

基于机器视觉的皮蛋斑点检测和最佳生产配方研究

乐立强, 吴玲, 孙静, 马美湖*

(华中农业大学 国家蛋品加工技术研究分中心, 湖北 武汉 430070)

摘要: 以鲜鸭蛋为原料, 采用浸泡法腌制皮蛋。基于机器视觉的方法, 通过图像获取系统得到皮蛋表面斑点的整体颜色特征, 采用计算机软件对皮蛋表面斑点进行量值化处理得出蛋壳亮度值, 以考察金属添加剂种类和含量、NaOH 含量、食盐含量等因素对皮蛋表面斑点形成的影响。采用正交试验方法, 通过对试验结果的加权评分, 得出上述影响因素对综合品质的影响程度顺序为: 食盐含量 > NaOH 含量 > 金属盐含量; 腌制时采用配比为 NaOH 6g/100mL、食盐 2g/100mL、氯化铜 0.3g/100mL 制作的皮蛋斑点少、颜色浅、感官品质较好。

关键词: 机器视觉; 皮蛋; 表面斑点; 配方

Detection of Spots on Surface of Preserved Egg and Optimal Preserved Formula Based on Machine Vision

LE Li-qiang, WU Ling, SUN Jing, MA Mei-hu*

(National R & D Center for Egg Processing, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: In order to explore the effect of metal salt concentration, NaOH concentration, NaCl concentration and preserving temperature on spot formation on shell surface of preserved eggs, orthogonal tests were used to optimize the preserved formula. The results indicated that the order of factors for spot formation on shell surface was NaCl concentration, NaOH concentration and metal salt concentration. The optimal formula was composed of 6% NaOH, 2% NaCl and 0.3% CuCl₂, which was better than traditional process. In this case, the spots on shell surface were fewer and the color of spots was light. Therefore, the quality of preserved eggs using optimal preserved formula was greatly improved.

Key words: vision system; preserved egg; spots on surface; formula

中图分类号: S879.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)06-0203-06

随着我国居民消费水平的不断提高, 人们在选购食品时, 除了考虑食品的营养、口感、风味等因素之外, 也对食品的外观等综合品质提出了越来越高的要求^[1]。皮蛋是深受我国居民喜爱的一种传统食品, 采用传统工艺(铅盐)和现代无铅工艺(主要为铜盐)生产的皮蛋, 往往会在其表面形成一些黑色的斑点, 这会对皮蛋的外观以及内部品质造成一定的影响^[2-3], 所以可以在不影响皮蛋内部品质的前提下, 通过改善腌制工艺控制斑点的大小和数量, 以提高皮蛋的综合品质。目前, 有报道指出这种黑色斑点的形成与原料中添加的金属盐有关^[4], 即堵塞蛋壳气孔的金属硫化物^[5-6]。但是, 关于如何调控这种黑色斑点的文献并不多见。在实际生产中, 人们对皮蛋表面斑点的检测往往是通过肉眼观察的方法来进行

行^[2], 所受到的人为影响因素较大, 很难做到检测的标准统一和定量分析。这无疑对斑点控制方法的应用带来了较大的困难。

数字图像处理, 又称计算机图像处理, 它是指将图像信号转化为数字信号, 并利用计算机对其进行处理的过程。机器视觉系统一般采用电荷耦合器件(charge-coupled device, CCD)照相机摄取检测图像并转化为数字信号, 再采用先进的计算机硬件与软件技术对图像数字信号进行处理, 从而得到所需要的各种目标图像特征值, 并由此实现模式识别、坐标计算、灰度分布图等多种功能^[7-8]。目前, 机器视觉已经越来越广泛地应用于各种农产品的无损检验与分级, 机器视觉在禽蛋中的运用主要是在禽蛋的无损品质检测, 以及禽蛋的清洗效

收稿日期: 2011-02-28

作者简介: 乐立强(1984—), 男, 硕士研究生, 研究方向为蛋品加工技术。E-mail: kklq84@yahoo.com.cn

* 通信作者: 马美湖(1957—), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉类蛋品科学理论与技术。E-mail: mameihuhn@yahoo.com.cn

果的判定上,尚无运用于皮蛋的品质检测。利用机器视觉技术对禽蛋品质进行无损检测,其工作原理是根据禽蛋的内部品质在一定光照条件下表现出来的特性,提取有效数据建立数学模型对禽蛋品质进行分级。Goodrum等^[9]利用机器视觉技术对旋转鸡蛋进行裂纹检测,每个鸡蛋连续采集3幅图像,即图像采集在鸡蛋旋转120°、240°和360°时进行,通过对蛋壳表面进行分析,该系统的检测成功率受鸡蛋大小和两个软件的校正参数影响。潘磊庆等^[10]运用机器视觉技术获得鸡蛋表面的图像,分析图像提取感兴趣区域的区域圆弧度、区域面积、区域长径等5个几何特征参数,结果显示该模型对裂纹鸡蛋的识别准确率较高。王巧华等^[11]利用紫外光源和CCD,拍摄鸡蛋反光图像,对图像进行处理,提取了带菌蛋的自动识别模式,模式识别带菌蛋与干净蛋效果理想。大量研究表明,基于机器视觉的农产品检测手段已经越来越成熟和便捷。

本实验采用机器视觉对皮蛋表面斑点进行直方图的分析 and 灰度化处理,运用于选择较优的配方组合,取得了理想的效果。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

新鲜鸭蛋、红茶末、食用盐均为市购。

二水合氯化铜、氧化锌、黄色氧化铅、NaOH等均为分析纯。

机器视觉系统由计算机、CCD摄像头和摄像室等组成,灯箱为自制的密封光源箱,用32号环形灯照射,以提供均匀照明;托盘背景为不反光的单一色物质,使目标物与背景更容易区别,完成鸭蛋图像的采集、处理、分析。软件系统为自行开发的图像处理系统,在Visual C++环境下编制,通过此程序对采集的图像进行预处理,处理后得到鸭蛋蛋壳面积的平均RGB亮度值。

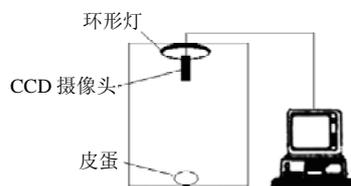


图1 图像采集系统示意图
Fig.1 Image acquisition system

1.2 方法

1.2.1 鸭蛋的筛选

新鲜鸭蛋经过清洗筛选出破损鸭蛋,用机器视觉系统定量整个蛋壳亮度值,选出没有差异性的一组鸭蛋,进行腌制实验。

1.2.2 皮蛋的腌制工艺

水、红茶→煮沸→过滤→配料→冷却→验料→灌料→腌制→定期抽检→出缸

↑

原料蛋→检验→洗蛋→晾蛋→入缸

根据各种配方,分别进行腌制料液的配制^[12]。按照每升水加30g茶叶的配比将红茶煮沸,持续10min左右,用双层纱布过滤冷却后备用,按配方要求取冷却备用的茶水溶解NaOH、食盐、氧化钙、金属添加剂,得到所需要的腌制液,然后将鸭蛋浸入腌制液中,于室温条件下腌制30d,定期抽检皮蛋进行各个指标的检测^[13-15]。

1.2.3 采用机器视觉对皮蛋亮度的度量

1.2.3.1 图像的采集

由于皮蛋腌制过程中色泽不均匀,因此为避免皮蛋之间的个体差异,每一种金属盐选择10枚蛋采集图像,每1枚蛋成像3次,每1次拍摄,人工将皮蛋旋转120°,运用软件通过灰度化处理可分析出皮蛋RGB值及亮度值,为避免背景的影响,采集图像时选择白色背景。

1.2.3.2 图像的分割

RGB模型体系是工业界的一种颜色标准,是通过红(R)、绿(G)、蓝(B)3个颜色通道的变化以及它们相互之间的叠加来得到各式各样的颜色,RGB即是代表红、绿、蓝3通道的颜色,这个标准几乎包括了人类视力所能感知的所有颜色。

图像分割技术是把图像分割成不同属性的若干部分或若干实体,这是图像分析的首要步骤。通常将图片分割至感兴趣的部分,直到将他们从背景中隔离开来为止。在蛋的图像被机器视觉实验系统获取之后,为了能把目标实体从单一背景(本实验采用白色)背景中提取出来,采用阈值分割方法,分割采用的阈值通常依据图像的直方图分析结果来选定,且其一般对于同一实验条件下的所有图像均保持恒定。本研究通过观察不同组别的鸭蛋在腌制前后的蛋壳RGB颜色的变化来考察斑点的形成情况。

1.2.3.3 图像平均灰度值的计算

由于图像本身亮度与色相没有关系,可把图像的亮度值转换为灰度图来比较。通过对图像分割后的RGB直方图的分量的整合,得出鸭蛋蛋壳的灰度值。灰度值计算公式如下:

$$\text{Gray} = R \times 0.299 + G \times 0.587 + B \times 0.114$$

1.2.3.4 色差模型的建立

在图像进行处理之前,首先要了解图像整体或亮度分布情况。建立亮度直方图是对图像的亮度分布进行分析的重要手段,利用图像亮度直方图,可以直观地看出图像中的像素亮度分布情况,通过直方图均衡化、归

一化处理等, 可对图像的质量进行调整。

1.2.4 金属添加剂对皮蛋表面斑点形成的影响

分别采用质量浓度均为 0.3g/100mL 的 CuCl₂、ZnO、PbO 作为金属添加剂, 食盐质量浓度为 3g/100mL, NaOH 质量浓度为 6g/100mL, 腌制皮蛋。腌制 30d 后取各组皮蛋进行斑点记录、视觉系统定量亮度等。

1.2.5 NaOH 对皮蛋表面斑点形成的影响

采用一定质量浓度梯度(4、5、6、7、8g/100mL)的 NaOH 溶液, 分别进行腌制料液的配制, 食盐质量浓度为 3g/100mL, 金属添加剂采用氯化铜且质量浓度为 0.3g/100mL。腌制 30d 后取各组皮蛋进行斑点记录、视觉系统定量亮度等。

1.2.6 食盐质量浓度对皮蛋表面斑点形成的影响

采用一定质量浓度梯度(2、3、4、5、6g/100mL)的食盐溶液, 分别进行腌制料液的配制, NaOH 质量浓度为 6g/100mL, 金属添加剂采用氯化铜且质量浓度为 0.3g/100mL。腌制 30d 后取各组皮蛋进行斑点记录、视觉系统定量亮度等。

1.2.7 正交试验设计

表 1 皮蛋腌制条件确定正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal tests

水平	因素		
	A 食盐添加量/(g/100mL)	B NaOH 添加量/(g/100mL)	C 金属盐添加量/(g/100mL)
1	2	5	0.15
2	3	6	0.30
3	4	7	0.45

在皮蛋腌制过程中, 以食盐、NaOH、金属添加量为试验因素, 设计 L₉(3³)正交试验^[16], 见表 1。每个处理添加红茶叶 3g/100mL、氧化钙 0.5g/100mL、水 3L, 其他配料按正交试验要求添加, 每桶腌制 10 枚鸭蛋。

表 2 皮蛋的感官评分标准

Table 2 Sensory evaluation criteria of preserved eggs

指标	性状	得分
蛋壳(20)	蛋壳不完整、表面黑色斑点数量较多、斑点颜色深	0~5
	蛋壳较为完整、表面黑色斑点数量较多、斑点颜色较深	6~10
	蛋壳完整、表面黑色斑点数量较少、斑点颜色较浅	11~15
	蛋壳完整、表面清洁、斑点很少或基本无斑点	16~20
蛋清(20)	粘壳, 蛋白呈不透明的棕褐色、凝固性差、弹性较差甚至无弹性	0~5
	较为粘壳, 蛋白呈不透明的棕褐色、凝固性一般、弹性一般	6~10
	不粘壳, 蛋白呈半透明的棕褐色、凝固性好、弹性较好	11~15
蛋黄(30)	不粘壳, 蛋白呈透明的棕褐色、凝固性好、弹性好	16~20
	外层呈浅绿色、无色层、蛋黄溏心直径大于 2cm 或者小于 1cm	0~10
	外层呈墨绿色、色层不明显、蛋黄溏心直径大于 2cm 或者小于 1cm	11~20
风味(30)	外层呈墨绿色、色层明显、蛋黄溏心直径在 1~2cm	21~30
	无皮蛋特有的香味和风味、涩口、碱味较重, 无松花形成	0~10
	具有皮蛋特有的香味和风味、有少量松花形成	11~20
	具有皮蛋特有的香味和风味、有较多的松花形成, 有独特的辛辣味	21~30

以感官评定和视觉系统为指标, 对腌制的皮蛋进行综合评定。两个指标采用模糊加权处理, 将指标 y 在 [0,1]之间评分, 变换公式为:

$$R_{ri} = \frac{y_i - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}}$$

式中: y_i 为每次的测量值; y_{min} 为每组最小值; y_{max} 为每组最大值; R_{ri} 是每次的综合评定值。

由于皮蛋的腌制好坏主要由皮蛋的口感、颜色、风味等决定, 而蛋壳是否斑点较多只是次位的考虑因素, 因此设定视觉系统的权重为 0.4, 感官评价权重为 0.6, 综合品质评分结果采用归一法计算。感官评价标准见表 2。

2 结果与分析

2.1 金属添加剂对皮蛋表面斑点形成的影响

2.1.1 图像的采集

不同金属盐腌制的皮蛋图像采集效果如图 2 所示。

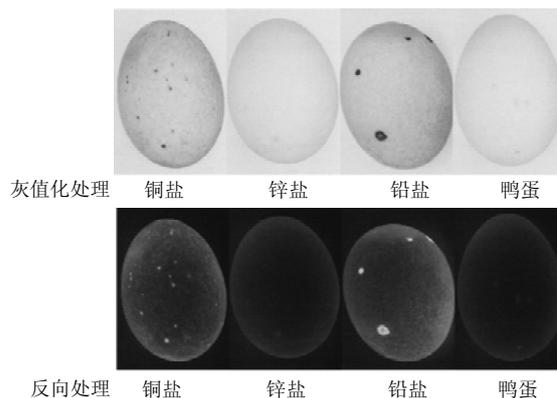


图 2 3 种不同金属盐腌制的皮蛋和鸭蛋灰值化处理和反向处理图
Fig.2 Photographs of preserved eggs treated with three different metal salts and duck eggs subjected to gray value and reversed processing treatments

2.1.2 图像的直方图建立

在本研究中,皮蛋图像的直方图基于0(黑)~255(白)级的每一个灰度级上的像素点个数构建。皮蛋图像在RGB颜色模型中的像素的R、G、B值的直方图如图3所示。

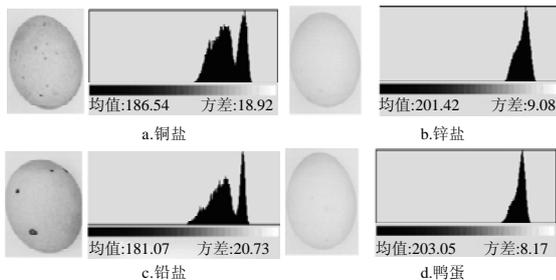


图3 3种不同盐腌制的皮蛋和鸭蛋的直方图

Fig.3 Histograms of preserved eggs treated three different metal salts and duck eggs

从图3可以看出,铜盐和铅盐腌制的皮蛋亮度值较低,亮度值在180~190之间,而且与背景分开明显,这是由于表面斑点使得蛋壳的整体亮度值向低值方向移动。而采用锌盐腌制的皮蛋几乎与对照组的鸭蛋无差异,亮度值均在200以上,而且与背景未完全分离,是由于锌盐表面并未形成黑色的斑点状物质,导致亮度值较高。

2.1.3 金属添加剂对皮蛋表面斑点形成的影响

表3记录了在腌制过程中,铜、锌和铅这3种不同盐腌制的皮蛋表面斑点的变化情况。由记录结果可以看到铜盐腌制的皮蛋腌制8d后开始形成斑点,且形成的斑点较小、数量多、分布不均,随着腌制时间的延

长,斑点大小和数量均有增大的趋势。采用铅盐腌制的皮蛋表面斑点大约4d后就开始形成,且形成的斑点较大、数量较多、分布不均,随着腌制时间的延长,斑点大小和数量均有增大的趋势。而采用锌盐腌制的皮蛋,整个腌制过程均不产生黑色斑点。这可以为斑点形成的机理^[7]提供一定的证明,即斑点是蛋内的含硫蛋白与金属在蛋壳上形成的硫化物,而硫化铜和硫化铅均为黑色,硫化锌为白色。

表4 不同金属盐腌制皮蛋蛋壳的亮度
Table 4 Shell brightness of preserved eggs treated with different metal salts

金属盐	铜盐	锌盐	铅盐	空白
R	147.29 ± 6.72	163.28 ± 4.76	144.39 ± 5.78	162.86 ± 15.69
G	209.92 ± 2.51	216.25 ± 0.85	208.82 ± 2.26	212.32 ± 5.26
B	175.97 ± 2.25	197.30 ± 3.25	179.93 ± 5.14	183.44 ± 16.39
G	187.40 ± 3.67	198.27 ± 2.22	186.32 ± 3.63	194.31 ± 9.51

由表4可以看出,用锌盐腌制的皮蛋斑点RGB值及亮度值均最高,铜盐次之,而用铅盐腌制的皮蛋颜色深、斑点数量多,这与前面的皮蛋表面斑点的产生情况的记录结果基本一致。从皮蛋内部品质的角度考虑,由于单纯用锌盐腌制的皮蛋品质较差,容易出现“液化”,很难掌握出缸的时间^[5],而铜盐腌制的皮蛋品质相对稳定,从整体品质上考虑,故在以下实验中选择铜盐作为金属盐。

2.2 NaOH对皮蛋表面斑点形成的影响

由对斑点的记录情况来看(表5),当碱液质量浓度大于7.0g/100mL时,斑点明显增多。由表6可知,采

表3 不同金属盐腌制皮蛋腌制表面斑点情况

Table 3 Spots on the shell surface of preserved eggs treated with different metal salts for 30 days

金属盐	4d	8d	12d	16d	20d	25d	30d
铜盐	—	黄灰色, 小, 数量较少, 分布不均 ⁺	黄灰色, 较大, 数量较多, 分布不均 ⁺⁺	黄灰色, 大, 数量较多, 分布不均 ⁺⁺⁺	灰黑色, 较大, 数量少, 分布不均 ⁺⁺⁺	灰黑色, 较大, 数量少, 分布不均 ⁺⁺⁺	黑色, 较大, 数量多, 分布不均 ⁺⁺⁺
锌盐	—	—	—	—	—	—	—
铅盐	灰黑色, 较大, 数量较少, 分布不均 ⁺⁺⁺	灰黑色, 较大, 数量较多, 分布不均 ⁺⁺⁺	黑色, 较大, 数量多, 分布不均 ⁺⁺⁺	黑色, 较大, 数量多, 分布不均 ⁺⁺⁺	黑色, 较大, 数量多, 分布不均 ⁺⁺	黑色, 较大, 数量多, 分布不均 ⁺⁺⁺	黑色, 较大, 数量多, 分布不均 ⁺⁺⁺
鸭蛋	—	—	—	—	—	—	—

注:“+”表示蛋壳表面黑色斑块的数量和大小,“+”越多则斑块越显著;“—”表示蛋壳表面无斑点。下同。

表5 不同质量浓度NaOH溶液腌制30d后皮蛋表面斑点情况

Table 5 Spots on the shell surface of preserved eggs treated with NaOH at various concentrations for 30 days

NaOH溶液质量浓度/(g/100mL)	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
斑点情况	灰黑色, 斑点小, 数量较少, 分布不均 ⁺⁺	灰黑色, 斑点小, 数量较少, 分布不均 ⁺⁺	灰黑色, 斑点小, 数量较少, 分布不均 ⁺⁺	黑色, 斑点小, 数量较多, 分布不均 ⁺⁺⁺	黑色, 斑点小, 数量较多, 分布不均 ⁺⁺⁺

表7 不同质量浓度食盐溶液腌制30d后皮蛋表面斑点情况
Table 7 Spots on the shell surface of preserved eggs treated with NaCl at various concentrations for 30 days

食盐溶液质量浓度/(g/100mL)	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
斑点情况	黑色, 斑点小, 数量少, 分布不均 ⁺	黑色, 斑点小, 数量较多, 分布不均 ⁺⁺	黑色, 斑点小, 数量很多, 分布不均 ⁺⁺⁺	黑色, 斑点小, 数量很多, 分布不均 ⁺⁺⁺	黑色, 斑点小, 数量很多, 分布不均 ⁺⁺⁺

用不同质量浓度的碱液腌制的皮蛋的蛋壳亮度值差异不是很大, 当NaOH溶液质量浓度为5.0g/100mL时皮蛋表面亮度值较高, 斑点颜色浅或数量少, 这可能是由于随着碱液质量浓度的增高, 皮蛋蛋壳的腐蚀程度加强, 更多的碱液进入蛋内会使得蛋内的含硫蛋白质分解产生出较多的S²⁻, 它们会与铜离子在蛋壳上聚集形成较多的硫化铜。经过实际腌制发现, 由于NaOH质量浓度太低会影响皮蛋的腌制效果, 导致蛋白凝固性变差, 较难成型, 不利于生产^[18-21]。虽然低质量浓度的碱液会适当减少斑点的形成, 但是出于整体品质的考虑, 质量浓度为6g/100mL的碱液较为适宜。

表6 不同质量浓度NaOH溶液腌制皮蛋蛋壳的亮度
Table 6 Shell brightness of preserved eggs treated with NaOH at various concentrations

NaOH溶液质量浓度/(g/100mL)	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
R	146.37 ± 8.15	151.51 ± 8.98	150.40 ± 4.82	146.08 ± 7.65	144.96 ± 1.80
G	209.82 ± 4.37	211.42 ± 3.35	210.00 ± 2.34	207.35 ± 5.55	209.04 ± 1.26
B	180.40 ± 12.62	183.41 ± 8.07	178.54 ± 4.40	172.54 ± 13.43	172.06 ± 3.76
壳	187.66 ± 6.24	190.37 ± 5.54	187.65 ± 3.00	185.14 ± 6.68	185.75 ± 1.32

2.3 食盐质量浓度对皮蛋表面斑点形成的影响

表8 不同质量浓度食盐溶液腌制皮蛋蛋壳的亮度
Table 8 Shell brightness of preserved eggs treated with NaCl at various concentrations for 30 days

食盐溶液质量浓度/(g/100mL)	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
R	150.08 ± 5.55	150.08 ± 3.46	145.93 ± 3.84	145.83 ± 2.85	145.50 ± 3.25
G	217.33 ± 2.03	211.58 ± 1.84	211.03 ± 1.86	210.90 ± 1.87	211.03 ± 1.12
B	187.80 ± 1.61	182.70 ± 3.06	181.10 ± 5.76	180.02 ± 5.26	182.39 ± 5.81
壳	193.58 ± 3.30	189.96 ± 2.39	188.21 ± 2.82	187.99 ± 2.74	188.23 ± 2.24

由表7、8可以看出, 食盐质量浓度较低时, 皮蛋表面斑点形成的数量较少, 蛋壳的整体亮度值也较高。食盐的作用主要是使皮蛋带有适当的咸味, 加快化清(盐溶作用)和利于凝固(盐析作用)。对于斑点的影响而言, 食盐可能是通过对与蛋内外渗透压的影响来调节

碱液、金属离子等的渗透, 从而影响到斑点的形成, 但是具体是如何影响, 目前尚无法验证, 有待进一步研究和探讨。

2.4 正交试验

表9 皮蛋腌制条件确定L₉(3³)正交试验设计及结果
Table 9 Design and results of orthogonal tests for optimizing the preserved formula of preserved eggs

试验号	A	B	C	综合品质评分
1	1	1	1	0.5964
2	1	2	2	0.8804
3	1	3	3	0.9942
4	2	1	3	0.3968
5	2	2	1	0.8075
6	2	3	2	0.7879
7	3	1	2	0.2600
8	3	2	3	0.4125
9	3	3	1	0.2943
k ₁	0.8237	0.4178	0.5661	
k ₂	0.6641	0.7002	0.6428	
k ₃	0.3233	0.6922	0.6012	
R	0.5014	0.2824	0.0767	

由表9可知, 皮蛋品质的主要影响因素为食盐质量浓度, 其次为NaOH溶液质量浓度, 再次为金属盐添加量。影响因素的主次关系是食盐 > NaOH > 金属盐。当A为第1水平时, k₁ = 0.8237为最大; 当B为第2水平时, k₂ = 0.7002为最大; 当C为第2水平时, k₃ = 0.6428为最大, 故最佳组合为A₁B₂C₂。通过验证实验, 得出该组合为最佳方案。有关腌制液中各成分对斑点形成的影响报道并不多见, 但是就试验结果可以推测, 不同金属盐仅是提供了硫化物形成的金属离子来源, 如果质量浓度在正常添加范围内(3~5g/100mL), 从化学平衡的角度而言, 斑点的形成主要是由S²⁻的量来决定。而碱是通过对蛋壳的腐蚀作用和使蛋内蛋白质变性来提供S²⁻使其与金属离子反应的。食盐除了呈味作用外, 还通过对蛋内外渗透压的影响来调节碱液、金属离子等的渗透, 从而影响到斑点的形成。

3 结论

通过视觉系统实验发现, 用食盐腌制的皮蛋蛋壳的

亮度值最高,铜盐次之,铅盐最差。这是因为他们所形成的不同硫化物所导致的。硫化铜和硫化铅均为黑色,硫化锌为白色。采用不同质量浓度的碱液腌制的皮蛋的蛋壳亮度值差异不是很大,当NaOH溶液浓度为5.0g/100mL时,皮蛋表面亮度值较高,斑点颜色浅或数量少,这可能是由于随着碱液质量浓度的增大,皮蛋蛋壳的腐蚀程度加强,更多的碱液进入蛋内会使得蛋内的含硫蛋白质分解产生出较多的 S^{2-} ,它们会与铜离子在蛋壳上聚集形成较多的硫化铜。食盐质量浓度较低时,皮蛋表面斑点形成的数量较少,蛋壳的整体亮度值也较高。这可能和NaCl对蛋内外渗透压和金属离子渗透的影响有关,但需要进一步的研究。

通过将正交试验结果归一化法处理,在皮蛋感官品质占60%、视觉亮度占40%的情况下,考察NaOH质量浓度、食盐质量浓度、金属盐(铜盐)质量浓度对斑点形成和皮蛋综合品质的影响,可知三者的影响程度为食盐>NaOH>金属盐。最优皮蛋加工工艺组合为食盐添加量2g/100mL、NaOH添加量6g/100mL、金属盐(铜盐)添加量0.3g/100mL。经验证实验,该组合条件下腌制的皮蛋斑点较小、数量较少、颜色较浅、腌制易于控制,产品品质良好。

参考文献:

- [1] 马美湖. 我国蛋品工业科技的几大热点[J]. 肉类研究, 2000(3): 1-5.
- [2] 马美湖. 禽蛋制品生产技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003: 150-159.
- [3] 阎华. 不同金属辅料对皮蛋加工品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2008(3): 208-209.
- [4] 何铁剑. 金属离子在皮蛋加工中作用的研究[J]. 江苏调味副食品, 1991(1): 7-12.
- [5] 阎华, 朱端卫. 铜、锌、铁在皮蛋加工中作用差异研究[J]. 食品科学, 2006, 27(12): 164-166.
- [6] 王良玉. 锌盐和铜盐在皮蛋加工中的应用及对产品质量的影响[J]. 农产品加工: 学刊, 2007(11): 76-80.
- [7] 刘曙光, 刘明远, 何钺. 机器视觉机器应用[J]. 河北科技大学学报, 2000, 21(4): 11-15.
- [8] 丁幼春. 基于机器视觉鸭蛋品质无损自动检测分级系统的改进[D]. 武汉: 华中农业大学, 2003.
- [9] GOODRUM J W, ELSTER R T. Machine vision for crack detection in rotating eggs[J]. *Tasae*, 1992, 35(4): 1323-1328.
- [10] 潘磊庆, 屠康, 苏子鹏, 等. 基于计算机视觉和神经网络检测鸡蛋裂纹的研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 154-158.
- [11] 王巧华, 王树才, 陈红, 等. 基于紫外图像的外壳带菌鸡蛋的无损检测[C]//第八届中国单品科技大会论文集. 武汉: 中国畜产品加工研究会, 2009: 510-515.
- [12] 吴菊清, 徐满清. 无铅溏心鹌鹑皮蛋的制作及残料的利用[J]. 食品科技, 2000(6): 25-27.
- [13] 褚庆环. 蛋品加工技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 69-72.
- [14] 李晓东. 蛋品科学与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 76-78.
- [15] 刘忠良, 彭光华, 匡应新, 等. 以锌盐为主体盐分加工皮蛋的研究[J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(7): 93-94.
- [16] 杨勇胜, 颜玉华, 卢静. 基于正交试验的无铅鹌鹑皮蛋腌制配方优化研究[J]. 金陵科技学院学报, 2008, 24(1): 90-92.
- [17] 赵燕, 徐明生, 涂永刚. 皮蛋加工相关机理研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(17): 472-475.
- [18] 万速文, 张声华. 皮蛋加工中 OH^- 的渗透过程[J]. 食品科学, 1998, 19(6): 27-28.
- [19] MACHADO F F, COIMBRA J S R, ROJAS E E G, et al. Solubility and density of egg white proteins: Effect of pH and saline concentration [J]. *Lwt-Food Science and Technology*, 2007, 40(7): 1304-1307.
- [20] 李锡暇, 石凤仙, 王仁珍. 锌法皮蛋新工艺料液中NaOH和 Zn^{2+} 浓度变化与产品质量的关系[J]. 湖南农学院学报, 1993, 19(5): 466-469.
- [21] 侯大军, 李洪军. 碱处理对风味皮蛋物理品质的影响[J]. 食品工业科技, 2008, 29(5): 119-121.