

溏心蛋加工工艺优化

丁 波¹, 陈育林¹, 窦玉萍¹, 李 冰², 刘红娜^{1,3,*}

(1.西北民族大学生命科学与工程学院,甘肃兰州 730030;

2.甘肃省轻工业研究院有限责任公司,甘肃兰州 730099;

3.西北民族大学生物医学研究中心,甘肃兰州 730030;)

摘 要:本实验以鲜鸡蛋为原料制做溏心蛋。采用单因素实验和 Box-Behnken 试验设计,分析探究煮制时间、煮制温度、冷却时间对溏心蛋感官、质构、蛋黄色泽的影响。结果表明,其最佳条件为:煮制时间 8 min、煮制温度 85 ℃、冷却时间 15 min,该条件下溏心蛋松软香嫩,蛋香浓郁,嫩滑而富有弹性,感官得分为 88.6,水分 71.4%、脂肪 9.18%、蛋白质 13.6%、胆固醇 9.46 mg/g。产品符合食品安全国家标准蛋制品的要求,同时为溏心蛋产业化提供理论。

关键词:溏心蛋,工艺优化,理化指标,质构特性

Optimization of Processing Technology of Soft-boiled Egg

DING Bo¹, CHEN Yulin¹, DOU Yuping¹, LI Bing², LIU Hongna^{1,3,*}

(1.College of Life Sciences and Engineering, Northwest Minzu University, Lanzhou 730030, China;

2.Gansu Light Industry Research Institute Co., Ltd., Lanzhou 730099, China;

3.Biomedical Research Center, Northwest Minzu University, Lanzhou 730030, China)

Abstract: Fresh eggs were utilized as raw material for soft-boiled eggs. The single factor tests and Box-Behnken test design were used to analyze and explore the effects of cooking time, cooking temperature and cooling time on the sensory, texture and egg yellow color of soft-boiled eggs. The results showed that the best conditions were: Cooking time 8 min, cooking temperature 85 ℃, cooling time 15 min. Under this condition, the soft-boiled egg was soft and tender, the egg was rich, tender and smooth, and the sensory scores was 88.6, moisture 71.4%, fat 9.18%, protein 13.6% and cholesterol 9.46 mg/g. The product fitted the requirements of national food safety standards for egg products, and would provide a theory for the industrialization of soft-boiled eggs.

Key words: soft-boiled eggs; process optimization; physicochemical indexes; texture characteristics

中图分类号: TS253.4

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2021)04-0135-08

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020030409

引文格式: 丁波, 陈育林, 窦玉萍, 等. 溏心蛋加工工艺优化[J]. 食品工业科技, 2021, 42(4): 135-141, 148.

DING Bo, CHEN Yulin, DOU Yuping, et al. Optimization of Processing Technology of Soft-boiled Egg[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(4): 135-141, 148. (in Chinese with English abstract) <http://www.spgykj.com>

溏心蛋是以鲜鸡蛋为原料,经短时高温煮制、低温快速冷却,且低温下储藏的熟蛋制品^[1]。目前,我国深加工蛋制品为数不多,市场上常见的蛋制品多为无壳产品,且在加工过程中添加了各种香精香料,使得鸡蛋自身风味被香料大大掩盖,鸡蛋原料的品质优势难以在产品上凸显^[2-3]。而全蛋煮制呈全熟或过熟状态,致使其营养损失严重,口感偏韧,缺乏弹性,且蛋黄粗糙,入口干而硬,口感较“老”。溏心蛋弥补了这一不足,其特点是蛋清凝固,蛋黄质构呈溏心状态,松软香嫩,蛋香浓郁,风味独特,嫩滑而富有弹性,且短时烹饪使其营养价值极高,是补充蛋白

质的良好物质^[4-5],深受广大消费者的喜爱。

近年来,溏心蛋多依靠个人经验制作,生产效率低,产量有限,加工条件难以控制;且国内外研究主要集中在发明专用烹饪设备、储藏运输条件、等级划分以及对其营养和安全性进行研究等^[6-9],陈铭^[8]研制了一种全自动的溏心蛋烹饪设备,解决了长时间运输导致蛋黄偏离系带的牵引最后形成偏心蛋的问题。谢绿绿^[9]对蛋黄的脂质成分以及脂肪酸组成进行分析,建立了指纹图谱评价不同鸡蛋的质量。而关于不同工艺条件对溏心蛋的感官、营养、质构的影响鲜有研究。

收稿日期: 2020-03-30

作者简介: 丁波(1984-),男,硕士,实验师,研究方向:食品科学, E-mail: kelpbo@163.com。

* 通信作者: 刘红娜(1984-),女,博士,副教授,研究方向:畜产品加工, E-mail: lhnxbmz@126.com。

基金项目: 中央高校基本科研业务专项资金项目(31920190082);科技部援助项目(KY201501005)。

因此,本试验以溏心蛋的感官评价为指标,采用 Box-Behnken 试验设计对工艺参数进行优化,旨在为提高溏心蛋的品质,为我国蛋品工业的发展提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

鲜鸡蛋 兰州市榆中县养殖厂;氢氧化钠、氨水、乙腈、乙醇、乙醚、石油醚、硫酸、硼酸 天津科密欧化学试剂有限公司;溴甲酚绿 烟台市双双化工有限公司;胆固醇标准品(99.0% + 0.5%) 北京坛墨质检科技有限公司。

DK-S26 恒温水浴锅 上海精宏实验设备有限公司;JA2003N 电子天平 上海嘉展仪器设备有限公司;TG16-WS 高速离心机 北京赛多利斯仪器系统有限公司;HH-SI-Ni 恒温干燥箱 枣庄市鸿耀机械有限公司;KND-04 自动凯氏定氮仪 上海沛欧分析仪器公司;JB2003N 真空干燥机 西尼特北京科技有限公司;TMS-Pro 质构仪 美国 Food Technology 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程和技术要点 新鲜鸡蛋→测定新鲜度指标(哈夫单位、蛋黄指数、蛋黄比例、蛋白 pH、蛋白粘度)→蛋重分级→清洗→预热初煮→高温水煮→冷却→储藏→成品^[10]

选出蛋重 60 g 的鸡蛋,保证蛋壳完整无裂纹,无异味。测定新鲜度指标,确定鸡蛋是否新鲜^[11]。清洗鲜蛋,预热初煮 55~65 °C, 3~4 min。低温使鸡蛋内气体慢慢扩散,防止高温使蛋气室急速爆裂,同时鸡蛋配合转动使蛋黄不易偏离中心,保证蛋黄受热均匀^[12]。在外力作用下鸡蛋使其不停滚动,水煮 3~4 min,温度 75~95 °C,可使得蛋白先凝固,蛋黄不偏离中心。接着由高温急速冷却,防止蛋品细菌滋生。冷却温度(1~4 °C),时间 15~20 min。最后 0~4 °C 保存。水煮蛋为沸水状态下煮制 10 min 获得。

1.2.2 单因素实验设计 分别在 75、80、85、90 和 95 °C 条件下煮制溏心蛋,时间 8 min,冷却时间 15 min,探讨煮制温度对蛋黄色泽、蛋的质构性质以及感官的影响;煮制温度 85 °C,冷却时间 15 min,探讨煮制时间分别为 4、6、8、10 和 12 min 对蛋黄色泽、蛋的质构性质以及感官的影响;煮制温度 85 °C,煮制时间 8 min,探讨冷却时间分别为 5、10、15、20 和 25 min 对蛋黄色泽、蛋的质构性质以及感官的影响。

1.2.3 响应面优化试验 在单因素实验基础上,选取煮制温度、煮制时间、冷却时间为自变量,以溏心蛋的感官得分为响应值,利用中心组合试验 Box-Behnken 设计对溏心蛋的加工工艺进行优化,建立回归模拟方程,因素与水平设计见表 1。

1.2.4 鸡蛋新鲜度的测定

1.2.4.1 哈夫单位的测定 哈夫单位是衡量鸡蛋的新鲜度的主要指标。电子天平测定蛋重,游标卡尺测蛋白高度,测量三次,取平均值,按照哈夫单位公式计算^[13]:

$$H = 100\lg(h - 1.7m^{0.37} + 7.6)$$

表 1 响应面分析实验设计

Table 1 The design of response surface analysis test

水平	因素		
	A 煮制温度 (°C)	B 煮制时间 (min)	C 冷却时间 (min)
-1	75	4	5
0	85	8	15
1	95	12	25

式中:H:表示哈夫单位;h:表示蛋白高度,mm;m:表示蛋重,g;美国农业部鸡蛋哈夫单位分级要求为:AA 级哈夫单位值不小于 72,A 级为 60~72 之间,B 级哈夫单位值小于 60。

1.2.4.2 蛋黄指数的测定 蛋黄与蛋清分离后,倒在玻璃平板上,测定蛋黄的直径、高度,按照蛋黄指数公式计算:

$$YI = \frac{h}{d}$$

式中:YI:表示蛋黄指数;h:表示蛋黄高度,mm;d:表示蛋黄直径,mm。

1.2.4.3 蛋黄比例的测定 用电子天平称量蛋黄质量,记录数据。按照蛋黄比例公式计算:

$$\text{蛋黄比例} = \frac{m_y}{m}$$

式中: m_y :蛋黄质量,g; m :鸡蛋质量,g。

1.2.4.4 蛋白 pH 的测定 将鸡蛋蛋清分别倒入 50 mL 离心管中,校准 pH 计,测定每个鸡蛋蛋清的 pH,测定 3 次,取平均值。

1.2.4.5 蛋白粘度的测定 参照刘晓明^[14]的研究方法进行测定。校准黏度计,依据测量的实际黏度占当前转子和转速条件下测量黏度最大值的百分比在 20%~90% 之间时为有效数值,根据此使用原则,从 1、2、3、4 号转子与 6、12、30、和 60 r/min 转速中选定合适的转子与转速测定蛋清的黏度,在室温条件下,用黏度计测定 15 min 后,记录 10 组数据,取平均值。

1.2.5 蛋黄、蛋白的质地多面分析(texture profile analysis,TPA)参数测定 蛋黄和蛋白的物性指标利用质构仪检测探头通过二次下压测试得到,分别测定蛋白、蛋黄的各项物性指标,包括硬度、粘附性、弹性、内聚性等^[15]。质构仪的测定参数为:测量前探头下降速度为 2.0 mm/s,测试速度为 1.0 mm/s,测试后探头回程速度为 2.0 mm/s,下压变形为 60%,触发力为 0.1 N^[16]。探头类型为 D25 mm 的圆柱形探头,压缩样品到原高度的 60%(蛋白)和 30%(蛋黄)。蛋白切成为 1.0 cm × 1.0 cm × 0.5 cm 大小的方块,蛋黄切成两半,球面向上进行测试,平行测定 6 次。

1.2.6 蛋黄色泽的测定 参照黄丽燕等^[17]的研究方法进行测定。采用 CR-400 便携式色差仪测定产品的亮度 L^* 、红度 a^* 、黄度 b^* 。

1.2.7 营养属性分析 分别参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[18],GB 5413.3-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[19],GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[20],GB 5009.128-2016《食品安全国

表2 感官评定标准
Table 2 Standards for sensory analysis

指标	评价标准	分值(分)
蛋壳(10分)	蛋壳完整,无破裂,表面清洁,无斑点	10~7
	蛋壳完整,无破裂,表面清洁,斑点较少	6~4
	蛋壳基本完整,有破裂,表面清洁,斑点较多	3~0
蛋白(30分)	蛋白细嫩,凝固形态完整,呈乳白色,有光亮,不黏壳	30~21
	蛋白细嫩,凝固形态完整,色暗,无光亮,稍有黏壳	20~11
	蛋白粗糙,凝固形态完整,色暗,无光亮,黏壳	10~0
蛋黄(30分)	蛋黄呈橙黄色半凝聚态的溏心胶状物,可流动	30~21
	蛋黄呈橙黄色无完整的溏心胶状物,可流动	20~11
	蛋黄呈暗黄色完全凝聚态,不可流动	10~0
风味(30分)	具有溏心蛋应有的风味,无异味、清嫩爽口	30~21
	具有溏心蛋应有的风味,无异味、口感较老	20~11
	不具有溏心蛋应有的风味,有异味、口感老	10~0

表3 鸡蛋新鲜度品质指标
Table 3 Quality index of egg freshness

内部品质	哈夫单位	蛋黄指数	蛋黄比例	蛋白 pH	蛋白黏度(Pa·s)
数值	71.28 ± 1.93	0.32 ± 0.06	0.37 ± 0.57	8.82 ± 0.42	1300 ± 0.36

家标准《食品中胆固醇的测定》^[21]方法,对溏心蛋水分、脂肪、蛋白质、胆固醇进行测定。

1.2.8 感官评定 制定评定标准进行评定^[11],本次感官评价由实验室的10位(5男5女,年龄18~22周岁)具有品评经验的人员组成评定小组,按照表2的标准分别对蛋壳、蛋白、蛋黄、风味进行评分,结果以平均分表示。在评定前对品评人员进行培训,感官评定前,参评人员不能过饿或过饱,评定前用清水漱口,评定期间成员之间单独进行,不得相互交流。在一间无异味、无噪声的房间,将样品置于一次性透明塑料盘中。采用评分法分别对上述四个指标进行感官评价。每次品评后,要用清水漱口,等待2 min后,再进行下一个样品的评价。

1.3 数据处理

数据采用 Origin 9.0 与 Design-Expert 8.0.6 进行分析和绘制。用 SPSS Statistics 22 进行 ANOVA 单因素方差分析,并采用 Duncan 法检验数据的差异显著性($P < 0.05$,差异显著)。

2 结果与分析

2.1 鸡蛋新鲜度

鸡蛋新鲜度的结果如表3,其哈夫单位、蛋黄指数、蛋黄比例、蛋白 pH、蛋白黏度等指标与刘晓明^[14]蛋的新鲜度结果基本一致,可以确定购买的鸡蛋新

鲜度较高,符合2 d 蛋龄的水平。

2.2 单因素实验结果

2.2.1 煮制温度对蛋黄、蛋白质构性质的影响 由表4可以看出,不同的煮制温度制得的溏心蛋的蛋黄的硬度、粘附性、弹性、内聚性、胶粘性、咀嚼性均有显著差异($P < 0.05$),随着煮制温度的升高,硬度逐渐增大,弹性、内聚性、胶粘性、咀嚼性先增大后减小。在85℃时,蛋黄的硬度适中,弹性、内聚性、胶粘性、咀嚼性最大。当煮制温度85~95℃时,鸡蛋因加热过程中水分不断流失,致使蛋白凝聚,光滑富有弹性,而蛋黄呈溏心状态,嫩滑而富有流动性。随着煮制温度的提高,蛋黄内部的蛋白质持水力逐渐下降,因而蛋黄逐渐形成松沙的结构,使蛋黄的粘附性、弹性、内聚性、胶粘性、咀嚼性都逐渐减小^[22]。

由表5可以看出,不同的煮制温度下溏心蛋的蛋白的硬度、粘附性、弹性、内聚性、胶粘性、咀嚼性均有显著差异($P < 0.05$),主要是由于蛋白质在加热过程中的凝胶性导致^[23]。随着煮制温度得增大,蛋白硬度、咀嚼性逐渐增大,粘附性逐渐减小。在85℃时,蛋白的弹性、内聚性、胶粘性最大。主要是由于蛋清中的卵白蛋白和卵转铁蛋白对蛋白凝胶网络的形成起主要作用,其中卵白蛋白的热变性温度在84℃^[24]。所以达到这一温度以后,蛋白凝胶硬度

表4 煮制温度对蛋黄质构性质的影响

Table 4 Effect of cooking temperature on the texture properties of egg yolk

煮制温度(℃)	硬度(N)	粘附性(mJ)	弹性(mm)	内聚性(Ratio)	胶粘性(N)	咀嚼性(mJ)
75	3.92 ± 0.15 ^a	1.58 ± 0.06 ^c	1.99 ± 0.13 ^a	0.40 ± 0.01 ^{ab}	3.37 ± 0.31 ^b	8.39 ± 0.06 ^c
80	5.77 ± 0.85 ^b	1.27 ± 0.04 ^d	5.78 ± 0.03 ^b	0.70 ± 0.01 ^c	4.77 ± 0.15 ^c	12.44 ± 0.08 ^d
85	7.57 ± 0.29 ^c	0.99 ± 0.05 ^c	7.84 ± 0.42 ^c	0.85 ± 0.09 ^c	7.63 ± 0.15 ^c	13.80 ± 0.04 ^c
90	8.27 ± 0.46 ^d	0.85 ± 0.09 ^b	7.68 ± 0.12 ^c	0.78 ± 0.04 ^d	5.57 ± 0.15 ^d	7.65 ± 0.14 ^b
95	8.53 ± 0.21 ^e	0.63 ± 0.10 ^a	7.16 ± 0.73 ^c	0.39 ± 0.07 ^a	1.43 ± 0.25 ^a	7.25 ± 0.15 ^a

注:同一参数(列)的标准偏差值后标注不同的字母存在显著性差异($P < 0.05$);表5~表9同。

表5 煮制温度对蛋白质构性质的影响

Table 5 Effect of cooking temperature on the texture properties of egg white

煮制温度(°C)	硬度(N)	粘附性(mJ)	弹性(mm)	内聚性(Ratio)	胶粘性(N)	咀嚼性(mJ)
75	7.23 ± 0.55 ^a	2.17 ± 0.03 ^d	7.74 ± 0.60 ^b	0.72 ± 0.07 ^b	5.13 ± 0.87 ^a	40.50 ± 0.06 ^a
80	9.23 ± 0.15 ^b	2.07 ± 0.03 ^c	7.21 ± 0.13 ^a	0.65 ± 0.03 ^a	7.50 ± 0.10 ^b	50.20 ± 0.08 ^b
85	15.78 ± 0.31 ^c	1.65 ± 0.06 ^b	8.45 ± 0.38 ^c	0.89 ± 0.02 ^d	12.10 ± 0.2 ^d	58.00 ± 0.04 ^c
90	20.51 ± 0.41 ^d	1.21 ± 0.17 ^a	7.89 ± 0.18 ^b	0.88 ± 0.05 ^d	8.67 ± 0.81 ^c	62.90 ± 0.04 ^d
95	21.95 ± 0.55 ^e	1.16 ± 0.07 ^a	7.19 ± 0.66 ^a	0.82 ± 0.08 ^c	8.27 ± 0.38 ^c	67.60 ± 0.15 ^e

变大,此时蛋白质已被充分展开,有利于疏水基团的暴露,疏水相互作用增加,从而使蛋白凝胶硬度增大,同时又由于蛋白受热而不断失水,浓缩,使得蛋白质更加紧密结实,85 °C后随着煮制温度的升高,导致蛋白的粘附性、弹性、内聚性、胶粘性逐渐减小,与试验结果一致^[25]。蛋黄的硬度、粘附性、弹性、内聚性、胶粘性比蛋白低,因为蛋黄中含有较少的水分和较高的脂肪,因而蛋黄更易形成松沙的结构,所以综合比较各项参数,选取控制煮制温度为85 °C作为后续研究参数。

2.2.2 煮制温度对蛋黄色泽以及感官的影响 由图1可知,不同煮制温度之间 a^* 值差异不显著,感官得分、 L^* 、 b^* 值差异显著($P < 0.05$)。煮制温度为75~85 °C时,感官得分和蛋黄色泽 L^* 、 b^* 值都随煮制温度的增大而增大。85~95 °C时,感官得分和蛋黄色泽 L^* 、 b^* 值都随煮制温度的增大而降低。85 °C时,溏心蛋感官得分88.2分、 L^* 值67.53、 a^* 值8.83、 b^* 值47,此时溏心蛋综合性质较好。 L^* 值增大说明蛋黄趋向于亮黄, b^* 值增大表示趋向黄色。综上所述选取煮制温度为85 °C为后续实验参数。

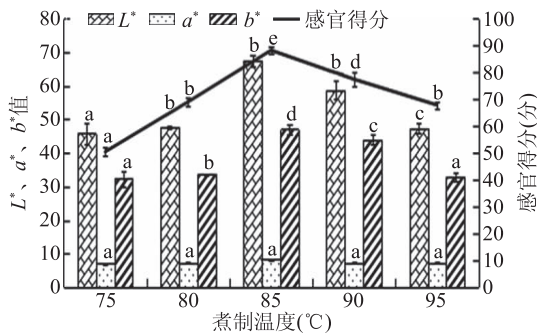


图1 煮制温度对蛋黄色泽以及感官得分的影响

Fig.1 Effects of cooking temperature on egg yolk color and sensory scores

2.2.3 煮制时间对蛋黄、蛋白质构性质的影响 由表6可以看出,不同的煮制时间下溏心蛋的蛋黄的硬度、粘附性、弹性、内聚性、胶粘性、咀嚼性分别有

显著差异($P < 0.05$),随着煮制时间的延长,硬度逐渐增大。在8 min时,蛋黄的弹性、内聚性、胶粘性、咀嚼性最大,85~95 °C时,逐渐减小。主要是因为随着煮制时间的延长,水分不断流失导致,致使蛋黄逐渐凝聚,松软香嫩,同时蛋黄中含有较少的水分和较高的脂肪从而使蛋黄最后呈松沙结构^[22]。所以,综合比较各项参数,选取煮制时间8 min作为后续研究参数。

由表7可以看出,不同的煮制时间下溏心蛋的蛋白分别在硬度、粘附性、弹性、内聚性、胶粘性、咀嚼性有显著差异($P < 0.05$),主要是由于蛋白质在加热过程中的凝胶性导致^[23]。随着煮制时间的延长,硬度逐渐增大。在8 min时,蛋白的粘附性、弹性、内聚性最大。85~95 °C时,随着煮制时间的延长,蛋白的粘附性、弹性、内聚性逐渐减小。85 °C,8 min煮制时最佳,此时蛋白完全凝固,蛋黄表面凝固、中心呈半流动状态,蛋壳易剥离。主要是因为煮制过程可使蛋白表面光滑,有韧性,去壳容易^[26-30]。综合比较各项参数,控制煮制的时间为8 min作为后续实验参数。

2.2.4 煮制时间对蛋黄色泽以及感官的影响 由图2可知,煮制时间为8 min时,溏心蛋感官得分90.40分、 L^* 值62.33、 a^* 值8.60、 b^* 值53.77,此时溏心蛋综合性质较好。在4~6 min时,感官得分和蛋黄色泽 L^* 值、 b^* 值都随煮制时间的延长而显著增加。在8 min时, L^* 值变大说明蛋黄趋向于亮黄, a^* 值变化幅度不显著, b^* 值变大表示趋向黄色。8~12 min时,感官得分随煮制时间的延长而显著降低。综上所述选取煮制时间为8 min作为后续实验参数。

2.2.5 冷却时间对蛋黄、蛋白质构性质的影响 由表8可以看出,不同的冷却时间下对蛋黄的粘附性差异不显著,硬度、弹性、内聚性、胶粘性、咀嚼性差异显著($P < 0.05$)。随着冷却时间的延长,硬度逐渐增大。在15 min时,蛋黄的粘附性、弹性、内聚性、胶粘性最大。主要是因为将煮熟的蛋放入冷水中,鸡蛋内部发生猛烈收缩,蛋白与蛋壳之间就形成真空

表6 煮制时间对蛋黄质构性质的影响

Table 6 Effect of cooking time on the texture properties of egg yolk

煮制时间(min)	硬度(N)	粘附性(mJ)	弹性(mm)	内聚性(Ratio)	胶粘性(N)	咀嚼性(mJ)
4	5.13 ± 0.007 ^a	1.45 ± 0.015 ^e	2.03 ± 0.07 ^a	0.72 ± 0.07 ^b	2.50 ± 0.46 ^{bc}	6.75 ± 0.06 ^b
6	6.67 ± 0.008 ^b	0.94 ± 0.04 ^d	5.63 ± 0.02 ^b	0.65 ± 0.03 ^a	2.47 ± 0.57 ^b	7.33 ± 0.08 ^c
8	7.42 ± 0.013 ^c	0.84 ± 0.02 ^b	9.59 ± 0.05 ^c	0.89 ± 0.02 ^d	3.10 ± 0.10 ^c	10.40 ± 0.04 ^c
10	8.93 ± 0.029 ^d	0.72 ± 0.01 ^a	6.70 ± 0.48 ^c	0.88 ± 0.05 ^d	2.63 ± 0.21 ^d	8.63 ± 0.04 ^d
12	9.05 ± 0.015 ^e	0.85 ± 0.01 ^{bc}	6.92 ± 0.09 ^d	0.82 ± 0.08 ^c	1.50 ± 0.26 ^a	5.97 ± 0.15 ^a

表7 煮制时间对蛋白质构性质的影响

Table 7 Effect of cooking temperature on the texture properties of egg white

煮制时间 (min)	硬度 (N)	粘附性 (mJ)	弹性 (mm)	内聚性 (Ratio)	胶粘性 (N)	咀嚼性 (mJ)
4	7.20 ± 0.44 ^a	1.14 ± 0.02 ^b	7.53 ± 0.58 ^b	0.72 ± 0.09 ^a	5.10 ± 0.89 ^a	40.68 ± 0.06 ^a
6	10.00 ± 0.72 ^b	1.24 ± 0.12 ^c	8.50 ± 0.63 ^d	0.73 ± 0.06 ^a	6.70 ± 0.36 ^b	54.55 ± 0.08 ^b
8	10.47 ± 0.06 ^c	1.29 ± 0.06 ^d	8.57 ± 0.16 ^c	0.88 ± 0.03 ^d	6.78 ± 0.10 ^c	58.40 ± 0.04 ^c
10	13.67 ± 0.81 ^d	1.13 ± 0.03 ^b	7.87 ± 0.83 ^c	0.78 ± 0.06 ^c	8.97 ± 0.31 ^d	72.24 ± 0.04 ^d
12	14.78 ± 0.68 ^c	1.09 ± 0.19 ^a	7.14 ± 0.74 ^a	0.74 ± 0.09 ^a	9.40 ± 0.40 ^c	84.40 ± 0.15 ^c

表8 冷却时间对蛋黄质构性质的影响

Table 8 Effect of cooling time on the texture properties of egg yolk

冷却时间 (min)	硬度 (N)	粘附性 (mJ)	弹性 (mm)	内聚性 (Ratio)	胶粘性 (N)	咀嚼性 (mJ)
5	3.77 ± 0.21 ^a	1.05 ± 0.02 ^a	3.56 ± 0.26 ^c	0.36 ± 0.02 ^a	1.98 ± 0.07 ^b	14.10 ± 0.15 ^c
10	4.20 ± 0.46 ^a	1.39 ± 0.09 ^a	6.91 ± 0.06 ^d	0.51 ± 0.06 ^c	1.78 ± 0.11 ^a	13.56 ± 0.05 ^b
15	5.17 ± 0.59 ^b	1.70 ± 0.13 ^a	7.86 ± 0.04 ^c	0.86 ± 0.04 ^d	8.99 ± 0.10 ^c	14.25 ± 0.38 ^c
20	9.80 ± 0.79 ^b	1.41 ± 0.42 ^a	1.34 ± 0.01 ^a	0.36 ± 0.01 ^a	5.70 ± 0.10 ^d	16.36 ± 0.32 ^d
25	16.13 ± 0.50 ^d	1.33 ± 0.03 ^a	2.49 ± 0.02 ^b	0.49 ± 0.02 ^b	2.50 ± 0.36 ^c	14.08 ± 0.36 ^c

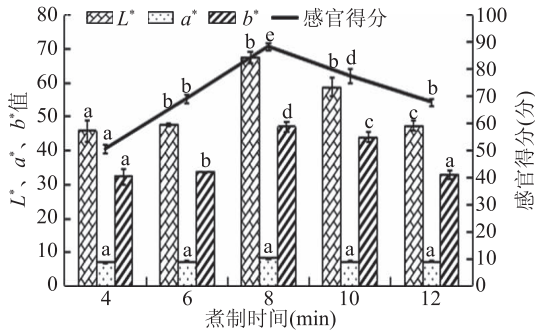


图2 煮制时间对蛋黄色泽以及感官得分的影响

Fig.2 Effects of cooking time on egg yolk color and sensory scores

空隙,使蛋白收缩更加紧密,光滑富有弹性,而此时蛋黄呈溏心状态,嫩滑有弹性^[29]。蛋黄的硬度和咀嚼度比蛋白低,因为蛋黄中含有较少的水分和较高的脂肪,因而蛋黄能够形成松沙的结构^[31-32]。所以,综合比较各项参数,选取冷却时间应为 15 min 作为后续实验参数。

由表9可以看出,不同的冷却时间分别对蛋白的硬度、粘附性、弹性、内聚性、胶粘性均有显著差异 ($P < 0.05$),在 15 min 时,蛋白的硬度、弹性最大,随着冷却时间的延长,蛋白的弹性逐渐减小。煮制后冷却可使蛋白表面光滑,有韧性。此时蛋白完全凝固,蛋黄表面凝固、中心呈半流动状态,蛋壳易剥离^[28-30]。所以,综合比较各项参数,选择冷却时间为 15 min 作为后续实验参数。

表9 冷却时间对蛋白质构性质的影响

Table 9 Effect of cooling time on the texture properties of egg white

冷却时间 (min)	硬度 (N)	粘附性 (mJ)	弹性 (mm)	内聚性 (Ratio)	胶粘性 (N)	咀嚼性 (mJ)
5	4.40 ± 0.26 ^a	1.39 ± 0.04 ^d	7.89 ± 0.21 ^c	0.60 ± 0.05 ^{ab}	2.68 ± 0.07 ^a	22.50 ± 0.15 ^a
10	7.73 ± 0.12 ^b	1.17 ± 0.04 ^{bc}	7.32 ± 0.17 ^c	0.78 ± 0.01 ^c	5.46 ± 0.11 ^b	45.80 ± 0.05 ^b
15	15.50 ± 0.36 ^c	0.94 ± 0.12 ^a	8.27 ± 0.34 ^d	0.59 ± 0.05 ^a	6.57 ± 0.10 ^c	58.10 ± 0.32 ^c
20	14.43 ± 0.12 ^d	1.11 ± 0.06 ^{ab}	6.98 ± 0.15 ^b	0.72 ± 0.06 ^c	8.35 ± 0.10 ^d	60.30 ± 0.38 ^d
25	11.03 ± 0.56 ^c	1.08 ± 0.02 ^b	6.67 ± 0.28 ^a	0.75 ± 0.08 ^c	9.30 ± 0.36 ^c	85.40 ± 0.36 ^c

2.2.6 冷却时间对蛋黄色泽以及感官得分的影响 由图3可知,冷却时间为 15 min 时,溏心蛋感官得分 88.0 分、L* 值 75.0、a* 值 8.27、b* 值 53,此时溏心蛋综合性质较好。在 5~15 min 时,感官得分和蛋黄色泽 L*、b* 值都随冷却时间的延长而增加,但相对幅度较小,冷却时间对 a* 值影响不显著。15 min 时蛋黄色泽 L*、b* 值变大,增加了蛋黄的亮度和黄度值,而此时蛋黄呈溏心状态,嫩滑而富有弹性。在 15~25 min 时,感官得分和蛋黄色泽 L*、b* 值都随冷却时间的延长而降低。综上所述选取冷却时间为 15 min 作为后续实验参数。

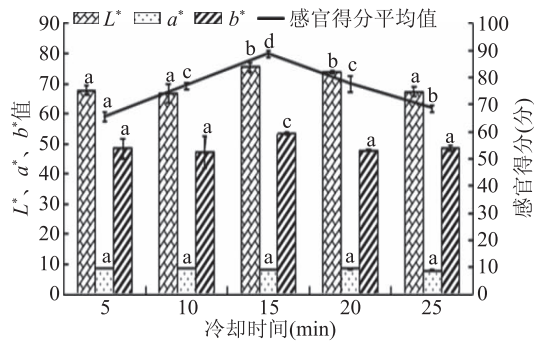


图3 冷却时间对蛋黄色泽以及感官得分的影响

Fig.3 Effects of cooling time on egg yolk color and sensory score

2.3 响应面优化结果

2.3.1 二次回归方程的建立分析与验证 响应面法

验设计方案及结果见表 10,利用 Design-Expert 8.0.6 软件对结果进行方差分析,将数据进行多元拟合,得到感官得分 Y 与煮制温度、煮制时间、冷却温度的回归方程为: $Y = 87.4 + 3.05A + 3.21B + 2.36C - 1.30AB - 3.45AC - 1.68BC - 12.44A^2 - 2.46B^2 - 4.06C^2$ 。

表 10 响应面设计方案及结果

Table 10 Box-Behnken design with experiment results for response surface analysis

实验号	A	B	C	Y 感官得分(分)
1	-1	1	0	75.70
2	-1	0	1	73.90
3	1	-1	0	71.90
4	1	0	-1	74.80
5	-1	0	-1	60.90
6	0	1	-1	82.80
7	0	-1	1	82.30
8	0	-1	-1	75.60
9	0	1	1	82.80
10	-1	-1	0	64.10
11	1	1	0	78.30
12	1	0	1	74.00
13	0	0	0	86.30
14	0	0	0	86.60
15	0	0	0	86.60
16	0	0	0	87.00
17	0	0	0	90.50

利用 Design-Expert 8.0.6 软件对试验结果进行方差分析,结果见表 11。可以看出此模型极显著 ($P < 0.01$),并能较好地反应出溏心蛋感官得分和各因素之间的线性关系 ($R^2 = 0.9717$);调整系数 R^2 为 0.9353,该回归模型的决定系数 $R^2 = 0.9717$,修正系数 $R^2 = 0.9353$,变异系数 $CV = 5.08$,预测系数 $R^2 = 0.9090$,变异系数 $CV = 2.68\%$,精确度 $Adeq Pre =$

表 11 回归模型的方差分析

Table 11 Analysis of variance for items of regression equation

变异来源	平方和	自由度	均方 MS	比值 F	显著水平 P	显著性
模型	1 060.87	9	117.87	26.68	0.0001	**
A	74.42	1	74.42	16.80	0.0045	**
B	82.56	1	82.56	18.69	0.0035	**
C	44.65	1	44.65	10.11	0.0155	*
AB	6.76	1	6.76	1.53	0.2560	不显著
AC	47.61	1	47.61	10.78	0.0134	*
BC	11.22	1	11.22	2.54	0.1550	不显著
A ²	651.33	1	651.33	147.44	0.0001	**
B ²	25.53	1	25.53	5.78	0.0472	*
C ²	69.49	1	69.49	15.73	0.0054	**
残差	30.92	7	4.42			
失拟项	18.66	3	6.22	2.03	0.2523	不显著
纯误差	12.26	4	3.07			
总和	1091.79	16				

注: $P < 0.05$ 为显著,用一个 * 表示; $P < 0.01$ 为极显著,用两个 ** 表示。

15.734,表明此模型拟合程度较好;失拟项不显著 ($P > 0.05$),可用于此模型对溏心蛋进行分析预测。一次项 (A、B)、二次项 (A²、C²) 对结果影响极显著 ($P < 0.01$)。表明这几个因素对溏心蛋感官得分影响较大。根据 F 值的大小,各因素对溏心蛋感官得分的影响程度为:煮制时间 > 煮制温度 > 冷却时间。

2.3.2 响应面分析 从图 4 可知,随着各因素水平的提高,溏心蛋感官得分呈现先升高后降低的趋势,且 B 对溏心蛋感官得分的影响要大于 A 和 C。另外,等高线的形状可以反应出各因素的交互作用对响应值的影响,当等高线为椭圆形时,说明其交互作用显著,而当等高线为圆形时,其交互作用则不显著。由图 4 分析可知,煮制温度和煮制时间交互作用的等高线密集,说明两者之间的交互因素较为显著,这和方差分析结果保持一致。

2.3.3 验证性实验结果 通过软件分析得出最佳工艺条件为煮制温度 85 °C,煮制时间 8 min,冷却时间 15 min,利用最佳条件进行验证,三次实验的平均感官得分为 88.6 分,与理论值 86.6 分接近,说明采用响应面优化的生产工艺参数准确可靠,按照建立的模型进行试验在实践中是可行的。

2.4 产品营养物质分析结果

由表 12 可知,溏心蛋水分、脂肪、蛋白质含量较自制的水煮蛋高,原因可能是水煮蛋煮制时间过长,水分较低^[33],而溏心蛋煮制时间较短,蛋清中的蛋白形成的网络结构松散,水分含量高^[22],但并未对其感官性质造成明显影响;溏心蛋的脂肪、蛋白质、胆固醇含量比水煮蛋含量都高,但是这些微小波动可能是因为鸡蛋本身差异引起的^[33]。

3 结论

本研究通过单因素和 Box-Behnken 试验设计响应曲面法优化,确定了溏心蛋生产工艺的最佳条件为:煮制温度为 85 °C、煮制时间 8 min、冷却时间 15 min。该条件下溏心蛋的感官得分较高为 88.6 分,

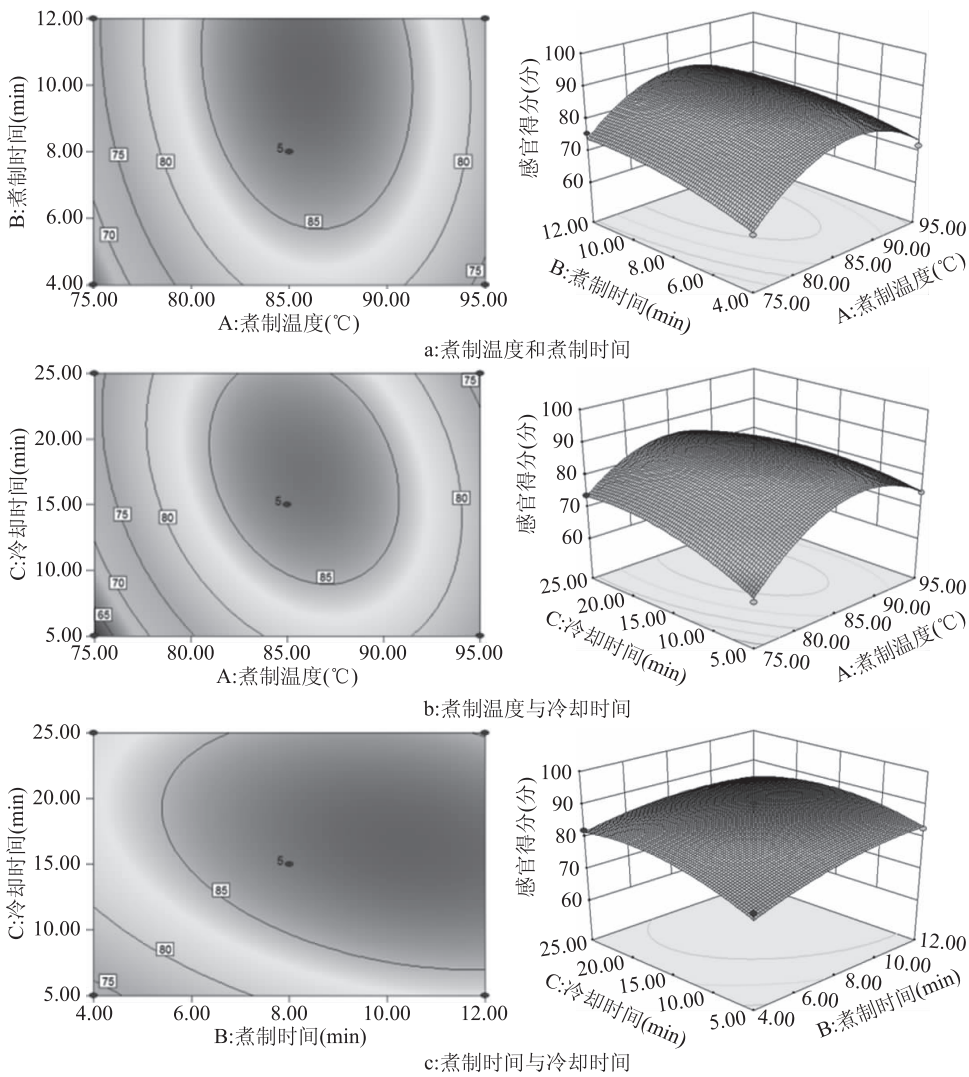


图4 各因素交互作用对溏心蛋感官得分影响的响应面图

Fig.4 Response surface plots showing the interactive effects of various factors on the sensory score

表12 水煮蛋与溏心蛋的理化指标

Table 12 Indexes of physical and chemical on soft-boiled eggs and boiled eggs

项目	水分 (%)	脂肪 (%)	蛋白质 (%)	胆固醇 (mg/g)
水煮蛋	68.6 ± 1.28	9.16 ± 0.31	13.4 ± 0.34	9.49 ± 0.54
溏心蛋	71.4 ± 0.93	9.18 ± 0.57	13.6 ± 0.42	9.46 ± 0.36

水分 71.4%、脂肪 9.18%、蛋白质 13.6%、胆固醇 9.46 mg/g。影响溏心蛋感官得分的 3 个因素的显著性程度排列顺序为：煮制时间 > 煮制温度 > 冷却时间。该结论为溏心蛋市场加工生产提供了参考。可以开展适用性加工，满足人们的不同需要。

参考文献

[1] 赵志峰, 谢王俊, 靳岳, 等. 一种溏心蛋的制备方法: 中国, 105942283A [P]. 2016-09-21.
 [2] 赵晓瑞. 休闲化高卵磷脂蛋干产品的研制 [D]. 长春: 吉林大学, 2017.
 [3] 迟玉杰. 浅析中国蛋品加工行业现状及发展方向 [J]. 中国家禽, 2014, (12): 2-5.
 [4] 阎微. 高压和热处理对蛋黄体系中蛋白质的影响 [D]. 无锡: 江南大学, 2009.

[5] 李晓东, 高凯, 李德允, 等. 中药负离子硒锗复合生物制剂对蛋鸡产蛋率及蛋品质的影响 [J]. 延边大学农学学报, 2018, 40(1): 60-66.
 [6] 谭莉, 李汭生, 阮征, 等. 市售软包装卤蛋产品品质特性分析 [J]. 食品与发酵工业, 2016(1): 205-211.
 [7] Kipp B. Environmental data recording, analysis and simulation of transport vibrations [J]. Packaging Technology Science, 2010, 21(8): 437-438.
 [8] 陈鸣. 一种全自动的溏心蛋烹饪装置: 中国, 204950541U [P]. 2016-01-13.
 [9] 谢绿绿. 鸡蛋黄中脂质成分及脂肪酸组成分析研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
 [10] 赵志峰, 刘福权, 廖梓羽, 等. 一种调味溏心蛋的制备方法: 中国, 106036545A [P]. 2016-10-26.

(下转第 148 页)

soluble dietary fiber production and properties of soybean curd residue via autoclaving treatment [J]. *Bioresource Technology Reports*, 2019, 7: 44-46.

[4] 吴斯妍, 贾鑫, 杨栋, 等. 膳食纤维功能特性及构效关系的研究进展[J]. *中国食物与营养*, 2019, 25(6): 47-50.

[5] 王建伟, 陈武强, 杨海文, 等. 茶树菇营养成分的提取与检测研究进展[J]. *现代农业科技*, 2010(20): 335-337.

[6] 杨革. 担子菌纲 8 种真菌的营养成分[J]. *无锡轻工大学学报*, 2000(2): 173-176.

[7] 胡晓倩, 唐洪华, 程安阳. 茶树菇多糖提取及其抗氧化性能的研究[J]. *湖北农业科学*, 2011, 50(21): 4465-4468.

[8] 付桂明, 刘成梅, 涂宗财. 茶树菇水溶性多糖的分离纯化和化学组成的研究[J]. *食品科学*, 2005(9): 162-166.

[9] 杭瑜瑜, 薛长风, 裴志胜, 等. 菠萝皮渣可溶性膳食纤维的酶法制备及理化性质研究[J]. *食品工业*, 2018, 39(7): 120-124.

[10] 常世敏, 张玉星. 高压蒸汽作用对梨渣膳食纤维改性的研究[J]. *食品工业*, 2019, 40(2): 130-133.

[11] Esposito F, Arlotti G, Bonifati A M, et al. Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. [J]. *Food Research International*, 2005, 38(10): 1167-1173.

[12] Zhang Z, Song H, Peng Z, et al. Characterization of stipe and cap powders of mushroom (*Lentinus edodes*) prepared by different grinding methods [J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 109(3): 406-413.

[13] 薛山, 刘泽明. 鹰嘴芒皮渣水不溶性膳食纤维提取工艺优化及理化性质测定[J]. *北方园艺*, 2019(7): 114-121.

[14] 刘锐雯. 木薯膳食纤维的提取工艺及理化性质的研究

[D]. 厦门: 厦门大学, 2014.

[15] 宋云禹. 毛葱膳食纤维改性工艺优化及其结构与性质的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2018.

[16] 蔡沙, 隋勇, 施建斌, 等. 马铃薯膳食纤维物化特性分析及其对马铃薯热干面品质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(4): 87-94.

[17] Khan G M, Khan N M, Khan Z U, et al. Effect of extraction methods on structural, physicochemical and functional properties of dietary fiber from defatted walnut flour [J]. *Food Science and Biotechnology*, 2018, 27: 1015-1022.

[18] International A. Official methods of analysis of AOAC International, 16th edition. Volume 1 [M]. AOAC International, 1995: 95-97.

[19] Arcila J A, Weier S A, Rose D J. Changes in dietary fiber fractions and gut microbial fermentation properties of wheat bran after extrusion and bread making [J]. *Food Research International*, 2015, 74: 217-223.

[20] 付烧. 纤维素酶法制备黑木耳残渣中的膳食纤维及性质测定[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.

[21] 曹媛媛. 甘薯膳食纤维的制备及其物化特性的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2007.

[22] 宋玉. 竹笋膳食纤维的改性及在中式香肠中的应用研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2018.

[23] Ma M, Mu T. Modification of deoiled cumin dietary fiber with laccase and cellulase under high hydrostatic pressure [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 136: 87-94.

[24] 王旭. 米糠膳食纤维的改性制备及其特性研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2018.

(上接第 141 页)

[11] 黄水品. 溏心皮蛋无铅新工艺的比较研究[J]. *肉类研究*, 2000(1): 21-24.

[12] 赵志峰, 刘福权, 廖梓羽, 等. 调味溏心蛋: 中国, 106071987A [P]. 2016-11-09.

[13] Gita Cherian, Nathalie Quezada. Egg quality, fatty acid composition and immunoglobulin Y content in eggs from laying hens fed full fat camelina or flax seed [J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2016, 7(3): 374-381.

[14] 刘晓明. 蛋品储藏过程中新鲜度变化研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2014.

[15] 周芹. 咸蛋黄质地与风味的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2012.

[16] 谭莉, 李沛生, 阮征, 等. 市售软包装卤蛋产品品质特性分析[J]. *食品与发酵工业*, 2016(1): 205-211.

[17] 黄丽燕, 张强, 刘文营, 等. 不同热处理方式对卤蛋蛋白的质构影响[J]. *食品工业*, 2010(9): 75-78.

[18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3-2016 食品安全国家标准食品水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.6-2016 食品安全国家标准食品中脂肪的测定: [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

[20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.5-2016 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

[21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB

5009.128-2016 食品安全国家标准食品中胆固醇的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[22] 陈功, 陈有亮. 鸡蛋的微观结构与凝胶性状[J]. *肉类研究*, 1999(2): 12-14.

[23] 余秀芳. 卤蛋加工技术与品质变化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.

[24] 肖雯. 周益海蛋白粉的功能特性与蛋白粉的加工[J]. *国外畜牧学猪与禽*, 2003, 23(3): 57-59.

[25] 李俐鑫, 迟玉杰, 于滨. 蛋清蛋白凝胶特性影响因素的研究[J]. *食品科学*, 2008, (3): 46-49.

[26] 乔秀红, 李青萍, 王向东, 等. 烤蛋风味物质研究[J]. *中国调味品*, 2008(1): 54-57.

[27] 乔秀红, 李青萍, 赵桂玲, 等. 鸡蛋烘烤工艺技术条件研究[J]. *食品与机械*, 2003(4): 15-16.

[28] 叶华, 金花. 无公害五香卤蛋的调味研究[J]. *食品工业科技*, 2007(7): 156-158.

[29] 吴红梅, 吴春粉, 闫运红. 五香熏蛋开发进展[J]. *肉类工业*, 2001, 243(8): 21-22.

[30] 李志成, 郑燕, 乔秀红, 等. 香卤蛋加工工艺研究[C]//中国蛋品科技大会. 中国畜牧兽医学学会. 中国畜产品加工研究会, 2006.

[31] 刘志伟. 特色风味酱卤蛋的研制[J]. *食品科学*, 2000(8): 65-66.

[32] 金日. 怎样煮鸡蛋易剥壳[N]. *保健时报*, 2004-08-12.

[33] 朱云鹏, 崔春利, 王兰娇, 等. 哈尔滨市售鸡蛋品质及营养成分分析[J]. *食品工业*, 2017, (5): 289-292.