌制咸蛋方法: 在 7 cm×7 cm 的专用腌制袋中放入一个清洗消毒过的新鲜鸭蛋, 加入盐泥后使其均匀涂布在蛋壳表面后拧紧腌制袋封口, 照此操作, 单个腌制的鸭蛋码放在蛋筐中腌制。

1.3 蛋白及蛋黄含盐率的测定

分别随机抽取每组中 5 枚咸蛋, 做 3 个重复, 将每枚咸蛋蛋清与蛋黄完全分离后, 用玻璃棒将蛋清搅拌均匀, 称取 1 mL 蛋清液于锥形瓶中, 加入 20 mL 去离子水, 再加入 4~5 滴 50 g/L K_2CrO_4 溶液, 边摇动边用标定好的 $AgNO_3$ 溶液滴定至溶液呈砖红色即为终点。含盐率按公式(1)计算:

$$NaCl(\%) = c(V_1 - V_2)M / (1000m_1) \quad (1)$$

式中, c - $AgNO_3$ 溶液浓度, mol/L; m_1 - 取样质量, g; M - NaCl 的摩尔质量, 58.44 g/mol; V_1 - 消耗 $AgNO_3$ 溶液的体积, mL; V_2 - 空白消耗 $AgNO_3$ 溶液的体积, mL。

蛋白蛋黄含盐比即为同组蛋白含盐率与蛋黄含盐率的比值, %。

1.4 蛋白及蛋黄含水率的测定

参考孙秀秀等^[10]的方法将蛋清、蛋黄分离后, 搅拌均匀, 用电子天平准确称取 3 g 样品于干燥的铝盒中, 记作 m 。称量烘干前样品与铝盒的质量记作 W_1 , 将称好的样品放入 105 °C 的热风恒温干燥箱中 8 h, 取出后放入干燥器中冷却, 称量烘干后样品及铝盒的质量记作 W_2 , 直到 2 次称量质量差小于等于 0.4 mg 为止, 同一组样品均取 3 个平行。计算公式如公式(2):

$$\text{含水率}(\%) = 100(W_1 - W_2) / m \quad (2)$$

式中, W_1 为干燥前样品质量+铝盒质量, g; W_2 为干燥后样品质量+铝盒质量, g; m 为样品质量, g。

1.5 咸蛋的感官评价

咸蛋的感官评价标准(表 1)采用 100 分制, 每个样品分别由 10 名训练有素的人员(男女各半)按相应的标准对咸蛋进行评定, 取各项平均值进行统计。

表 1 咸蛋感官评价标准
Table 1 Sensory evaluation criteria of slated eggs

项目	指标	评分/分
蛋壳(10分)	蛋壳干净完整,无黑斑,无裂纹	5~10
蛋白(30分)	蒸煮后蛋白完整,乳白色,不粘壳,蛋白无“蜂窝状”现象	20~30
蛋黄(30分)	蒸煮后的蛋黄有明显的出油现象,无黑圈,无白心,呈橙黄、朱红或橘红色凝聚	20~30
风味(30分)	咸度适中,蛋白细嫩,蛋黄松沙可口、出油率高,入口有咸蛋特有的香味	20~30

1.6 咸蛋游离氨基酸的测定

游离氨基酸的测定采用全自动氨基酸分析仪法,参考 VIRGIL 等^[11]的方法,在 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》基础上略作修改:取适量的样品蛋清,加入 pH 6.5 的 0.2 mol/L 磷酸盐缓冲液 60 mL, 6000 r/min 冷冻高速匀浆 3 min, 10000 g 冷冻离心 20 min, 过滤后取上清液 0.5 mL, 并用 3% 水杨酸(*m*:*V*)溶液调节 pH 值为 2.0, 加入双蒸水 0.25 mL, 15000 g 冷冻离心 20 min, 取上清液 0.5 mL, 用 0.02 mol/L 盐酸溶液稀释 5~10 倍, 检测游离氨基酸的组成。检测条件: pH 3.3~4.9 的柠檬酸缓冲液为洗脱液, 茚三酮-乙二醇甲醚-乙酸钠缓冲液(1:1:1, *V*:*V*:*V*, pH 7.4)为显色液, 所有氨基酸均在 570 nm 波长处检测, 羟脯氨酸在 440 nm 波长处检测。

呈味氨基酸游离氨基酸根据其呈味特性可划分为鲜味、甜味和苦味 3 类^[12]。

游离氨基酸味道强度值(taste activity value, TAV)是指某游离氨基酸的含量与该游离氨基酸呈味阈值的比值。

1.7 数据分析

所有测定均平行重复 3 次, 结果以平均值±标准差表示。运用 SPSS 25.0 软件对数据进行单因素方差分析, Duncan 法检验, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 加工方法对含盐情况的影响

表 2 为 2 种腌制方式下腌制料液与咸蛋含盐率随腌制时间变化的情况。腌制的盐水或盐泥中的盐分随腌制的进行不断渗透到蛋白、蛋黄中而减少, 盐水中含盐率在前 25 d 从 25.55% 降低到 19.65%, 到 35 d 降低到 19.07%, 40 d 降低到 18.86%; 盐泥中含盐才前 25 d 从 25.33% 降低到 17.21%, 到 35 d 降低到 15.48%, 40 d 降低到 14.99%。水腌法蛋均配盐水 100 g, 25、35、40 d 盐水中盐分分别减少 1.90、2.48、2.69 g/100 g 水; 泥腌法蛋均配盐泥 15 g, 25、35、40 d 盐泥中盐分分别减少 1.22、1.48、1.55 g/15 g 泥。

鲜鸭蛋白中含盐率为(0.48±0.01)%, 蛋黄含盐率为(0.5±0.01)%。随着食盐腌制进行, 蛋白和蛋黄含盐率升高, 腌制 25 d 时, 泥腌、水腌蛋白含盐率分别为可达 2.96%、4.99%, 蛋黄含盐率为 1.62%、1.18%, 40 d 时, 泥腌、水腌蛋

白含盐率高达 3.60%、6.93%, 蛋黄含盐率为 1.96%、1.41%, 蛋黄含盐率显著低于蛋白含盐率($P < 0.05$), 蛋黄中的脂肪对盐分有阻碍作用使盐分进入蛋黄速率低于蛋白。相同腌制天数时, 水腌咸蛋白含盐率均高于泥腌, 且具有显著性差异($P < 0.05$)。荣建华等^[13]采用指数模型 $S = B_0 e^{-kt}$ 来拟合咸蛋水腌时蛋白和蛋黄含盐率, 其中 B_0 为鸭蛋初始蛋白或蛋黄含盐率, t 为腌制天数, k 为盐分的扩散速率常数, 不同腌制温度和盐浓度下 k 值不同, k 越大说明盐分扩散越快。根据其指数模型得到的含盐率数据与本研究略有差异, 但呈现的规律一致, 数据差别的来源, 一是其设置的温度梯度与腌制盐水浓度与本研究略有不同, 造成 k 值不同; 二是使用的原料蛋品种、饲料的差异使鸭蛋腌制前含盐率和含水率不同^[14], 造成干物质浓度差异下的 B_0 值、 k 值的差异; 三是含盐率从蛋外到蛋内呈梯度分布, 取样点不同使含盐率结果略有差异。这一数据反应了水腌咸蛋蛋白咸、蛋黄乏味, 泥腌咸蛋蛋白不咸、蛋黄咸香。

2 种加工方式的咸蛋含盐率日均变化情况如表 3 所示。水腌组盐分进入蛋白快, 蛋白盐分日增幅 0.14%~0.27%; 盐分渗入蛋黄慢, 日增幅 0.01%~0.04%。泥腌组盐分进入蛋白较慢, 日增幅 0.05%~0.13%, 盐分渗入蛋黄量较大, 日增幅 0.02%~0.06%。廖明星等^[15]指出腌制过程盐分渗透符合扩散方程 $V = -D[dC/dX]$, 而扩散系数 D 是动态变化值, $D = R \times T / 6\pi N r \eta$, 其中 η 为蛋白或蛋黄黏度, r 是 NaCl 等分子直径, 扩散系数 D 与黏度成反比, 随着腌制进行蛋白转变为低黏度水样状态^[16-17], 蛋白的盐分扩散速度随着蛋白黏度 η 下降而增大, 蛋黄则因为脱水作用发生乳液态-凝胶态-凝固态的三相转化^[17], 外层蛋黄最终将硬化^[18], 盐分在蛋黄扩散随蛋黄凝固黏度增大而减小, 这与本研究结果一致, 腌制后期蛋白含盐率增幅大, 所以要控制好出缸时机以免蛋白过咸。针对咸蛋不同加工方式, 盐分在水溶液中比泥里活动更自由, 较泥浆中盐分能更快渗入蛋内; 此外, 程定均等^[19]指出不溶性杂质等外介因素会影响食盐传递, 黄泥中含有钙盐、镁盐会与钠离子、氯离子竞争传递通道, 竞争在蛋内的空间, 这可能是包泥法的咸蛋白食盐含盐增速慢、含盐率低于水腌法的原因。泥浆微观结构是能储存水分子的立体结构, 表面具有与水分子形成氢键的位点^[20], 持水力和吸水性好, 这一特点有助于蛋在腌制过程中水分向外扩散, 使蛋内容物含水率低, 蛋内部尤其是蛋黄有更多空间供盐分进

入, 这可能是泥腌蛋黄含盐率增幅大的原因之一。

以蛋黄腌透为标准, 水腌及泥腌分别需 25 和 35 d 蛋黄腌透可出缸, 腌制过程中盐水或盐泥、咸蛋白、黄含盐量变化如表 4 所示, 不同加工方式的盐分利用率情况如表 5 所示。蛋白、蛋黄含盐量之和即蛋内总进盐量。水腌组 25 d 时蛋内进盐量 1.87 g (蛋白含盐 1.89 g、蛋黄含

盐 0.28 g, 蛋白含盐率 4.99%、蛋黄含盐率 1.18%), 盐利用率 8.68%; 泥腌组 35 d 蛋内进盐量 1.48 g (蛋白含盐 1.33 g、蛋黄含盐 0.45 g, 蛋白含盐率 3.53%、蛋黄含盐率 1.87%), 盐利用率 38.95%。泥腌法的盐分利用率显著高于水腌($P<0.05$)。咸蛋泥腌按蛋重 5%以内给盐给料即可, 大幅减少食盐使用量。

表 2 咸蛋含盐率测定结果($n=3$)
Table 2 Determination results of salt content of salted egg ($n=3$)

腌制天数/d	盐水/泥含盐率/%		蛋白含盐率/%		蛋黄含盐率/%	
	水腌	泥腌	水腌	泥腌	水腌	泥腌
0	25.55±0.01 ^a	25.33±0.09 ^a	0.48±0.01 ^a	0.48±0.01 ^a	0.50±0.01 ^a	0.50±0.01 ^a
5	25.25±0.17 ^a	23.62±0.03 ^a	1.17±0.05 ^a	0.94±0.03 ^b	0.54±0.03 ^b	0.70±0.01 ^a
10	23.88±0.03 ^a	22.17±0.01 ^a	2.10±0.24 ^a	1.39±0.02 ^b	0.71±0.04 ^b	0.93±0.03 ^a
15	23.51±0.11 ^a	19.98±0.07 ^b	2.92±0.12 ^a	2.05±0.03 ^b	0.92±0.01 ^b	1.24±0.01 ^a
20	22.95±0.21 ^a	18.64±0.01 ^b	4.29±0.03 ^a	2.51±0.01 ^b	1.12±0.04 ^b	1.51±0.02 ^a
25	22.65±0.09 ^a	17.21±0.11 ^b	4.99±0.15 ^a	2.96±0.04 ^b	1.18±0.11 ^b	1.62±0.01 ^a
30	22.36±0.22 ^a	16.23±0.03 ^b	5.68±0.21 ^a	3.28±0.02 ^b	1.25±0.13 ^b	1.78±0.03 ^a
35	22.07±0.13 ^a	15.48±0.01 ^b	6.43±0.22 ^a	3.53±0.01 ^b	1.37±0.06 ^b	1.87±0.05 ^a
40	21.86±0.06 ^a	14.99±0.01 ^b	6.93±0.26 ^a	3.60±0.02 ^b	1.41±0.05 ^b	1.96±0.01 ^a

注: 不同字母表示显著性差异不同。

表 3 咸蛋含盐率日均变化率情况($n=3$)
Table 3 Daily change rates of salt content in salted eggs ($n=3$)

腌制天数/d	蛋白盐分日均变化率/%		蛋黄盐分日均变化率/%	
	水腌	泥腌	水腌	泥腌
0	-	-	-	-
5	0.14±0.02	0.09±0.01	0.01±0	0.04±0
10	0.19±0	0.09±0.01	0.03±0.02	0.05±0.01
15	0.16±0	0.13±0.01	0.04±0.01	0.06±0
20	0.27±0.01	0.09±0	0.04±0	0.05±0.01
25	0.14±0.02	0.09±0.01	0.01±0.03	0.02±0
30	0.14±0.07	0.06±0.01	0.01±0	0.03±0.01
35	0.15±0.01	0.05±0	0.02±0	0.02±0.02
40	0.10±0.01	0.01±0.01	0.01±0	0.02±0

注: -表示初始值为 0。

表 4 盐水、泥及咸蛋含盐量变化情况($n=3$)
Table 4 Changes of salt content in salted water, mud and salted eggs ($n=3$)

腌制 天数/d	水腌				泥腌			
	盐水含盐量/g	蛋白含盐量/g	蛋黄含盐量/g	总含盐量/g	盐泥含盐量/g	蛋白含盐量/g	蛋黄含盐量/g	总含盐量/g
0	25.55±1.00	0.18±0	0.12±0.02	21.84±0	3.80±0.14	0.18±0	0.12±0.02	4.10±0
5	25.25±1.70	0.44±0.02	0.13±0.07	21.82±0.02	3.54±0.05	0.36±0.01	0.17±0.02	4.07±0.01
10	23.88±0.30	0.79±0.09	0.17±0.09	21.84±0	3.33±0.02	0.53±0.01	0.22±0.07	4.08±0.01
15	23.51±1.10	1.10±0.05	0.22±0.02	21.83±0	3.00±0.11	0.77±0.01	0.30±0.02	4.07±0.01
20	22.95±2.10	1.62±0.01	0.27±0.09	21.84±0.01	2.80±0.02	0.95±0	0.36±0.05	4.11±0
25	22.65±0.90	1.89±0.06	0.28±0.26	21.82±0.02	2.58±0.17	1.12±0.02	0.39±0.02	4.09±0.01
30	22.36±2.20	2.15±0.08	0.30±0.31	21.81±0.07	2.43±0.05	1.24±0.01	0.42±0.07	4.09±0.01
35	22.07±1.30	2.43±0.08	0.33±0.14	21.83±0.01	2.32±0.02	1.33±0	0.45±0.12	4.10±0
40	21.86±0.60	2.62±0.10	0.34±0.12	21.82±0.01	2.25±0.02	1.36±0.01	0.47±0.02	4.08±0.01

表 5 2 种加工方式咸蛋的盐分利用率($n=3$)
Table 5 Salt utilization rates of salted eggs by 2 processing methods ($n=3$)

	水腌	泥腌
成熟天数/d	25	35
蛋白含盐率/%	4.99	3.53
蛋白含盐量/g	1.70	1.15
蛋黄含盐率/%	1.18	1.87
蛋黄含盐量/g	0.16	0.33
蛋内总含盐量/g	1.87	1.48
给盐量/g	21.55	3.80
盐利用率/%	8.68	38.95

2.2 加工方式对咸蛋含水情况的影响

咸蛋腌制过程中,高浓度腌制液在蛋壳内外形成渗透压差,由渗透质机理,腌制液中的食盐通过蛋壳气孔进入蛋清蛋黄的同时,蛋清、蛋黄中的水分沿相反的方向渗透到腌制液中^[10],鸭蛋内部水分与外界水分的交换,导致含水率的变化,结果如表 6 所示。随着腌制时间的延长,蛋白、蛋黄脱水幅度都不断增加。在腌制到 25 d,水腌组蛋白含水率从 86.53%降低到 81.39%,失水率为 5.14%,蛋黄含水率从 49.15%降低到 21.32%,失水率为 27.83%;在腌制到 30 d,包泥组蛋白含水率从 86.53%降低 83.28%,失水率为 3.25%,蛋黄含水率从 49.15%降低到 24.38%,失水率为 24.77%。腌制过程中蛋黄失水率远大于蛋白。这与食盐造成蛋黄内的亲水基团和亲油基团分离有关。游离水分子大量增加,通过蛋

清向腌制液中转移,导致蛋黄大量失水^[21]。在采取 2 种不同腌制工艺的腌制过程中,前 5 d 蛋白失水幅度为 0.56%~3.31%,蛋黄失水幅度为 6.64%~19.70%,吴玲等^[22]利用氯化钾(KCl)对 NaCl 部分取代腌制咸蛋,腌制前 7 d 蛋白、蛋黄失水幅度分别为 0.79%~3.68%和 3.73%~27.48%,失水幅度略高于本实验结果,这与腌制时间、蛋品个体差异和 KCl 取代 NaCl (5.0%~12.5%)等实验条件差异有关,但均证明了咸蛋白与蛋黄的大幅度脱水出现在腌制前期(5~7 d)。这是因为腌制前期蛋壳内外渗透压差最大,随着腌制的进行,食盐在蛋内和腌制液间达到微妙的动态平衡,两者之间渗透压差逐渐减小阻碍了后期盐分和水分的转移。曹旭东等^[23]采用平板电极研究咸蛋的介电特性时也提到 0~5 d 的介电常数与蛋黄指数有显著相关性,证明 0~5 d 蛋黄的脱水与蛋黄的成熟是密切相关的,而腌制 15 d 以后蛋黄出油会影响蛋黄的介电性。

本研究采取 2 种不同的腌制工艺对鸭蛋进行腌制成熟时,水腌组蛋白失水率为 5.14%,蛋黄失水率为 27.83%;包泥组蛋白失水率为 3.25%,蛋黄失水率为 24.77%。水腌组蛋白、蛋黄失水率分别是包泥组的 1.58 倍和 1.12 倍。造成此差异的原因可能与黄泥中不溶性杂质等外介因素阻塞部分气孔从而影响食盐传递和水分的溢出有关。孙秀秀等^[10]利用间歇超声辅助来加快咸蛋腌制效果的实验中,通过单因素控制超声时间、次数、功率等因素发现超声波能够显著降低蛋清蛋黄含水率(较传统组蛋白降低幅度为 2.89%~7.14%,蛋黄降低幅度为 14.14%~26.02%),提高腌制速率,但超声次数到达 5 次时,咸蛋煮熟后,会出现蜂窝状的孔洞。

表 6 2 种加工方式咸蛋的含水率($n=3$)
Table 6 Moisture content of salted eggs by 2 processing methods ($n=3$)

腌制天数/d	蛋白含水率/%		蛋黄含水率/%	
	水腌	泥腌	水腌	泥腌
0	86.53±0.21	86.53±0.01	49.15±0.05	49.15±0.05
5	83.22±0.15	85.97±0.13	29.54±0.03	42.71±0.01
10	82.18±0.14	84.33±0.22	27.51±0.14	31.23±0.03
15	82.96±0.22	84.05±0.23	24.92±0.06	30.26±0.01
20	81.43±0.23	84.15±0.21	22.68±0.04	30.51±0.02
25	81.39±0.15	83.98±0.14	21.32±0.10	27.63±0.01
30	81.68±0.21	83.28±0.32	21.25±0.13	24.38±0.13
35	81.23±0.20	82.43±0.31	21.17±0.02	22.16±0.07
40	80.63±0.16	81.62±0.22	20.21±0.06	21.96±0.02

2.3 不同加工对咸蛋 R 值、Q 值、N 值与感官评分的影响

对咸蛋蛋壳、蛋白、蛋黄及风味进行分项感官评价,结果如表 7。水腌及泥腌咸蛋感官评分随腌制时间延长而显著性升高($P<0.05$),同一腌制天数时,水腌咸蛋与泥腌咸蛋感官评分亦具有显著性差异($P<0.05$)。当食品含盐率 $>4.5\%$ 时,

口感会咸涩,蛋白含盐率 3%时感官上认为咸度适中,处于 3.0%~4.5%时咸度在可接受范围^[24]。在腌制初期,2 种加工方式的咸蛋白含盐率低,蛋黄含盐率 $\leq 1\%$ 时,此蛋白咸度较低,蛋黄进盐少、出油不足,则感官评分低;腌制后期因为咸蛋白过咸使感官评分降低。当咸蛋白含盐率 $\leq 4.5\%$,蛋黄含盐率 $>1\%$ 时^[25],即水腌 25 d 前和泥腌 35 d 前的咸蛋白不

咸、蛋黄咸鲜出油, 感官评分高^[26]。戴浩亮等^[27]在探索咸蛋品质评价方法时指出, 嫩度是影响蛋白感官评分的重要指标, 而嫩度与蛋白含水率成正相关, 本研究感官评分与蛋白含水率呈显著负相关、蛋白含水率与蛋白含盐率为负相关($P < 0.05$), 这一差异在于本研究考虑了蛋白含盐率因素, 显然蛋白含盐率过大对咸蛋综合评分降低影响比嫩度影响更大。

由于蛋白和蛋黄的水分含量不同而不能直接比较蛋白和蛋黄的 NaCl 含量^[28-29]。不同液体样品中 NaCl 浓度 R 值是样品含盐率/含水率 $\times 100$, 蛋黄(白)的含盐率/含水率 $\times 100$ 即为蛋黄(白) R 值, 将蛋黄 R 值与蛋白 R 值的比值定义为 Q 值, 即蛋黄与蛋白的平衡系数^[30-31], 测定结果如表 7 所示。结果显示, 鲜鸭蛋白 R 值与蛋黄 R 值分别为 0.55 和 1.02, 盐泥或盐水处理后, 蛋黄和蛋白之间原有的平衡扩散即被打破, 水腌组 Q 值从 1.83 降低到 0.90, 源于蛋黄膜对盐分的阻挡影响了盐分向蛋黄的扩散, 这与 LAI 等^[8]测定的结果相一致; 泥腌组 Q 值从 1.83 降低到 1.66 (腌制 20~25 d) 后升高到 2.02 (30~40 d), 这与腌制后期水腌蛋白 R 值 $>$ 泥腌蛋白 R 值,

腌制后期水腌蛋黄 R 值 $>$ 泥腌蛋黄 R 值有关, 这说明不同加工方式的蛋黄(白)含水率没有显著差异的前提下, 泥腌咸蛋蛋白、蛋黄内的盐分腌制后期(30~40 d)出现了新的分配, 蛋黄膜的生物屏障作用在腌制后期逐渐减弱^[32-34], 使腌制后期蛋白内盐分持续渗透进蛋黄, 这一可看作咸蛋的盐分改良或后熟过程, 这与泥腌咸蛋制作周期长、腌制后期蛋白不过咸、蛋黄咸鲜的现象相吻合。

咸蛋黄出油是衡量咸蛋感官品质重要的指标, 是蛋黄脂质在 NaCl 作用下脱水形成, 与蛋黄的含盐率与含水率有密切关系, 蛋白(黄)含盐率与含水率呈负相关, 感官评分与蛋白(黄)含水率呈强负相关, 与蛋白(黄)含盐率呈强正相关, 这与鸭蛋白和蛋黄脱水的同时蛋白和蛋黄 NaCl 浓度升高的现象相一致。将蛋黄熟透作为咸蛋出缸标准, 水腌 25 d 和泥腌 35 d 的咸蛋可成熟, 此时 N 值(即蛋白蛋黄含盐比) ≤ 4.5 ^[25], 水腌及泥腌的 N 值与感官评分具有强负相关性, 相关系数分别为 -0.80 和 0.85。 R 值反应了咸蛋因盐分渗透而脱水成熟的程度。

表 7 2 种加工方式咸蛋的感官评分、 R 值、 Q 值和 N 值($n=3$)
Table 7 Sensory scores, R values, Q values and N values of salted eggs under 2 processing methods ($n=3$)

腌制天数/d	感官评分		蛋白 R 值		蛋黄 R 值		Q 值		N 值	
	水腌	泥腌	水腌	泥腌	水腌	泥腌	水腌	泥腌	水腌	泥腌
0	0	0	0.55	0.55	1.02	1.02	1.83	1.83	1.04	1.04
5	4.40 \pm 0.38	5.00 \pm 0.30	1.41	1.09	1.83	1.64	1.30	1.50	0.46	0.74
10	31.00 \pm 0.08	24.28 \pm 0.20	2.56	1.65	2.58	2.98	1.01	1.81	0.34	0.67
15	69.30 \pm 0.31	51.40 \pm 0.33	3.52	2.44	3.69	4.10	1.05	1.68	0.32	0.6
20	78.22 \pm 0.17	63.44 \pm 0.11	5.27	2.98	4.94	4.95	0.94	1.66	0.26	0.6
25	90.70 \pm 0.25	80.20 \pm 0.12	6.13	3.52	5.53	5.86	0.90	1.66	0.24	0.55
30	89.26 \pm 0.13	92.12 \pm 0.31	6.95	3.94	5.88	7.30	0.85	1.85	0.22	0.54
35	88.73 \pm 0.05	94.40 \pm 0.38	7.92	4.28	6.47	8.44	0.82	1.97	0.21	0.53
40	82.70 \pm 0.25	92.11 \pm 0.10	8.59	4.41	6.98	8.93	0.81	2.02	0.2	0.54

咸蛋成熟时, 指标间相关性分析结果, 如表 8 所示。蛋白、蛋黄 R 值是感官评分均为正相关, 相关系数均大于 0.9, 与蛋黄成熟度越高、蛋白咸度越低则咸蛋感官越好的结果一致。水腌感官与 Q 值呈显著负相关, 泥腌感官与 Q 值成弱正相关。

2.4 加工方式对咸蛋呈味氨基酸及感官风味的影响

测定泥腌、水腌 2 种加工方式咸蛋游离氨基酸含量, 结果如表 9 所示。由表 9 数据可知, 2 种加工工艺制得咸蛋氨基酸种类基本一致, 但数量和比例存在较大差异。食品的滋味有酸、甜、苦、咸和鲜 5 种感受^[35], 对应的氨基酸称为呈味氨基酸, 根据咸蛋固有特点及游离氨基酸的组成, 归纳出 3 类呈味效果, 包括鲜味 1 种(谷氨酸)、甜味 5 种(丝氨酸、甘氨酸等)和苦味氨基酸 8 种(赖氨酸、缬氨酸、

组氨酸等)^[36]。呈味氨基酸总含量: 水腌(45.39 mg/g) $>$ 泥腌(20.19 mg/g), 水腌组较泥腌组高 2 倍多; 呈鲜味的谷氨酸含量, 水腌 $>$ 泥腌, 呈甜味的甘氨酸、丝氨酸、丙氨酸含量, 水腌组较泥腌分别高接近 14、2、2 倍, 尤其是脯氨酸, 水腌组较泥腌组多 53 倍; 呈苦味的组氨酸, 水腌组较泥腌组多 2~3 倍, 其中水腌组赖氨酸含量更是泥腌组的 187 倍。可能水腌模式下温度和盐分差异使蛋白酶、氨肽酶具有更高的活性^[37], 会分解更多的蛋白质、多肽, 使游离氨基酸整体含量增加^[38]。

结合各氨基酸的阈值, 计算各氨基酸的 TAV, 对比结果发现, 蛋白苦味氨基酸 $1 < TAV < 2$ 的, 水腌组、泥腌组均有 4 种, 苦味氨基酸 $TAV > 2$ 的, 水腌组、泥腌组分别有 6 种、3 种, 特别是水腌组的赖氨酸和缬氨酸的 TAV 值 > 8 ,

根据 TAV 值越大, 该氨基酸对呈味影响越大的规则^[40], 赖氨酸与缬氨酸对咸蛋的苦涩为影响效果明显。水腌组呈苦味的氨基酸的总量和 TAV>2 的种类(21.76 mg/g, 6 种)均多于泥腌组(12.96 mg/g, 3 种), 是水腌咸蛋会形成“咸的发苦”的涩口感的原因; 此外酪氨酸、苯丙氨酸是芳香类氨基酸, 是芳香族化合物的前体物质, 与蛋腥味成显著正相关。水腌组咸蛋的酪氨酸、苯丙氨酸均显著高于泥腌组, 这也说明了水腌咸蛋具有更强的腥味。TAV<1 的甜味氨基酸(水腌 1 种、泥腌 4 种)能协同鲜味氨基酸呈现鲜味, 增加咸蛋的丰富口感, 使泥腌蛋综合风味优于水腌组。黄泥酸碱度为 6.8~6.9, 接近中性, 随着腌制的进行, 泥中的盐分

进入蛋内置换出蛋内部的水分, 使黄泥酸碱度进一步向中性靠近, 氨基酸水解逐渐减缓; 此外黄泥中含有的钾、镁、钙等元素可能对谷氨酸的呈味产生了协同作用^[40]。李婉君^[41]采用雷达图绘制虾类的滋味成分时提到游离氨基酸使南极磷虾和南美白对虾具鲜味和甜味, 谷胱甘肽赋予滋味厚重感; 张璐等^[42]发现甘氨酸对香菇等 8 种食用菌呈味贡献最大, 其 TAV 可达 1.10~5.08, 本实验测得水腌咸蛋的甘氨酸 TAV 在此范围内, 说明咸蛋甜鲜滋味较为突出。陈惜燕等^[43]指出食用菌的独特鲜味与呈味氨基酸和呈味核苷酸均有关。陈嘉辉等^[44]的研究也证明甘氨酸等甜味氨基酸对蟹、虾鲜味有重要贡献, 可协同呈鲜。

表 8 成熟咸蛋指标间相关性分析($n=3$)
Table 8 Correlation analysis of indexes of mature salted eggs ($n=3$)

		蛋白含水率/%	蛋黄含水率/%	蛋白含盐率/%	蛋黄含盐率/%	蛋白 R 值	蛋黄 R 值	Q 值	N 值
感官评分	水腌	-0.81*	-0.83*	0.91*	0.95*	0.91*	0.94*	-0.86*	-0.80*
	泥腌	-0.91*	-0.93*	0.99*	0.99*	0.99*	0.97*	0.51	-0.85*

注: *表示差异显著($P<0.05$)。

表 9 咸蛋呈味游离氨基酸和 TAV 值($n=3$)
Table 9 Salted egg taste free amino acid and TAV values ($n=3$)

氨基酸	阈值/(mg/g)	含量/(mg/g)		TAV		
		泥腌组	水腌组	泥腌组	水腌组	
鲜味	谷氨酸	0.3	1.56	7.56	5.20	25.20
	天冬氨酸	1.0	未检出	未检出	-	-
	甘氨酸	1.3	0.30	2.93	0.23	2.25
甜味	丝氨酸	0.6	1.93	5.14	3.22	8.57
	丙氨酸	3.0	1.34	3.30	0.45	1.1
	脯氨酸	2.6	0.04	2.13	0.02	0.82
	苏氨酸	2.6	2.06	2.57	0.79	1.00
	酪氨酸	无	1.66	2.54	-	-
	苯丙氨酸	0.9	1.04	1.84	1.16	2.04
苦味	缬氨酸	0.4	1.95	3.38	4.88	8.45
	组氨酸	0.2	0.48	1.04	2.40	5.20
	赖氨酸	0.5	4.51	5.62	9.02	11.24
	精氨酸	0.5	未检出	1.00	-	2.00
	亮氨酸	1.9	2.31	4.57	1.22	2.41
	异亮氨酸	0.9	1.01	1.77	1.12	1.97
	呈味氨基酸总量		20.19	45.39		

注: -表示没有 TAV。

3 结论

本研究在 18 °C 恒温下、用质量分数 25.5% 的盐水水腌和质量分数 25% 的盐泥腌咸蛋, 从咸蛋理化指标和滋味品质的角度阐述了单个泥腌咸蛋相较传统大缸水腌的优势: 泥腌咸蛋 35 d 蛋黄可完全凝固, 蛋内进盐量 1.48 g, 盐

利用率 38.95%; 水腌咸蛋 25 d 蛋黄可完全凝固, 蛋内进盐量 1.87 g, 盐利用率显著低于单个泥腌($P<0.05$), 仅 8.68%; 水腌咸蛋苦味氨基酸含量及 TAV>2 的种类均高于单个泥腌的加工方式, 是水腌咸蛋会形成“咸的发苦”的涩口感的原因, 单个泥腌咸蛋白不咸、蛋黄咸鲜, 在腌制后期蛋白中盐分可持续向蛋黄迁移、蛋白咸度有改良效应, 综合风

味优于水腌咸蛋。通过分析咸蛋理化指标与感官品质间相关性, 发现咸蛋 N 值可同时反映咸蛋蛋白、蛋黄咸度, R 值与 Q 值可反映咸蛋感官品质, 因此可将 N 、 R 、 Q 值作为评价咸蛋成熟度与蛋白蛋黄咸度协调性的指标。研究结果可为咸蛋精细腌制未来的应用提供理论支持。

参考文献

- [1] 管沛清, 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 PQ, CHENG YD, JIN YZ. Research progress on rapid salting technology of salted duck eggs and comprehensive utilization of salted egg white [J]. Food Mach, 2020, 36(10): 210–214.
- [2] 刘瑶. 纳米 SiO_2 、 TiO_2 交联改性 PVA 及对低盐咸鸭蛋涂膜保鲜效果的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
LIU Y. Study on nano- SiO_2 and TiO_2 crosslinked modification of PVA and preservation effect of low salt salted duck egg coating [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.
- [3] 林伟, 陈强, 陈家贤. 适用于咸蛋生产的黄泥料浆搅拌机: 中国, 209490749U[P]. 2019-10-15.
LIN W, CHEN Q, CHEN JX. Suitable for salted egg production of yellow mud slurry mixer: China, 209490749U [P]. 2019-10-15.
- [4] 涂勇刚, 徐明生, 赵燕, 等. 一种生产咸蛋的泥浆机: 中国, 212237049U[P]. 2020-12-29.
TU YG, XU MS, ZHAO Y, *et al.* The utility model relates to a mud machine for producing salted eggs: China, 212237049U [P]. 2020-12-29.
- [5] 孙静, 刘承, 李开耀, 等. 几种防腐剂对单个腌制咸鸭蛋的腌制效果比较[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(23): 8880–8887.
SUN J, LIU C, LI KY, *et al.* Comparison of the effect of several fungicides on single-pickled salted duck eggs [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(23): 8880–8887.
- [6] 孙静, 杜金平, 杨华, 等. 酸性腌制助剂腌制咸鸭蛋效果研究[J]. 食品科技, 2021, 46(4): 45–50.
SUN J, DU JP, YANG H, *et al.* Study on the effect of salted duck eggs salted by acid salting agent [J]. Food Sci Technol, 2021, 46(4): 45–50.
- [7] 孙静, 杜金平, 皮劲松, 等. 一种可替代黄泥的环保型咸蛋裹料及其腌制方法: 中国, 112656016A[P]. 2021-04-16.
SUN J, DU JP, PI JS, *et al.* The utility model relates to an environment-friendly salted egg wrapping material which can replace yellow mud and a salting method thereof: China, 112656016A [P]. 2021-04-16.
- [8] LAI KM, CHI SP, KO WC. Changes in yolk states of duck egg during long-term brining [J]. J Agric Food Chem, 1999, 47: 733–736.
- [9] 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 XW, ZHENG P, GAO J, *et al.* Comparison of physical and chemical properties of salted eggs by three methods [J]. Food Res Dev, 2020, 41(12): 108–116.
- [10] 孙秀秀, 何立超, 杨海燕, 等. 间歇超声辅助加快咸蛋腌制速度工艺优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(22): 204–211.
SUN XX, HE LC, YANG HY, *et al.* Intermittent ultrasound assisted in speeding up the pickling speed of salted eggs [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(22): 204–211.
- [11] VIRGIL IR, SACCAN IG, GABBA L. Changes of free amino acids and biogenic amines during extended ageing of Italian dry-cured ham [J]. LWT-Food Sci Technol, 2007, 40(5): 871–878.
- [12] 黄百祺, 黄创成, 吴巨贤, 等. 4 种龟肉酶解液的氨基酸及呈味特性比较[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(8): 12–17.
HUANG BQ, HUANG CC, WU JX, *et al.* Comparison of amino acids and taste characteristics in four kinds of emydidae meat enzymatic hydrolysate [J]. Food Res Dev, 2021, 42(8): 12–17.
- [13] 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, (2): 263–266.
RONG JH, ZHANG ZM, FENG L, *et al.* Pickling dynamics of salted eggs [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2007, (2): 263–266.
- [14] 孙静, 朱庆芳, 焦辉彬, 等. 不同蛋白质来源饲料对鲜鸭蛋及其加工皮蛋品质的影响[J]. 中国家禽, 2020, 42(9): 62–67.
SUN J, ZHU QF, JIAO HB, *et al.* Effects of different protein source feeds on the quality of duck eggs and their processing eggs [J]. Chin Poul, 2020, 42(9): 62–67.
- [15] 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.
LIAO MX, ZHU DH. Preliminary exploring of maturation mechanism of salted eggs during salting process [J]. Sci Technol Food Ind, 2008, (4): 324–326.
- [16] 吴玲. 咸蛋低钠脉冲压腌制新技术的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
WU L. Study on new technology of salted egg preserved with mixed low-sodium and pulse pressure [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011.
- [17] 章坦. 基于低场核磁共振研究咸鸭蛋品质形成和贮藏品质变化的机理[D]. 大连: 大连工业大学, 2018.
ZHANG T. Mechanism research of quality formation of salted duck egg and quality changes in storage process by LF-NMR [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2018.
- [18] 徐丽兰, 赵燕, 徐明生, 等. 食盐诱导的蛋黄凝聚行为研究进展[J]. 中国食品学报, 2019, 19(3): 317–325.
XU LL, ZHAO Y, XU MS, *et al.* Research progress in the aggregation behavior of egg yolk induced by salt [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2019, 19(3): 317–325.
- [19] 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, 20(2): 323–325, 329.
CHENG DJ, HOU DJ, SHANG YB, *et al.* Factors on the transfer of salt in the processing of salted egg [J]. Sci Technol Food Ind, 2009, 20(2): 323–325, 329.
- [20] 王永敏, 李俊颖, 王定勇. 不同剂型聚丙烯酰胺对冷沙黄泥土壤持水性能的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 96–101.
WANG YM, LI JY, WANG DY. Effects of polyacrylamides with different hydrolysis degrees and molecular weights on water holding capacity of sandy yellow soil [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2010, 26(8): 96–101.
- [21] 范娟娟. 超声波辅助快速腌制咸蛋工艺的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2013.
FAN JJ. Study on rapid salting technology of salted egg assisted by ultrasonic wave [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013.
- [22] 吴玲, 孙静, 乐立强, 等. KCl 部分替代 NaCl 腌制咸蛋效果的比较研究[J]. 食品科学, 2011, 32(13): 5–10.

- WU L, SUN J, YUE LQ, *et al.* Effect of potassium chloride as partial sodium chloride substitution in salted duck eggs [J]. *Food Sci*, 2011, 32(13): 5–10.
- [23] 曹旭东. 咸蛋腌制过程的生物物理监测方法研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- CAO XD. Study on biophysical monitoring method of salted egg [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2013.
- [24] 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, 54(24): 6334–6337, 6341.
- SUN J, PI JS, PAN AL, *et al.* Salted eggs pickled formulation screening of low hypertonic salt substitutes [J]. *Hubei Agric Sci*, 2015, 54(24): 6334–6337, 6341
- [25] 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.
- SUN J, DU JP, YANG H, *et al.* Adding antioxidants during pickling to improve the interior quality of salted egg yolk [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2021, 37(1): 182–191.
- [26] 郑华, 彭辉, 林捷, 等. 食盐对咸蛋黄蛋白质特性的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(1): 83–87.
- ZHENG H, PENG H, LIN J, *et al.* Effect of salt on properties of salted yolk protein [J]. *Food Sci*, 2013, 34(1): 83–87.
- [27] 戴浩亮, 徐明生. 咸蛋品质评价方法的探析[J]. *农产品加工(学刊)*, 2011, (4): 79–82, 85.
- DAI HL, XU MS. The analysis of salted egg quality evaluation method [J]. *Acad Period Farm Prod Process*, 2011, (4): 79–82, 85.
- [28] DEL VALLE FR, NICKERSON TR. Studies on salting and drying fish. I. Equilibrium consideration in salting [J]. *J Food Sci*, 1967, 32: 173–179.
- [29] DEL VALLE FR, NICKERSON TR. Studies on salting and drying fish. II. Dynamic aspects of the salting on fish [J]. *J Food Sci*, 1967, 32: 218–224.
- [30] TSENG KH. The study on manufacturing salted egg yolk using fresh egg yolk [M]. Taipei: The University of Taiwan, 1994.
- [31] CHANG YC. Pickling conditions and mechanism for producing salted egg yolk using rapid immersion method [D]. Taipei: The University of Taiwan at Taiwan, 1995.
- [32] FEENEY RE, WEAVER JM, JONES, JR, *et al.* Studies of the kinetics of yolk deterioration in shell eggs [J]. *Poult Sci*, 1956, 35: 1061–1066.
- [33] HINTON CF. Egg quality: A study of the hen's egg [M]. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1968.
- [34] OOSTERWOUD A. Egg quality—Current problems and recent advances [M]. Oxfordshire: Carfax, 1987.
- [35] 孙颖瑛. 发酵酸鱼贮藏过程中品质变化及控制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020.
- SUN YY. Study on quality changes and control of fermented fish during storage [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.
- [36] 张家奇, 张龙, 王锡昌. 稻田养殖和池塘养殖对中华绒螯蟹滋味品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(13): 229–236.
- ZHANG JQ, ZHANG L, WANG XC. Effects of rice culture and pond culture on the quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(13): 229–236.
- [37] 章建浩, 周光宏, 朱健辉, 等. 金华火腿传统加工过程中游离氨基酸和风味物质的变化及其相关性[J]. *南京农业大学学报*, 2004, (4): 96–100.
- ZHANG JH, ZHOU GH, ZHU JH, *et al.* Changes of free-amino acid and volatile flavor compounds and its correlations in traditional processing of Jinhua ham [J]. *J Nanjing Agric Univ*, 2004, (4): 96–100.
- [38] 邓文辉. 皮蛋加工过程中氨基酸与脂肪酸的变化规律及其在皮蛋风味形成中的作用[D]. 南昌: 南昌大学, 2013.
- DENG WH. Changes of amino acids and fatty acids in preserved eggs processing and the role of forming preserved eggs flavor [D]. Nanchang: Nanchang University, 2013.
- [39] 阮明杰. 不同月份刀鲚鲜味相关滋味物质变化规律及感官评价模型的初步构建[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
- RUAN MJ. Study on the differences in umami related taste compounds of coiliaetenes in different month and construction of sensory evaluation model [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019
- [40] 张君, 欧阳霞, 陆剑锋, 等. 中华鳖蛋营养价值评价[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(11): 5100–5110.
- ZHANG J, OUYANG X, LU JF, *et al.* Evaluation of nutritional value of eggs of Chinese soft-shell turtle (*Pelodiscus sinensis*) [J]. *Chin J Anim Nutr*, 2019, 31(11): 5100–5110.
- [41] 李婉君. 南极磷虾与南美白对虾营养与滋味成分比较[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- LI WJ. Comparison of nutrition and flavor components between antarctic krill and *Penaeus vannamei* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015.
- [42] 张璐, 弓志青, 王文亮, 等. 7种大宗食用菌的呈味物质分析及鲜味评价[J]. *食品科技*, 2017, 42(3): 274–278, 283.
- ZHANG L, GONG ZQ, WANG WL, *et al.* Analysis of flavour-producing substances and umami evaluation of seven kinds of edible fungi [J]. *Food Sci Technol*, 2017, 42(3): 274–278, 283.
- [43] 陈惜燕, 蒲鹏, 康靖全, 等. 8种食用菌游离氨基酸的组成及含量比较[J]. 杨凌: 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(5): 183–190.
- CHEN XY, PU P, KANG JQ, *et al.* Comparison of composition and content of free amino acids in eight edible fungi [J]. *J Northwest A & F Univ (Nat Sci Ed)*, 2017, 45(5): 183–190.
- [44] 陈嘉辉. 酱油中呈味肽的分离鉴定及呈味特性的对比分析[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- CHEN JH. Isolation and identification of flavor peptides in soy sauce and comparative analysis of flavor characteristics [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018.

(责任编辑: 李磅礴 于梦娇)

作者简介



孙静, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为蛋品加工研究。

E-mail: sammi8866@sina.com



杜金平, 研究员, 主要研究方向为家禽育种与产品加工研究。

E-mail: ddjinpin@163.com