

间歇式加压技术快速腌制皮蛋工艺研究

孙 静^{1,2}, 杜金平¹, 马美湖^{2,*}

(1.湖北省农业科学院畜牧兽医研究所, 湖北 武汉 430064;

2.华中农业大学 国家蛋品加工技术研发中心, 湖北 武汉 430070)

摘 要:为缩短皮蛋的生产周期, 按照 $U_{10}(10^6)$ 均匀试验设计, 采用间歇式加压技术进行腌制, 利用压力控制程序调控腌制罐中的加压及卸压过程, 利用高压加快腌制液中碱向蛋内渗透, 低压时, 蛋内压力小于蛋外环境的压力, 从而加速蛋内产生的水分和 H_2S 、 NH_3 及 CO_2 等气体向外逸出, 有利于碱进一步向蛋内渗透, 起到加快皮蛋成熟的作用。通过对皮蛋蛋清、外层蛋黄及内层蛋黄的游离碱度、蛋黄硬化率和感官等指标进行综合评分, 选出最优工艺条件组合为: 碱(食品级氢氧化钠)质量分数 5%, 高压 180kPa 保持 40min, 低压保持 12min, 腌制 206h; 用此法腌制皮蛋最多可将生产周期缩短到传统工艺的 78%, 可以大幅提高生产效率; 各因素对皮蛋品质的影响均具有显著性($P < 0.05$), 影响作用按大小顺序排列为腌制时长>低压保持时间>高压保持时间>碱质量分数>高压压力, 综合品质与高压值呈负相关关系, 在腌制时长一定的条件下, 高低压分配对皮蛋品质具有重要作用, 其中低压保持时间对内层蛋黄游离碱度影响最显著。

关键词: 鸭蛋; 间歇加压; 生产周期; 品质

Optimization of Quick Curing Process for Preserved Egg by Intermittent Pressurization

SUN Jing^{1,2}, DU Jin-ping¹, MA Mei-hu^{2,*}

(1. Institute of Animal Husbandry and Veterinary, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China;

2. Subsidiary Research Center of National Egg Processing, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: In order to shorten the production period of preserved egg, intermittent pressurization was used to develop a rapid curing device. In the curing tank, pressurized and depressurized was under the control of a pressure control program. The permeation of alkali from the curing solution into eggs was accelerated at high pressure. Conversely, when the pressure inside eggs was lower than that outside eggs at low pressure, the leakage of water, H_2S , NH_3 and CO_2 generated in eggs was accelerated, thereby being beneficial to further permeation of alkali into eggs and accelerating the ripening of preserved eggs. Based on a comprehensive evaluation of free alkalinity in egg white and yolk, the hardening rate of egg yolk and sensory characteristics, the optimum curing conditions were determined as follows: the optimal alkali concentration was 5%, the high pressure 180 kPa and the low pressure were held for 40 min and 12 min, respectively, and the curing time was 206 h. By using the process, the production period could be shortened by up to 22% as compared with the traditional process. Thus, the production efficiency was considerably increased. All curing time, low pressure holding time, high pressure holding time, alkali concentration and high pressure level had a significant effect on the quality of preserved egg ($P < 0.05$). The process parameters could be ranked in decreasing order of their importance as follows: curing time, low pressure holding time, high pressure holding time, alkali concentration and high pressure level. Among them, low pressure holding time was the most important factor affecting free alkalinity in inner egg yolk.

Key words: duck eggs; intermittent pressurization; production cycle; quality

中图分类号: S879.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)06-0001-06

皮蛋是我国传统的生食蛋制品, 具有特殊的宜人滋味和气味, 不仅能促进人的食欲, 开胃助消化, 而且

营养价值比鲜蛋更高, 容易被人体消化吸收^[1]。

蛋加工原理是利用 NaOH 进入蛋内使蛋白和蛋黄由

收稿日期: 2011-03-17

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(4011-08112601)

作者简介: 孙静(1986—), 女, 研究实习员, 硕士, 主要从事水产、禽、蛋类加工研究。E-mail: sammi8866@sina.com

* 通信作者: 马美湖(1957—), 男, 教授, 博士, 主要从事肉类蛋品科学理论及技术研究。

E-mail: mameihuhn@yahoo.com.cn

自然状态转变成凝固状态。传统的皮蛋加工方法一般需要35~40d,其生产周期长、生产效率低,而且产品质量不稳定,机械化程度很低。为了缩短皮蛋生产周期,提高皮蛋加工效率,吕峰等^[2]采取梯度控温腌制,效果较好,但缩短周期效果不明显且工艺较繁琐;提高腌制液中碱质量分数也可以加快皮蛋的腌制,但欧阳玲花等^[3]发现过高的碱会使蛋白质和胶原物质被破坏,造成碱伤。而且这种方法生产出的皮蛋壳内斑点多并且大,影响皮蛋感官质量指标。同时人体摄入过多的碱会破坏胃酸环境,造成消化不良,不利健康。阎华等^[4]利用锌盐替代铜盐来腌制皮蛋以缩短周期,但使用锌盐腌制时,由于碱液渗透过快,在实际应用时容易造成皮蛋蛋黄凝固及转色还未完全时位于两头的蛋清就出现碱伤。所以单纯使用锌盐快速腌制皮蛋,不仅腌制情况不好掌握,而且生产时间的缩短也是有限的。目前研究比较多的方法是“铜锌混合法”、“铁锌混合法”等。郑玉清等^[5]将超声波应用于咸蛋的快速腌制,但容易造成蛋黄膜的破裂而影响腌制效果。佟林动等^[6]、陈石头等^[7]采取脉动压力快速腌制咸蛋取得了较好的效果。目前国内外还未见采用间歇式加压快速腌制皮蛋的研究和报道。

基于上述研究现状,本实验针对现有问题,自主设计一种卧式间歇式加压快速腌制皮蛋的装置,并研究高压大小、高压保持时间、低压保持时间、碱质量分数和腌制时间5个因素对腌制皮蛋的游离碱度、蛋黄凝固率及感官等综合品质的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜鸭蛋(200个)、红茶末 市购。

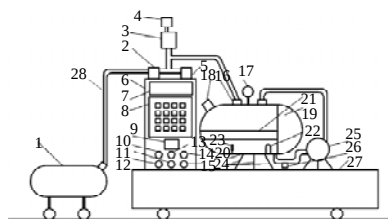
氢氧化钠(食品级) 自贡鸿鹤化工股份有限公司;食盐 湖北盐业集团有限公司;CuSO₄、ZnSO₄、BaCl₂、CaO、CaCl₂、酚酞、浓盐酸均为分析纯;氢氧化钠(工业级)。

1.2 仪器与设备

FJ-200型高速分散均质机 上海标本模型厂;FE20型pH计、AR-2140型分析天平 上海梅特勒-托利多仪器有限公司;卧式间歇式加压快速腌制装置 自制(该装置由压力发生装置、压力控制系统和压力容器组成,见图1)。

间歇式加压周期内的压力变化如图2所示,该间歇压力按设置程序实现加压、卸压和保压操作。压力发生装置由空气压缩机及压力变送器组成,空气压缩机通过加压阀按照加压程序给压力罐加压,压力罐的压力范围是相对压力0~200kPa,当压力变送器感受压力罐内压力达到设定值后便进入保压阶段(高压),相应时间后

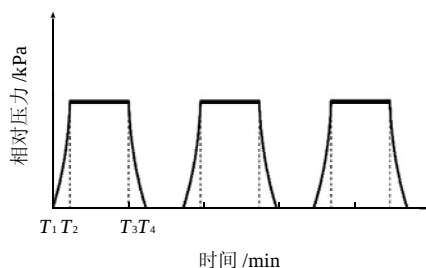
再通过卸压阀给容器卸压到设定低压后保持相应低压时间,至此为一个间歇压力周期,循环往复。压力容器耐碱耐盐防腐蚀的材质制得,内有加热丝可补偿腌制温度,另有料液可循环系统。由单片机控制间歇式加压程序,可连接电脑自定义工艺参数。具有压力可调、温度可调、料液可循环的特点。



1.空气压缩机;2.进气阀;3.压力变送器;4.数显压力表;5.卸压阀;6.机箱;7.显示器;8.键盘;9.温度调节仪;10.电极开关;11.单片机开关;12.电热丝开关;13.温度调节仪开关;14.总电源;15.备用开关;16.进气阀;17.压力表;18.电极接孔;19.压力罐盖;20.压力罐体;21.环形开孔隔板;22.电热丝;23.温度探头;24.三脚支架;25.水泵;26.排水阀;27.车架;28.管道。

图1 卧式间歇式加压快速腌制装置

Fig.1 Schematic diagram of horizontal type rapid curing device with intermittent pressurization



T₁.加压时间;T₂.高压保持时间;T₃.卸压时间;T₄.低压保持时间。

图2 间歇式加压周期内压力变化示意图

Fig.2 Pressure changes during a cycle of intermittent pressurization

1.3 方法

1.3.1 皮蛋腌制方法

本研究腌制皮蛋采用铜锌混合盐等原料腌制新鲜鸭蛋。取新鲜鸭蛋20个洗净放进盛有2L配好的腌制液的桶内,放入压力罐,密封好后运行控制程序间歇通入压力。

为防止鸭蛋壳破裂,调整程序使卸压缓慢些,控制在1min左右。而程序在加压和卸压开始前有1min左右的反应时间,在实际分析时此段时间不予考虑。低压压力为常压。

1.3.2 腌制皮蛋工艺试验设计

以高压压力、高压保持时间、低压保持时间、碱(食品级氢氧化钠)质量分数、腌制时间为5因素,采用

5 因素 10 水平均匀试验设计, 按照 $U_{10}(10^8)$ 均匀设计表进行试验, 相应偏差 D 为 0.2414^[8]。试验因素与水平如表 1 所示。

表 1 腌制皮蛋工艺 $U_{10}(10^8)$ 均匀设计

Table 1 $U_{10}(10^8)$ uniform design for optimizing 5 process parameters

试验号	A 高压 压力 /kPa	B 高压保持 时间 /min	C 低压保持 时间 /min	D 碱质量 分数 /%	E 腌制 时间 /h
1	1(110)	3(29.44)	4(17.22)	5(4.89)	9(285.30)
2	2(120)	6(60.00)	8(35.56)	10(6.00)	7(232.00)
3	3(130)	9(23.33)	1(53.89)	4(4.67)	5(178.70)
4	4(140)	1(53.89)	5(5.00)	9(5.778)	3(125.30)
5	5(150)	4(17.22)	9(23.33)	3(4.44)	1(72.00)
6	6(160)	7(47.78)	2(41.67)	8(5.56)	10(312.00)
7	7(170)	10(11.11)	6(60.00)	2(4.22)	8(258.70)
8	8(180)	2(41.67)	10(11.11)	7(5.33)	6(205.30)
9	9(190)	5(5.00)	3(29.44)	1(4.00)	4(152.00)
10	10(200)	8(35.56)	7(47.78)	6(5.11)	2(98.67)

1.4 指标测定

1.4.1 皮蛋内容物游离碱度

为了确定皮蛋不同层次内容物的碱渗透情况, 需要把蛋清、外层蛋黄和内层蛋黄分开, 分别测定其游离碱度。取蛋清、蛋黄等待测样品与水以 2:1(V/V) 比例混合, 在高速分散均质机上将样品打匀, 再取 15g 混合好样品, 加入蒸馏水至 250mL, 搅匀, 用双层纱布过滤, 取滤液, 待用。吸取 50mL 滤液(皮蛋试样), 在附酸度计的磁力搅拌器上用 0.1mol/L HCl 标准液边滴边搅拌, 直至 pH7 为止。做 3 次平行, 最后取平均值。得出皮蛋的游离碱度为:

$$X = C \times (V_1 - V_2) \times 40 \times 100 \div (10 \times 50 \div 100)$$

式中: X 为试样中的游离碱度(以 NaOH 计)/(mg/100g); V_1 为滴定试样时消耗盐酸标准滴定溶液的体积 /mL; V_2 为空白试验消耗盐酸标准滴定溶液的体积 /mL; C 为盐酸标准滴定溶液的实际浓度 /(mol/L); 40 为与 1.0mL 盐酸标准滴定溶液相当的氢氧化钠质量 /mg。

1.4.2 蛋黄硬化率

硬化率用外层已凝固部分的蛋黄占整个蛋黄的质量分数表示^[9]。测定方法是将皮蛋剥壳, 去掉蛋清后对蛋黄部分称量, 记作 W_0 , 之后再用药匙去除内部未凝固的溏心蛋黄, 只留外蛋黄后再称量, 记作 W_{ex} 。

$$\text{蛋黄硬化率} / \% = (W_{ex} \div W_0) \times 100$$

1.4.3 感官评价

按照表 2 所列出的皮蛋感官评分标准对皮蛋进行感官评分, 总分为各部分的总和, 满分为 100 分。

表 2 皮蛋产品感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation criteria for preserved egg

指标	性状	得分
蛋壳 (10分)	蛋壳完整, 有裂纹, 斑点较多	0~3
	蛋壳完整, 无裂纹, 表面清洁, 斑点较少	4~7
	蛋壳完整, 无裂纹, 表面清洁, 无斑点	8~10
蛋清 (35分)	蛋清液化呈棕褐色, 凝固性差, 弹性差甚至无弹性	0~7
	粘壳, 蛋清呈不透明的棕褐色, 凝固性差, 弹性差甚至无弹性	8~14
	较为粘壳, 蛋清呈不透明的棕褐色, 凝固性一般, 弹性一般	15~21
	不粘壳, 蛋清呈半透明的棕褐色, 凝固性好, 弹性较好	22~28
蛋黄 (35分)	不粘壳, 蛋清呈半透明的棕褐色, 凝固性好, 弹性好	29~35
	外层浅绿色, 色层不明显, 蛋黄硬化率小于 40%	0~11
	外层浅绿色, 五色环较明显, 蛋黄硬化率在 40%~60% 之间	12~23
风味 (20分)	外层墨绿色, 五色环明显, 蛋黄硬化率大于 60%	24~35
	无皮蛋特有的香味和风味, 涩口、碱味较重, 有腥臭味, 无松花	0~5
	具有皮蛋特有味道, 稍微有碱味, 清凉感较淡, 有少量松花或无松花	6~10
	具有皮蛋特有味道, 碱味淡, 清凉感较淡, 有少量松花	11~15
	具有皮蛋特有味道, 碱味较淡或无碱味, 清凉感较强, 有大量松花	16~20

1.5 数据分析

每个指标都由随机抽取的 3 个样本测定所得。数据均由“平均值±标准差”表示。差异显著性分析采用 ANOVA 和 Tukey 多重比较法。

由于原始数据的取值及单位不相同, 必须对原始数据进行模糊处理, 以消除量纲的影响。对指标 y 在 $[0,1]$ 区间内评分, 在 y 值越大、评分越高的情况下(如硬化率和感官评分), 变换公式为 $r_i = \frac{y_i - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}}$; 在 y 值越大、评分越低情况下(如游离碱度), 变换公式^[10]为 $r_i = 1 - \frac{y_i - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} = \frac{y_{\max} - y_i}{y_{\max} - y_{\min}}$ 。

由于在本实验中, 感官品质最重要, 因此赋予其权重 0.6。硬化率和内容物游离碱度分别赋予权重 0.2 和 0.2。将模糊变换后的数据乘以相应权重, 即得加权综合评分^[11]。

2 结果与分析

按照均匀设计试验考察不同腌制因素对皮蛋腌制的品质影响, 测定内容物游离碱度、蛋黄硬化率, 进行感官评定, 并对其进行加权综合评分, 结果见表 3。

2.1 间歇式加压处理对皮蛋内容物游离碱度作用的分析

皮蛋内容物的游离碱度是皮蛋制作的一个重要衡量指标。皮蛋能否由凝固阶段顺利进入转色成熟阶段, 关键在于蛋内游离碱度是否在 300~530mg/100g 的范围内, 游离碱度过高或过低都不利于皮蛋的品质^[12]。另外蛋清中的游离碱度的高低也决定皮蛋产品是否有涩口的不宜人碱味。

2.1.1 腌制条件对蛋清游离碱度的影响

用均匀设计分析软件包得到以各腌制条件为自变

表3 腌制皮蛋工艺 $U_{10}(10^9)$ 均匀设计试验及加权综合评分结果
Table 3 $U_{10}(10^9)$ uniform design results

试验号	蛋清游离碱度/(mg/100g)	外层蛋黄游离碱度/(mg/100g)	内层蛋黄游离碱度/(mg/100g)	蛋黄硬化率/%	感官评分	加权综合评分
1	372.88 ± 4.37^f	345.56 ± 7.86^j	32.63 ± 2.71^f	52.44 ± 0.75^f	64.17 ± 0.66^b	62.20 ^a
2	604.51 ± 6.39^a	699.99 ± 5.11^a	157.83 ± 1.70^b	82.67 ± 0.80^a	62.38 ± 0.68^b	60.00 ^a
3	419.27 ± 6.82^e	543.37 ± 22.15^c	42.17 ± 1.87^e	54.79 ± 0.70^e	57.42 ± 0.60^c	45.70 ^g
4	531.32 ± 0.12^b	576.50 ± 45.15^b	19.28 ± 0.70^d	63.25 ± 0.68^b	55.91 ± 0.71^b	50.20 ^e
5	472.28 ± 1.55^c	425.90 ± 67.30^f	56.62 ± 0.35^d	50.36 ± 0.52^g	52.38 ± 0.70^{de}	52.00 ^d
6	356.02 ± 7.67^i	388.55 ± 45.16^h	83.73 ± 2.56^c	56.28 ± 0.60^{cd}	60.67 ± 0.64^d	54.00 ^c
7	361.61 ± 11.24^g	366.79 ± 28.99^i	57.46 ± 3.63^d	55.34 ± 0.62^{de}	58.46 ± 0.63^f	57.20 ^b
8	341.56 ± 14.48^j	405.42 ± 31.52^g	203.61 ± 18.74^a	62.91 ± 0.76^b	72.34 ± 0.81^a	63.00 ^b
9	360.24 ± 1.70^h	440.96 ± 10.63^e	20.62 ± 1.76^a	56.74 ± 0.72^c	51.34 ± 0.72^e	48.00 ^f
10	455.97 ± 1.97^d	453.18 ± 9.86^d	20.92 ± 1.97^g	52.91 ± 0.72^f	43.24 ± 0.61^g	45.00 ^b

注：同列数据肩标不同字母表示差异显著， $P < 0.05$ 。

量、蛋清游离碱度为因变量的回归方程：

$$Y = 350.30 - 1.6143A + 1.7506B + 0.84132C + 77.893D - 0.76154E \quad (1)$$

由回归方程可知：因素A、E的系数为负，表明蛋清游离碱度随高压压力的增大、腌制时间的延长而降低，其中腌制初期蛋清内游离碱度迅速升高，随着腌制的进行，蛋清中部分碱因为向蛋黄内渗透而表现出含量降低^[13]；因素B、C、D的系数为正，说明蛋清游离碱度随高、低压保持时间和碱质量分数的增加而增大。将各试验因素偏回归系数标准化，得： $P_A = -0.7553$ 、 $P_B = 0.606$ 、 $P_C = 0.3445$ 、 $P_D = 0.7773$ 、 $P_E = -0.8231$ ，可知对蛋清游离碱度影响主次顺序为 $E > D > A > B > C$ ，即腌制时间>碱质量分数>高压压力>高压保持时间>低压保持时间。

2.1.2 腌制条件对外层蛋黄游离碱度的影响

用均匀设计分析软件包得到以各腌制条件为自变量、蛋清游离碱度为因变量的回归方程：

$$Y = 228.30 - 2.1295A + 3.2895B - 0.25600C + 127.33D - 0.95332E \quad (2)$$

由回归方程可知：因素A、C、E的系数为负，表明外层蛋黄游离碱度随高压压力、低压保持时间和腌制时间的增高而降低；因素B、D的系数为正，说明外层蛋黄游离碱度随高压保持时间和碱质量分数的增加而增大。将各试验因素偏回归系数标准化，得： $P_A = -0.7420$ 、 $P_B = 0.7225$ 、 $P_C = -0.08105$ 、 $P_D = 0.8270$ 、 $P_E = -0.7974$ ，可知对蛋清游离碱度影响主次顺序为 $D > E > A > B > C$ ，即碱质量分数>腌制时间>高压压力>高压保持时间>低压保持时间。

2.1.3 腌制条件对内层蛋黄游离碱度的影响

用均匀设计分析软件包得到以各腌制条件为自变量、内层蛋黄游离碱度为因变量的回归方程：

$$Y = -228.90 + 0.18011A + 0.016615B + 2.3037C +$$

$$23.405D + 0.40644E \quad (3)$$

由回归方程可知：各因素的系数均为正，表明内层蛋黄随各因素的增高而增大，这说明间歇式加压更有助于皮蛋腌制过程中蛋内部气体，如 H_2S 、 NH_3 、 CO_2 及水分排出蛋外^[14]，以促进碱向蛋内部渗透来加速成熟。将各试验因素偏回归系数标准化，得： $P_A = 0.1265$ 、 $P_B = 0.007189$ 、 $P_C = 0.7060$ 、 $P_D = 0.3456$ 、 $P_E = 0.6088$ ，可知对蛋清游离碱度影响主次顺序为 $C > E > D > A > B$ ，即低压保持时间>腌制时间>碱质量分数>高压压力>高压保持时间。其中低压保持时间和腌制时间对内层蛋黄游离碱度的影响作用最大。

综合上述腌制条件对皮蛋内容物游离碱度的影响发现，高压压力和腌制时间对蛋清和外层蛋黄游离碱度的影响是负相关关系，与对内层蛋黄的影响作用相反。这是因为高压加速和促进了碱物质向蛋内部渗透，尤其是促进了蛋清和外层蛋黄中的碱向内层蛋黄的渗透，腌制液中的碱向蛋清和外层蛋黄中渗透的碱量比蛋清和外层蛋黄的碱向内层蛋黄渗透的速度慢，所以在较短的时间里提高了内层蛋黄的游离碱质量分数，而降低了蛋清与外层蛋黄中的碱质量分数。另一方面，低压可以加速蛋内产生的水分和 H_2S 、 NH_3 及 CO_2 等气体向外逸出^[14]，也有利于碱进一步向蛋黄内渗透。皮蛋的成熟不仅在于内容物中游离碱度的含量，还关系到色泽、口感和风味等综合指标的平衡，所以需要进行感官检验来辅助，以找到促进皮蛋内容物成熟的最佳腌制条件。

2.2 感官检验

图3是均匀设计各试验组不同腌制条件生产的皮蛋的感官直观图。其中有3种情况：蛋清凝胶形成不充分或蛋黄凝固不佳，且未形成皮蛋特有风味，如处理3、4；蛋清和蛋黄凝固良好，但两者转色不佳，皮蛋特有的风味很淡，如处理1、7、9、10；蛋黄凝固转色都较好而蛋清碱伤，蛋黄的鲜味和清凉感较好，如处

理2、6、8。间歇式压力可以促进碱液向蛋黄内渗透,其中处理2最为明显,其腌制232h后,蛋清轻微碱伤而蛋黄在压力的作用下凝固充分、溏心小且黏稠、转色佳,并且蛋黄在压力作用下呈现严重皱缩。

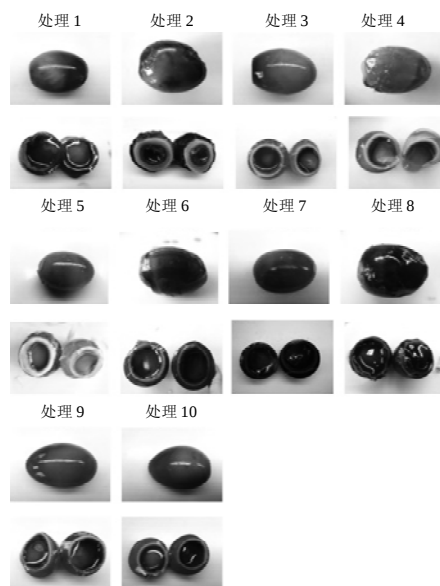


图3 腌制皮蛋工艺 $U_{10}(10^8)$ 均匀设计试验产品照片

Fig.3 Preserved eggs obtained in 10 uniform design experiments

2.3 间歇式加压腌制条件对皮蛋综合品质的影响
用均匀设计软件包得到回归方程:

$$Y = 524 - 450A - 0.115B + 0.255C - 2.08D + 0.0742E \quad (4)$$

为检验该回归方程的可信性,对其进行方差分析,结果见表4。

表4 回归方程方差分析表

Table 4 Variance analysis of the fitted regression equation

变异来源	平方和	自由度	均方	均方比
回归	$U = 396$	$K = 5$	$U/K = 79.2$	$F = 157.2$
剩余	$Q = 2.02$	$N - 1 - K = 4$	$Q/(N - 1 - K) = 0.504$	
总和	$L = 398$	$N - 1 = 9$		

回归 $F_{0.05(5,4)} = 6.256$ 、 $F_t > F_{0.05(5,4)}$, 所以回归方程显著($P < 0.05$), 复相关系数 $R = 0.9975$, 剩余标准差 $S = 0.710$, 表明该方程式可信。已知加压压力、高压保持时间、低压保持时间、碱质量分数和腌制时间, 通过代入式(1)便可预测该条件下的腌制效果。

由回归方程知: 因素A、B、D的系数为负数, 表示综合评分随高压压力、高压保持时间和碱质量分数的增加而降低; 因素C、E的系数为正, 表示低压保持时间和腌制时间延长则皮蛋的综合评分也增高。通过该回归方程, 可将不同的腌制条件代入式(1)的相应位

置, 从而对该腌制条件下的腌制效果进行预报。通过残差分析, 可知通过该回归方程对腌制结果的预报是可信的。

各因素偏回归平方和占回归系数相对分数表示各因素对回归的贡献值, 即: $U_E/U = 59.7\%$ 、 $U_C/U = 37.1\%$ 、 $U_B/U = 7.60\%$ 、 $U_D/U = 3.28\%$ 、 $U_A/U = 3.09\%$ 。故各因素对回归的贡献顺序为 $E > C > B > D > A$, 即腌制时间 > 低压保持时间 > 高压保持时间 > 碱质量分数 > 高压压力, 作用效果均显著。

在皮蛋腌制一定时间的基础上, 其他4个影响因素中对皮蛋综合品质影响大的不是高压值而是低压保持时间, 这是因为一定的压力可以为碱进入鸭蛋内部提供动力, 但碱液的过度渗透会造成蛋清碱味重和蛋清碱伤, 过大的高压值还会对蛋黄造成挤压使其皱缩、硬度过大, 不利于外观和口感, 另外压力值过大, 而低压保持时间过短、卸压过快还会使蛋壳出现纵向的环状裂纹, 从而影响皮蛋的综合品质。这一点可以通过调整卸压时间, 增加低压保持时间可以这一问题。因此需要通过试验, 找到各因素组合的平衡点, 在保证品质的基础上缩短皮蛋的生产周期。

综合蛋清蛋黄的凝固和转色及是否具有皮蛋特有风味等情况, 选出均匀试验最优试验组为处理8, 即碱质量分数5.33%、高压压力180kPa保持41.67min、低压保持时间11.11min、腌制时间205.30h。为方便工业生产, 根据皮蛋品质与各因素的正负相关特性, 选取整数, 最后确定的间歇式加压腌制工艺条件为碱质量分数5%、高压压力180kPa保持40min、低压保持12min、腌制时间206h。

3 结 论

3.1 间歇式加压能促进碱液向蛋内渗透^[15], 从而大幅缩短皮蛋的生产周期, 在碱(食品级氢氧化钠)质量分数5%、高压压力180kPa保持40min、低压保持12min条件下腌制206h, 蛋清和蛋黄的凝固及转色状况良好, 并且蛋清游离碱度为 $(341.56 \pm 14.48)\text{mg}/100\text{g}$, 较市场上某品牌的商品皮蛋的碱味淡, 皮蛋品质较好。与传统工艺生产皮蛋需要35~40d相比, 此方法最多可缩短78%, 显著提高了加工效率。

3.2 间歇式加压腌制时的压力并非越大品质越好。相反, 皮蛋的综合品质与高压值呈负相关关系。高压压力越大, 碱液的渗透越快, 但品质会下降; 高压压力在一定范围内越低, 碱物质的渗透变慢, 生产周期变长, 品质越好。碱向蛋内渗透的速率与腌制时间及低压保持时间关系最大, 呈正相关关系。另外, 皮蛋品质还随碱质量分数和高压保持时间的增大而降低。腌制

条件的各因素对皮蛋品质的影响均显著。

3.3 运用间歇式加压腌制皮蛋, 可以缩短皮蛋生产周期, 同时能保持皮蛋的综合品质, 证明间歇式加压可应用于皮蛋工业化生产。由于各因素间可能存在交互作用, 需要进一步研究来优化腌制条件, 以满足工业化生产提高单位时间产值的要求。

参考文献:

- [1] 马美湖, 葛长荣, 罗欣, 等. 动物性食品加工学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008: 254-266.
- [2] 吕峰, 郑明峰, 陈丽娇. 梯度控温腌制无铅皮蛋工艺[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2005, 34(4): 527-530.
- [3] 欧阳玲花, 冯健雅, 闵华, 等. 皮蛋加工研究现状与展望[J]. 食品工业科技, 2009, 30(4): 349-354.
- [4] 阎华. 不同金属辅料对皮蛋加工品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2008(3): 208-210.
- [5] 郑玉清, 刘树滔, 陈躬瑞, 等. 超声波技术在咸蛋腌制中的应用及其机理初探[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 1996, 24(3): 71-74.
- [6] 佟林功, 李根祥. 快速压力腌蛋方法与装置: 中国, CN85103390[P]. 1986-10-15.
- [7] 陈石头, 高振江. 脉动压力腌制禽蛋的试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(14): 163-166.
- [8] 李云雁, 胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 114-120.
- [9] CHI S P, TSENG K H. Physicochemical properties of salted pickled yolk from duck and chicken eggs[J]. Journal of Food Science, 1998, 63(1): 27-30.
- [10] 李洪兴, 汪培庄. 模糊数学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994: 138-142.
- [11] 苏宏华, 姚正军. 多指标正交试验的模糊分析方法[J]. 南京航空航天大学学报, 2004, 36(1): 29-33.
- [12] 马美湖. 禽蛋制品生产技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003: 75-83.
- [13] 黄荣斌. 大学化学中“渗透压”概念的讨论[J]. 数理医药学杂志, 2005, 18(5): 510-511.
- [14] 张蓉真, 刘树滔, 林晓辉, 等. 皮蛋加工过程中蛋白质变化的研究[J]. 福建农业科技, 1998(增刊 1): 67-68.
- [15] SPIEP W E L, BEHSNILIAN D. Osmotic treatments in food processing current state and future needs[C]//Proceedings of the 11th International Drying Symposium. Halkidiki: Wiley Online Library, 1998: 19-22; 47-56.