广东农业科学 2019，46（6）：142–149
Guangdong Agricultural Sciences doi：10.16768/j.issn.1004–874X.2019.06.019

黄奕源，潘竞龙，欧阳宏佳，黄运茂，田允波，唐军 . 咸鸭蛋腌制过程相关指标变化规律及最佳配方的筛选研究［J］. 广东农业科学，2019，46（6）：142–149.

咸鸭蛋腌制过程相关指标变化规律及最佳配方的筛选研究

黄奕源[1]，潘竞龙[1]，欧阳宏佳[1,2]，黄运茂[1,2]，田允波[1,2]，唐　军[1,2]

（1. 仲恺农业工程学院动物科技学院，广东 广州 510225；
2. 广东省水禽健康养殖重点实验室，广东 广州 510225）

摘　要：【目的】探究不同腌制条件对咸蛋品质的影响，选出最佳条件，为咸蛋的深加工提供一定的技术参考。【方法】先用盐酸处理鸭蛋壳，使其蛋壳变薄。并采用分步式腌制方法，即前 11 d 用饱和食盐水腌制，后期用低浓度的淡盐水腌制，使咸蛋含盐量降低，并添加白酒、香辛料。分别于腌制 11、15、19、23 d 测定蛋白含盐量、蛋黄出油率、蛋黄指数和蛋黄色度等指标分析其变化规律，通过单因素试验及正交试验确定最佳腌制条件。【结果】最佳腌制条件为：食盐的质量浓度为 10%、香辛料的质量分数为 0.6%，白酒的体积分数为 5%，盐酸的体积分数为 0.5%。【结论】采用分步式腌制方法，在上述最佳腌制要件下，腌制 23 d 的咸蛋出油率高、蛋黄指数大、蛋黄色度深，且具有较低的含盐量，咸蛋品质高。

关键词：淡盐水；盐酸；香辛料；出油率；最佳腌制条件

中图分类号：S873　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1004–874X（2019）06–0142–08

Study on the Variation of Relevant Indicators and Selection of the Optimum Formula in Pickling Process of Salted Duck Egg

HUANG Yiyuan[1], PAN Jinglong[1], OUYANG Hongjia[1,2], HUANG Yunmao[1,2], TIAN Yunbo[1,2], TANG Jun[1,2]

(1. *College of Animal Science and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou* 510225, *China;* 2. *Guangdong Province Key Laboratory of Waterfowl Healthy Breeding, Guangzhou* 510225, *China*)

Abstract：【Objective】The present study explored the best pickling conditions from different curing conditions on the quality of salted eggs, and provide technical reference for further processing of salted eggs.【Method】Duck eggshells were treated with hydrochloric acid to thin their eggshells. A stepwise processing method was applied.Duck eggs was marinated with salt water in the first 11 days, then the salt content of salted eggs was reduced by decreasing the concentration of salt water with liquor and spices in the later period. The changes of albumen salt content, egg yolk oil yield, egg yolk index and yolk color were determined on the 11th, 15th, 19th and 23rd day, respectively. The optimum pickling conditions were determined by single factor test and orthogonal test.【Result】The optimum pickling condition was as fouows:10% salt concentration, 0.6% spice concentration, 5% liquor concentration and 0.5% hydrochloric acid concentration.【Conclusion】The salted eggs had high oil yield, high yolk index, deep yolk color and low salt content with the optimum pickling condition. The optimum curing time was 23 days with the stepwise processing technology.

Key words：dilute salt water; hydrochloric acid; spices; oil yield; optimum pickling condition

收稿日期：2019–03–04
基金项目：广东省教育厅育苗工程项目（2013 LWM0041）；广东省自然科学基金（2016A030313369）
作者简介：黄奕源（1996—），男，在读本科生，研究方向为动物科学，E–mail：614985600@qq.com
通信作者：唐军（1984—），男，硕士，实验师，研究方向为动物遗传育种，E–mail：tangjun841918@126.com

【研究意义】咸鸭蛋是我国主要的蛋类加工制品之一，具有悠久的历史[1]，其含丰富的蛋白质和脂肪，以及多种人类必需氨基酸、维生素及微量元素，如钙、铁、磷等[2]，且由于蛋黄、蛋白皆易被人体消化吸收，味道鲜美，口感丰富，深受广大消费者的青睐。然而，传统的咸蛋腌制工艺周期长，一般需要 25 d 左右（夏天）或 30~40 d（冬天）[3]，生产效率底下，而且随着咸蛋腌制时间的延长，蛋内氯化钠的含量不断升高，严重影响蛋品质[4]。过量钠盐的摄入会引发高血压、中风、组织水肿等，还会导致脑动脉血管病发生[5]。而少盐可降低血浆胆固醇，调整体内钾、钠的不平衡状态，有利于身体健康[6]。同时，随着生活水平的不断提高，传统工艺腌制的咸鸭蛋口味过于单一，难以更好满足大众对口味的更高追求。因此，为了更好迎合大众的口味，在鸭蛋腌制过程中加入适量的香辛料，有助于丰富咸鸭蛋的口感。【前人研究进展】咸鸭蛋作为主要的蛋制品，相关研究较多，李和平等[7]通过单因素实验确定了香辛料的最佳配方为花椒 15%、八角 15%、桂皮 10%、丁香 15%、茴香 8%、豆蔻 7%、红茶 10%、山楂 20%，香辛料具有促进盐分的渗透，使蛋白粘度下降的作用[8]。刘国庆等[9]和仝其根等[10]研究发现，添加乙醇对蛋黄出油起沙有促进作用，同时不同腌制添加剂也可以促进盐的渗透、增加蛋黄出油率[11]。刘国庆等[9]通过加入 0.13 MPa 压力的方法，使得腌制时间大大提前，从而节省了大量时间。孙汉巨等[12]和 LAI 等[13]发现酸浸泡可以增加蛋壳的通透性，缩短咸蛋的腌制时间。孙秀秀等[14]用功率 350 W、频率 20 kHz 的超声处理咸蛋 3 次，每次 30 min，能使咸蛋腌制时间较传统工艺缩短 15~20 d。吕蕙等[15]用稻秸灰水提物与食盐混合配制腌制液腌制的咸蛋出油率达 20.12%，较盐水组高，但蛋白、蛋黄的含盐量却要低。苏鹤等[16]通过先用 19% 的盐水腌制 15~20 d，再用 3.5% 的淡盐水继续腌制的方法，使得咸蛋的盐分含量比传统腌制蛋降低 51.21%，但相关研究缺乏对各条件进行系统的研究。【本研究切入点】本研究在前人的研究基础上，先用盐酸处理鸭蛋壳，使其蛋壳变薄，增大蛋壳的气孔，加速食盐等的渗透，并采用分步式腌制方法，使咸蛋含盐量降低，同时添加白酒、香辛料。分别于腌制 11、15、19、23 d 测定蛋白含盐量、蛋黄出油率、蛋黄指数和蛋黄色度等指标，并分析其变化规律，通过单因素试验及正交试验确定最佳腌制条件。【拟解决的关键问题】找出一种能够减少咸蛋含盐量、缩短咸蛋腌制时间、提高咸蛋腌制品质的最佳腌制条件，为能够高效率的腌制品质优良、健康营养的咸蛋提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

新鲜鸭蛋、食用盐、白酒（酒精含量为 56%）、香辛料（花椒、八角、桂皮、丁香、茴香、豆蔻、红茶、山楂，总比例为 15∶15∶10∶15∶8∶7∶10∶20）均购置于华润万家超市

硝酸银、铬酸钾、荧光黄购于天津市大茂化学试剂厂，浓盐酸、氯化钠、氢氧化钠购于广州化学试剂厂，所有试剂均为分析纯。定性滤纸购于杭州沃华滤纸有限公司、罗氏色度比色扇购于日本 Robotmation 有限公司、游标卡尺购于上海美耐特实业有限公司、泡坛购于华润万家超市。

1.2 试验方法

1.2.1 *咸蛋腌制工艺流程* 新鲜鸭蛋→挑选检查→清洗消毒、晾蛋→预处理→装缸→前期浸泡（饱和食盐水）→取出换液→后期浸泡（淡食盐水 + 香辛料 + 白酒）→成品检测。主要操作要点如下：

挑选检查：通过感官挑选、灯光照蛋和敲蛋检验，筛选出外形呈规则鹅卵形、大小均匀、蛋壳无裂缝、蛋黄完好的新鲜鸭蛋。

预处理：将消毒完毕的鸭蛋，用体积分数 1% 盐酸溶液浸泡 10 min，而后再用蒸馏水冲洗干净，彻底洗去附着于鸭蛋表面残余的盐酸。

前期腌制：前期将上述处理过的鸭蛋浸泡饱和食盐水，腌制 11 d。

后期腌制：后期再将鸭蛋捞出，改用淡食盐水、香辛料、白酒，连续浸泡腌制数天，直至腌制鸭蛋成熟。

成品检测：分别在腌制 11、15、19、23 d 随机选取 3 个鸭蛋测定鸭蛋白的含盐量、蛋黄出油率、蛋黄指数和蛋黄色度，以鉴定鸭蛋的成熟度。

1.2.2 *含盐量的测定* 参照国家标准《GB 5009.44–2016 食品安全国家标准 食品中氯化钠的测定》，采用银量法来测定煮熟后蛋白的氯化钠含量。

1.2.3 *出油率（析出脂肪）测定* 直径 7 cm 的定性滤纸 4 张重叠，105℃烘干至恒重，称量（M_0）。

将带壳咸蛋蒸 15 min，去掉蛋壳与蛋白，蛋黄置于干燥的小烧杯中，用玻璃棒或小勺将蛋黄轻轻搅散并拌匀，取大约 2.5 g，用小勺将其轻轻按压成小薄饼状。将蛋黄小饼置于烘干至恒重的 4 层滤纸上称量（M_1），然后将底部 2 层滤纸移到蛋黄上面，夹有蛋黄的滤纸置于洁净平板上，在蛋黄所在位置的滤纸表面放置 1 kg 重的锁型砝码，在 35℃恒温箱里放置 2 h。取出滤纸和蛋黄，去净蛋黄渣，将含油的滤纸烘干至恒重，称量（M_2），计算出油率（E_0）：

$$E_0（\%）=(M_2-M_0）/(M_1-M_0)\times 100$$

1.2.4 蛋黄色度测定　打开咸鸭蛋蛋壳，用蛋黄分离器分离出蛋黄，再对比罗氏色度比色扇（15 级），记录蛋黄色度并取其平均值。

1.2.5 蛋黄指数测定　将鸭蛋敲破放在干净水平的稳定测量平板上，用游标卡尺测量蛋黄的直径，同一个蛋旋转 120° 方向各测量 1 次，取 3 次测量结果的平均值为蛋黄直径。蛋黄高度也用游标卡尺测量，将游标卡尺的尾端插入咸蛋黄，视线保持水平并读数 3 次，记录读数取平均值为蛋黄高度，计算蛋黄指数：

蛋黄指数 = 蛋黄高度 / 蛋黄直径

1.2.6 单因素实验　根据相关文献报道[7, 12]基础配方为体积分数 1% 的盐酸浸泡 10 min，并加入饱和食盐水腌制 11 d，后期用质量浓度 10% 的食盐、质量分数 0.60% 的复合香辛料、体积分数 3% 的白酒继续腌制。（1）食盐添加量的确定。根据基础配方固定其他因素，后期分别添加质量浓度为 7%、10%、13%、16%、19% 的淡盐水，通过单因素分析确定食盐的最佳用量。

（2）香辛料添加量的确定。根据基础配方固定其他因素，后期分别添加质量分数为 0.4%、0.5%、0.6%、0.7%、0.8% 的复合香辛料，通过单因素分析确定复合香辛料的最佳用量。

（3）白酒添加量的确定。根据基础配方固定其他因素，后期分别添加体积分数为 1%、2%、3%、4%、5% 的白酒，通过单因素分析确定白酒的最佳用量。

（4）盐酸添加量的确定。根据基础配方固定其他因素，分别用体积分数为 0.5%、1%、1.5%、2%、2.5% 的盐酸浸泡 10 min，通过单因素分析确定盐酸的最佳用量。

1.2.7 咸蛋腌制最佳配方的确定　选取香辛料、食盐、盐酸、白酒 4 因素，在单因素实验的基础上进行 $L_9(4^3)$ 正交试验，筛选咸蛋腌制的最佳配方。

1.2.8 综合评分　通过跟踪测定咸鸭蛋的蛋白含盐量、蛋黄出油率、蛋黄指数、蛋黄色度 4 个指标，并结合感官评价进行综合评分，评分标准见表 1。

表 1　咸蛋综合评分标准

Table 1　Comprehensive scoring criteria of salted eggs

项目 Item	评分指标 Scoring index	评分分值 Score
外观 Appearance	蛋壳完整无裂缝	20
	蛋壳有裂缝	0~19
香味 Aroma	香味适中，有特殊五香香味	20~25
	五香味道偏淡，无特殊五香香味	11~19
	五香味道过浓，影响食欲	0~10
色泽 Color	蛋白洁白，蛋黄细软沙嫩，并伴随着出油	20~25
	蛋白洁白，蛋黄偏硬，并无出油迹象	11~19
	蛋白白色偏暗，蛋黄偏硬，且无出油迹象	0~10
口感 Taste	蛋白硬度适中，蛋黄结实沙软，较为爽口，香味十足，咸度均适中	22~30
	蛋白较为鲜嫩，蛋黄不结实，较为细软，稍有香味，咸度偏淡	11~21
	蛋白口感差，蛋黄过于结实，无香味，咸度偏重	0~10

试验数据采用 SPSS 19.0 软件进行正交试验方差分析。

2　结果与分析

2.1　单因素试验分析

2.1.1 食盐对咸蛋各指标变化规律的影响　由表 2 可知，随着腌制时间的延长，蛋白含盐量升高，蛋黄出油率增加，蛋黄指数增大，色度加深，咸蛋逐渐成熟。随着食盐浓度的增加，咸蛋含盐量不断增加，尤其是食盐质量浓度为 19% 时增加尤为明显，同时出油率也随着食盐浓度的增加不断的增大，10%~19% 的食盐质量浓度具有较高的出油率，口感较好。而食盐质量浓度为 10% 腌制 23 d 蛋白的含盐量为 2.6% 左右，口味比较清淡，并且咸蛋的蛋黄指数较大，蛋黄深度也较深，具有较高的成熟度。因此，食盐的适宜添加质量浓度为 10%。

2.1.2 香辛料对咸蛋各指标变化规律的影响　由表 3 可知，随着香辛料质量分数的增加，蛋白含盐量升高，出油率也增加，0.6% 的香辛料质量分数具有最大的蛋黄指数和最深的蛋黄色度，蛋黄

表 2 食盐对咸蛋各指标变化规律的影响

Table 2 Effect of salt concentration on variation of salted egg indicators

食盐质量浓度 Salt concentration（%）	蛋白含盐量 Albumen salt content（%）				出油率 Egg yolk oil yield（%）			
	11 d	15 d	19 d	23 d	11 d	15 d	19 d	23 d
7	1.33 ± 0.05	2.61 ± 0.42	2.69 ± 0.07	2.93 ± 0.64	9.28 ± 1.06	11.34 ± 1.75	9.55 ± 0.48	15.03 ± 4.67
10	1.55 ± 0.20	2.01 ± 0.21	2.31 ± 0.02	2.67 ± 0.01	12.11 ± 2.65	12.94 ± 1.09	11.31 ± 0.35	12.86 ± 1.91
13	2.30 ± 0.05	2.51 ± 0.49	2.52 ± 0.05	2.55 ± 0.49	11.60 ± 0.93	11.63 ± 0.46	11.77 ± 0.03	14.52 ± 0.40
16	2.10 ± 0.21	2.70 ± 0.64	2.82 ± 0.14	2.92 ± 0.12	11.47 ± 2.64	11.73 ± 1.55	11.04 ± 0.39	11.41 ± 1.23
19	1.79 ± 0.16	2.22 ± 0.47	3.13 ± 0.22	3.15 ± 0.60	11.25 ± 1.36	12.48 ± 1.25	13.20 ± 1.08	14.56 ± 5.29
食盐质量浓度 Salt concentration（%）	蛋黄指数 Egg yolk index（%）				蛋黄色度 Yolk color			
	11 d	15 d	19 d	23 d	11 d	15 d	19 d	23 d
7	65.90 ± 6.39	74.53 ± 4.69	77.91 ± 7.62	81.24 ± 7.72	10.33 ± 0.58	14.67 ± 0.58	14.33 ± 1.15	14.67 ± 0.58
10	63.15 ± 4.70	66.66 ± 8.26	76.60 ± 1.15	76.00 ± 2.26	10.33 ± 0.58	10.00 ± 1.73	14.67 ± 0.58	13.67 ± 0.58
13	57.60 ± 7.18	67.78 ± 12.43	81.18 ± 6.79	76.80 ± 12.95	9.33 ± 0.58	10.33 ± 1.15	14.67 ± 0.58	13.67 ± 0.58
16	52.90 ± 7.77	64.85 ± 15.37	77.70 ± 10.25	63.50 ± 5.99	9.00 ± 1.00	9.33 ± 1.53	13.67 ± 0.58	14.67 ± 0.58
19	58.65 ± 7.16	69.85 ± 13.95	75.52 ± 0.96	78.68 ± 4.90	10.00 ± 1.00	13.33 ± 0.58	13.67 ± 0.58	14.33 ± 1.15

表 3 香辛料对咸蛋各指标变化规律的影响

Table 3 Effect of spices concentration on variation of salted egg indicators

香辛料质量分数 Spice concentration（%）	蛋白含盐量 Albumen salt content（%）				出油率 Egg yolk oil yield（%）			
	11 d	15 d	19 d	23 d	11 d	15 d	19 d	23 d
0.4	1.96 ± 0.08	2.66 ± 0.67	2.96 ± 0.06	2.98 ± 0.10	12.35 ± 2.33	15.22 ± 1.87	14.43 ± 0.01	16.25 ± 0.48
0.5	2.17 ± 0.56	2.11 ± 0.33	2.30 ± 0.38	2.32 ± 0.34	11.40 ± 2.22	16.46 ± 2.26	11.88 ± 0.66	14.58 ± 1.07
0.6	1.88 ± 0.18	2.26 ± 0.44	2.54 ± 0.28	2.47 ± 0.11	9.60 ± 4.71	15.68 ± 1.65	11.46 ± 0.23	14.54 ± 0.72
0.7	2.19 ± 0.37	2.25 ± 0.30	2.43 ± 0.07	3.11 ± 0.08	12.27 ± 2.67	13.55 ± 4.40	15.04 ± 2.08	15.90 ± 3.18
0.8	2.32 ± 0.38	2.46 ± 0.12	2.97 ± 0.07	3.16 ± 0.09	9.83 ± 0.10	14.04 ± 1.42	17.80 ± 1.06	15.74 ± 0.74
香辛料质量分数 Spice concentration（%）	蛋黄指数 Egg yolk index（%）				蛋黄色度 Yolk color			
	11 d	15 d	19 d	23 d	11 d	15 d	19 d	23 d
0.4	64.98 ± 18.23	79.90 ± 4.18	77.80 ± 17.65	91.00 ± 10.50	10.00 ± 1.00	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	9.67 ± 0.58
0.5	68.01 ± 15.20	82.17 ± 16.33	75.10 ± 13.10	85.50 ± 2.91	10.33 ± 1.15	9.33 ± 0.58	9.33 ± 0.58	11.67 ± 1.53
0.6	69.43 ± 18.70	84.45 ± 2.67	87.90 ± 23.09	90.52 ± 9.60	9.67 ± 1.15	9.33 ± 0.58	9.67 ± 0.58	14.67 ± 0.58
0.7	85.70 ± 5.06	78.84 ± 12.62	82.80 ± 12.59	85.09 ± 6.90	9.33 ± 1.53	8.67 ± 1.15	9.33 ± 0.58	12.33 ± 0.58
0.8	80.20 ± 6.05	71.25 ± 16.52	82.90 ± 7.18	81.90 ± 7.19	10.00 ± 2.00	9.33 ± 0.58	9.00 ± 0.00	12.33 ± 0.58

品质较好。同时 0.6% 的香辛料质量分数下具有中等的含盐量，腌制 23 d 含盐量为 2.5% 左右，口味较淡，有利于健康。因此，香辛料的适宜质量分数为 0.6%。

2.1.3 白酒对咸蛋各指标变化规律的影响 由表 4 可知，随着白酒体积分数的增加，咸蛋中蛋白含盐量、蛋黄出油率、蛋黄指数及蛋黄色度均不断提高，但差异不大。随着腌制时间的延长各项指标也不断提高。当白酒体积分数为 5% 的时候有最大的蛋黄指数和最深的蛋黄色度，并且蛋白含盐量为 2.9% 左右，咸度适中，出油率比较高，口感好。

2.1.4 盐酸对咸蛋各指标变化规律的影响 由表 5 可知，随着盐酸浓度的增大及腌制时间的延长，蛋白含盐量、蛋黄出油率均不断增加、蛋黄指数增大、蛋黄色度加深，咸蛋逐渐成熟。腌制 23 d 各指标均已成熟，而当盐酸体积分数为 0.5% 时，咸蛋含盐量为 2.7% 左右，咸度适中，并且拥有高出油率、较高的蛋黄指数和蛋黄色度。

2.2 正交试验分析

咸蛋腌制工艺正交实验设计见表 6，结果分析见表 7。由表 8 可知，4 个因素对咸蛋腌制品

表 4　白酒对咸蛋各指标变化规律的影响

Table 4　Effect of liquor concentration on variation of salted egg indicators

白酒体积分数 Liquor concentration（%）	蛋白含盐量 Albumen salt content（%）				出油率 Egg yolk oil yield（%）			
	11 d	15 d	19 d	23 d	11 d	15 d	19 d	23 d
1.0	2.06 ± 0.77	2.26 ± 0.89	2.56 ± 0.21	2.84 ± 0.35	13.26 ± 3.71	11.01 ± 2.04	14.52 ± 0.97	15.29 ± 1.71
2.0	2.10 ± 0.79	2.51 ± 0.47	2.79 ± 0.45	2.88 ± 0.14	10.38 ± 0.56	12.70 ± 0.13	12.45 ± 1.84	13.29 ± 1.24
3.0	2.07 ± 0.31	2.22 ± 0.03	2.26 ± 0.72	2.69 ± 0.04	8.85 ± 2.24	10.64 ± 4.39	12.94 ± 0.47	14.41 ± 2.86
4.0	2.28 ± 0.82	2.54 ± 0.93	2.72 ± 0.47	2.73 ± 0.24	12.10 ± 0.76	9.85 ± 0.84	13.42 ± 1.84	15.00 ± 1.76
5.0	2.33 ± 0.35	2.42 ± 0.15	2.82 ± 0.13	2.95 ± 0.04	8.48 ± 0.70	12.13 ± 1.72	13.36 ± 1.46	15.27 ± 2.39
白酒体积分数 Liquor concentration（%）	蛋黄指数 Egg yolk index（%）				蛋黄色度 Yolk color			
	11 d	15 d	19 d	23 d	11 d	15 d	19 d	23 d
1.0	68.00 ± 12.01	66.00 ± 16.37	72.51 ± 8.67	82.70 ± 6.41	13.00 ± 0.00	13.00 ± 0.00	14.00 ± 0.00	15.00 ± 0.00
2.0	66.20 ± 8.85	79.40 ± 3.46	80.22 ± 11.32	80.95 ± 2.03	12.33 ± 0.58	12.67 ± 0.58	14.67 ± 0.58	15.00 ± 0.00
3.0	66.66 ± 2.53	75.20 ± 4.45	78.70 ± 1.57	82.30 ± 8.14	12.00 ± 1.00	13.67 ± 0.58	14.33 ± 0.58	14.67 ± 0.58
4.0	64.70 ± 7.16	77.90 ± 3.99	78.00 ± 3.50	84.70 ± 9.65	10.67 ± 0.58	14.00 ± 0.00	13.33 ± 2.08	14.33 ± 1.15
5.0	62.92 ± 2.13	67.50 ± 8.92	81.90 ± 0.47	82.50 ± 3.96	10.00 ± 1.00	13.00 ± 0.00	15.00 ± 0.00	15.00 ± 0.00

表 5 盐酸对咸蛋各指标变化规律的影响

Table 5 Effect of hydrochloric acid concentration on variation of salted egg indicators

盐酸体积分数 Hydrochloric acid concentration（%）	蛋白含盐量 Albumen salt content（%）				出油率 Egg yolk oil yield（%）			
	11 d	15 d	19 d	23 d	11 d	15 d	19 d	23 d
0.5	2.03 ± 0.31	2.13 ± 0.27	2.58 ± 0.56	2.73 ± 0.58	13.61 ± 0.41	12.12 ± 1.56	16.27 ± 0.05	14.14 ± 0.48
1.0	2.23 ± 0.29	2.39 ± 0.45	2.73 ± 0.62	2.56 ± 0.01	12.25 ± 2.80	11.37 ± 0.002	12.13 ± 3.25	12.59 ± 2.04
1.5	2.24 ± 0.11	2.61 ± 0.06	2.75 ± 0.26	2.44 ± 0.44	14.05 ± 1.52	11.42 ± 1.87	15.10 ± 1.50	15.55 ± 0.49
2.0	2.29 ± 0.39	2.39 ± 0.33	2.61 ± 0.51	2.75 ± 0.11	14.84 ± 5.60	11.21 ± 1.27	13.31 ± 1.78	13.34 ± 0.15
2.5	2.13 ± 0.26	2.47 ± 0.16	2.52 ± 0.10	2.55 ± 0.54	13.96 ± 1.75	13.40 ± 1.53	15.32 ± 1.40	11.65 ± 1.58
盐酸体积分数 Hydrochloric acid concentration（%）	蛋黄指数 Egg yolk index（%）				蛋黄色度 Yolk color			
	11 d	15 d	19 d	23 d	11 d	15 d	19 d	23 d
0.5	57.33 ± 8.21	64.60 ± 11.16	75.40 ± 15.64	77.30 ± 1.38	10.67 ± 1.15	8.67 ± 0.58	9.67 ± 0.58	11.33 ± 0.58
1.0	41.30 ± 4.74	52.80 ± 0.33	75.10 ± 16.70	86.25 ± 2.29	6.67 ± 0.58	9.33 ± 0.58	9.00 ± 0.00	12.33 ± 0.58
1.5	59.90 ± 6.01	63.62 ± 18.51	72.55 ± 10.25	74.76 ± 4.00	9.00 ± 1.00	9.00 ± 0.00	10.33 ± 0.58	12.67 ± 0.58
2.0	59.97 ± 2.08	63.03 ± 11.31	75.16 ± 13.03	78.15 ± 6.82	10.00 ± 1.00	9.00 ± 0.00	10.67 ± 0.58	13.33 ± 0.58
2.5	65.88 ± 1.72	83.20 ± 10.30	85.10 ± 6.16	86.50 ± 3.74	10.00 ± 1.00	8.67 ± 0.58	11.00 ± 1.00	12.67 ± 0.58

表 6　正交实验设计

Table 6　Design of orthogonal experiment

水平 Level	因素 Factor			
	A 盐酸体积分数 Hydrochloric acid concentration（%）	B 白酒体积分数 Liquor concentration（%）	C 香辛料质量分数 Spice concentration（%）	D 食盐质量浓度 Salt concentration（%）
1	0.5	4	0.5	7
2	1.0	5	0.6	10
3	1.5	6	0.7	13

质的影响均达到了显著水平，依次为 A ＞ B ＞ C ≈ D，即盐酸浓度＞白酒浓度＞香辛料浓度≈食盐浓度。各因素中最佳组合为 A1B2C2D2，即盐酸的体积分数为 0.5%，白酒的体积分数为 5%，香辛料的质量分数为 0.6%，食盐的质量浓度为 10% 时，腌制出的咸蛋品质最高。

表 7　正交实验结果分析

Table 7　Analysis of orthogonal test results

试验号 Test number	A	B	C	D	蛋黄指数 Egg yolk index	蛋白含盐量 (%) Albumen salt content	蛋黄色度 Yolk color	蛋黄出油率 (%) Egg yolk oil yield	综合评分 Comprehensive score
A	1	1	1	1	0.709	2.47	12.00	25.272	84
B	1	2	2	2	0.866	3.14	12.50	24.600	86
C	1	3	2	3	0.771	2.22	9.67	22.390	78
D	2	1	2	3	0.804	2.63	10.67	24.013	81
E	2	2	3	1	0.771	3.21	12.67	24.706	82
F	2	3	1	2	0.718	2.98	12.50	24.155	81
G	3	1	3	2	0.818	2.23	9.33	19.914	75
H	3	2	1	3	0.889	1.93	10.67	22.855	78
I	3	3	2	1	0.714	2.76	9.00	20.983	76
K_1	248	244	229					24.706	82
K_2	240	246	235					24.155	81
K_3	243	243	235					19.914	75
K_4	242	242	234					22.855	78

表 8　方差分析结果

Table 8　Results of variance analysis

变异来源 Source of variation	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	*F* 值 F value	*P* 值 P value
盐酸体积分数 Hydrochloric acid concentration（%）	66.8889	2	33.4450	100.3350**	0.0099
白酒体积分数 Liquor concentration（%）	20.2222	2	10.1111	30.3333*	0.0330
香辛料质量分数 Spice Concentration（%）	14.2222	2	7.1111	21.3333*	0.0469
食盐质量浓度 Salt concentration（g/100mL）	14.2222	2	7.1111	21.3333*	0.0469
误差 Error	0.2222	2	0.1111		
总和 Sum	115.7777				

注：$F_{0.01(2,2)}$=99，$F_{0.05}$（2，2）=19；* 表示差异显著，** 表示差异极显著。

Note: $F_{0.01(2,2)}$ = 99, $F_{0.05(2,2)}$ = 19; * means significant difference , **means extremely significant difference .

3　讨论

3.1　食盐在咸蛋腌制过程中的影响

食盐的添加量是咸蛋腌制过程中的关键因素之一，其直接影响咸蛋腌制的快慢及产品的风味和质量[3]。食盐浓度越大，腌制时间越短，蛋中含盐量也越高。荣建华等[17]在咸蛋腌制过程中通过指数模型拟合的研究方法，发现盐浓度越高，蛋黄指数变化越快，蛋黄指数越大。同时食盐的渗透程度对蛋黄出油起沙也有重要作用。刘蒙佳等[18]研究表明，当腌制液中加入 5% 的白酒和 6% 的香辛料的时候，食盐添加量为 17.5 g/mL 时具有趋于 1 的蛋黄指数，并且具有较好的口味和质地。本研究与相关研究[12]具有相似的结果，10%~19% 的食盐质量浓度都具有较高的出油率，较大蛋黄指数和较深的蛋黄色度，但是为了提倡低钠健康的饮食习惯，10% 是适宜的食盐添加质量浓度，其腌制 23 d 的蛋白含盐量仅为 2.67%，远低于传统腌制法 6% 左右的蛋白含盐量[19]。

3.2　香辛料在咸蛋腌制过程中的影响

随着物质的不断丰富，人们对食品口味的追求越来越高，传统的咸蛋腌制方法只使用食盐，风味单调，腥味较重，适口性不佳。香辛料具有除腥增香的效果，并且香辛料具有促进食盐向蛋内渗透，加速腌制进程，缩短咸蛋的成熟期的作用[8]。本研究以李和平等[7]的香辛料配方为基础，发现 0.6% 的香辛料质量分数对咸蛋的腌制效果最好，具有出油率高，咸淡适中，成熟快的特点。这与李和平等[7]、徐明生等[8]的研究结果相一致。同时刘良忠等[20]研究表明，香辛料还具有抑制腌制液中微生物的作用，可以提高咸蛋的保存期。

3.3　白酒在咸蛋腌制过程中的影响

白酒是日常生活中非常普遍的饮料，其主要成分乙醇是一种小分子有机溶剂，能破坏生物膜结构，使内膜结构疏散，打开膜孔通道，增大内膜通透性，进而提高食盐等的渗透率的作用；同

时蛋黄内的蛋白质可在乙醇的作用下发生沉淀和聚集，使原本分散且极小的油滴，彼此聚集成大油滴[9]。仝其根等[10]研究表明，随着乙醇含量的的升高，咸蛋的出油性越来越好，口味越来越纯，6% 的乙醇含量效果最佳。刘国庆等[9]用体积分数为 0%、5%、9% 的白酒腌制咸蛋 14 d，体积分数 5% 的白酒下的咸蛋略带酒香味，无腥味，口感细腻。这与本研究的结果相一致。

3.4 盐酸在咸蛋腌制过程中的影响

鸭蛋的壳外膜对水、食盐等的透过具有一定的阻碍作用[21]，延缓了咸蛋的成熟时间，同时蛋壳的厚度和气孔大小也影响食盐的渗透速度和量，进而影响咸蛋品质[22]，而盐酸等酸性物质具有消减壳外膜，增大蛋壳表面毛细孔的作用，孙汉巨等[12]用 5% 的醋酸处理蛋壳 20 min，使蛋壳气孔增大、蛋壳变薄，再结合 3% 的白酒和饱和食盐水，咸蛋腌制 20 d 左右就可成熟上市，比传统腌制方法缩短两周时间。李帅俊等[23]用 1% 的盐酸处理蛋壳表面 10 min，使盐水更易渗入蛋内，从而缩短了咸蛋的成熟时间。这与本研究前期的处理方式一致，另外本研究发现，随着盐酸体积分数的增加，蛋壳的裂缝会一定程度增大，但当盐酸体积分数为 0.5% 时，蛋壳质量较好，没有明显裂缝，同时研制出的咸蛋具有适中的含盐量、较高的出油率、较大的蛋黄指数和蛋黄色度，并且在腌制 23 d 时已经成熟，较传统的腌制 30~40 d 的成熟期提前 7~13 d [3, 12]。

4 结论

本研究在单因素的基础上进行正交实验表明，当采用分步式腌制方法，后期食盐质量浓度为 10%，香辛料质量分数为 0.6%，白酒体积分数为 5%，盐酸体积分数为 0.5%，腌制 23 d 时的咸蛋出油率高、蛋黄指数大、蛋黄色度深，且具有较低的含盐量，咸蛋品质高。与传统 30~40 d 的腌制周期相比缩短了腌制时间，并且降低了咸蛋中的含盐量，为腌制经济效益高、低钠健康的咸蛋提供了一定的技术参考。

参考文献（References）：

[1] 肖朝耿, 陈黎洪, 沈国华, 陈华龙 . 咸蛋腌制剂的应用及效果比较[J]. 浙江农业科学, 2006(4): 456–459. doi: 10.16178/j.issn.0528–9017.2006.04.041.
XIAO C G, CHEN L H, SHEN G H, CHEN H L. Application and effect comparison of salted egg curing preparations [J]. *Zhejiang Agricultural Science*, 2006 (4): 456–459. doi: 10.16178/j.issn.0528–9017.2006.04.041.

[2] 刘清莹. 红心盐鸭蛋的贮藏及品质的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007. doi:10.7666/d.Y1812560.
LIU Q Y. Study on storage and quality of red heart salt duck eggs [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007. doi:10.7666/d.Y1812560.

[3] 马美湖. 我国禽蛋产业发展现状及需解决的重大科技问题[J]. 华中农业大学学报, 2010(5): 12–18. doi: 10.13300/j. cnki. hnwkxb. 2010. 05. 016.
MA M H. China' s Egg Industry: Status Quo and Issues of Science and Technology [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2010 (5): 12–18. doi: 10.13300/j. cnki. hnwkxb. 2010. 05. 016.

[4] 周永昌 . 蛋与蛋制品工艺学[M]. 北京： 科技出版社, 1993.
ZHOU Y C. Egg and Egg Products Technology [M]. Beijing: Science and Technology Press, 1993.

[5] 吴玲, 马美湖. 咸蛋低盐腌制与品质提高技术的研究进展 // 第八届中国蛋品科技大会论文集[C]. 武汉: 武汉亿城文化用品有限公司, 2009: 475–481.
WU L, MA M H. Advances in low salt salting and quality improvement of salted eggs // Papers of the 8th China Egg Science and Technology Conference [C]. Wuhan: Wuhan Yicheng Cultural Supplies Co., Ltd., 2009:475–481.

[6] 绕红花 . 低钠咸蛋的加工工艺及保鲜研究[D]. 南昌: 江西农业大学， 2014.
RAO H H. Study on the processing and preservation of low sodium salted egg [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2014.

[7] 李和平, 隋继学, 安森亚, 魏建春, 郝修震, 齐保林 . 浸泡法五香咸蛋的研制及最佳配方筛选[J]. 农产品加工(学刊), 2008(9): 47–49. doi:10.3969/j.issn.1671–9646–B.2008.09.016.
LI H P, SUI J X, AN S Y, WEI J C, HAO X Z, QI B L. Study on the pickling method of spiced salted egg and selection of the best preserved formulas [J]. *Processing of Agricultural Products* (Journal), 2008 (9): 47–49. doi:10.3969/j.issn.1671–9646–B.2008.09.016.

[8] 徐明生, 董开发, 鄢建芬, 熊强 . 香辛料对咸蛋腌制的影响[J]. 肉类研究, 2000(4): 37–38. doi: 10.3969/j.issn.1001–8123.2000.04.013.
XU M S, DONG K F, YAN J F, XIONG Q. The Influence of the spices on the quality of salted egg [J]. *Meat Research*, 2000 (4): 37–38. doi: 10.3969/j.issn.1001–8123.2000.04.013.

[9] 刘国庆, 江力, 钱晓勇, 吕常庆 . 咸鸭蛋快速腌制工艺优化研究[J]. 食品科学, 2008, 29(12): 234–237. doi:10.3321/j.issn:1002–6630.2008.12.050.
LIU G Q, JIANG L, QIAN X Y, LYU C Q. Optimization of processing technology of salted duck eggs [J]. *Food Science*, 2008, 29 (12): 234–237. doi:10.3321/j.issn:1002–6630.2008.12.050.

[10] 仝其根, 宁静, 徐艺青, 周敏, 姜怀玺 . 咸蛋黄快速腌制方法的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 155–157. doi:10.3321/j.issn:1002–6630.2008.09.029.
TONG Q G, NING J, XU Y Q, ZHOU M, JIANG H X. Study on Rapid Salting Methods of Egg Yolk [J]. *Food Science*, 2008, 29 (9): 155–157. doi:10.3321/j.issn:1002–6630.2008.09.029.

[11] 曾舟, 马美湖, 何兰, 武小芬. 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. doi:10.16429/j.1009–7848.2012.10.027.
ZENG Z, MA M H, HE L, WU X F. Effect of different pickle additives on preserved salted egg[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2012, 12(10): 140–148. doi:10.16429/j.1009–7848.2012.10.027.

[12] 孙汉巨, 丁琦, 周鲜艳. 咸鸭蛋快速熟化技术研究[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 437–440.
SUN H J, DING Q, ZHOU X Y. Fast Maturation technology of salted duck eggs [J]. *Food Science*, 2010, 31 (18): 437–440.

[13] 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]. *Food Sci Technol Int Tokyo*, 1997, 3(3):269–273.

[14] 孙秀秀, 何立超, 杨海燕, 吴文敏, 岳丽莉, 彭伟明, 靳国锋, 金永国. 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): 210–217. doi: 10.13386 /j. issn1002 – 0306.2018.22.036.
SUN X X, HE L C, YANG H Y, WU W M, YUE L L, PENG W M, JIN G F, JIN Y G. Intermittent ultrasound assisted in speeding up the pickling speed of salted eggs [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39 (22): 210–217. doi: 10.13386 /j. issn1002 – 0306.2018.22.036.

[15] 吕蕙, 马美湖, 刘远远. 稻秸灰水提物对咸蛋黄理化特性的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(4): 1–9. doi:10.13982/j.mfst.1673–9078.2019.4.021.
LYU 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): 1–9. doi:10.13982/j.mfst.1673–9078.2019.4.021.

[16] 苏鹤, 杨瑞金, 赵伟, 华霄, 张文斌. 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. doi: 10.13652/j.issn.1003–5788.2015.01.043.
SU H, YANG R J, ZHAO W, HUA X, ZHANG W B. Preparation of salted eggs with low salt [J]. *Food and Machinery*, 2015, 31(1): 186–189. doi: 10.13652/j.issn.1003–5788.2015.01.043.

[17] 荣建华, 张正茂, 韩晓, 熊善柏. 腌制过程中咸蛋品质变化的动态分析[J]. 华中农业大学学报, 2006, 25(6): 676–678. doi:10.3321/j.issn:1000–2421.2006.06.023.
RONG J H, ZHANG Z M, HAN X, XIONG S B. Dynamic analysis on quality of salted eggs in pickling process [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2006, 25 (6): 676–678. doi:10.3321/j.issn:1000–2421.2006.06.023.

[18] 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. doi:10.3969/j.issn.1000–9973.2019.01.011.
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. doi:10.3969/j.issn.1000–9973.2019.01.011.

[19] 邵萍, 刘会平, 邹乾, 田丽元, 刘易坤, 董越. 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(18): 14–19. doi: 10.13386 /j.issn1002–0306.2017.18.002.
SHAO P, LIU H P, ZOUQ, TIAN L Y, LIU Y K, DONG Y. The contrast of salted eggs produced by soaking in acid combined with reduced pressure vacuum technology and the traditional method of brine immersion [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017 (18): 14–19. doi: 10.13386 /j.issn1002–0306.2017.18.002.

[20] 刘良忠, 文友先, 张声华, 姜春杰. 几种食品添加剂与香辛料对咸蛋加工的影响[J]. 肉类研究, 2003(1): 48– 50. doi:10.13386/j.issn1002–0306.2003.01.018.
LIU L Z, WEN Y X, ZHANG S H, JIANG C J. Effects of several food additives and spices on salted eggs processing [J]. *Meat Research*, 2003 (1): 48–50. doi:10.13386/j.issn1002–0306.2003.01.018.

[21] 程定均, 侯大军, 尚永彪, 杜杰, 陈峰. 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. doi:10.13386/j.issn1002–0306.2009.02.053.
CHENG D J, HOU D J, SHANG Y B, DU J, CHEN F. Factors on the transfer of salt in the processing of salted egg[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2009 (2): 323–325. doi:10.13386/j.issn1002–0306.2009.02.053.

[22] 彭辉, 林捷, 肖丹华, 黄娟, 郑华, 咸蛋黄成熟机制及品质影响因素研究进展[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(3): 181–184. doi:10.3969/j.issn.1005–6521.2011.03.052.
PENG H, LIN J, XIAO D H, HUANG J, ZHENG H. Research development of mechanism of changes in salted egg yolk during pickling process [J]. *Food Research and Development*, 2011, 32(3): 181–184. doi:10.3969/j.issn.1005–6521.2011.03.052.

[23] 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): 95–100. doi:10.13386/j.issn1002–0306.2006.02.023.
LI S J, LING G. Study on rapid salting Technology and quality improvement of salted duck eggs [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2006 (2): 95–100. doi:10.13386/j.issn1002–0306.2006.02.023.

（责任编辑　邹移光）